

Bedste tilgængelige teknikker (BAT) til industrielle kølesystemer

Indholdsfortegnelse

Forord	5
1. Indledning	7
1.1 IPPC direktivet og BREF	7
1.2 Formål og afgrænsning	9
1.3 Industrielle kølesystemer og -konfigurationer	12
1.4 Læsevejledning	12
2 Generel BAT-tilgang for industrielle kølesystemer	14
2.1 Kilder til varme, varmeniveauer og anvendelsesområder	18
2.2 Kølniveau og indflydelse på proceseffektivitet	19
2.2.1 Temperaturfølsomme anvendelser	19
2.2.2 Ikke følsomme processer	20
2.3 Optimering af primærprocessen og genbrug af varme	20
2.3.1 Optimering af primærprocessen	20
2.3.2 Brug af spildvarme uden for virksomheden	21
2.4 Valg af kølesystem ud fra proceskrav og lokale forhold	22
2.4.1 Proceskrav	22
2.4.2 Valg af lokalitet	23
2.4.3 Klimaforhold	25
2.5 Valg af køleteknik med henblik på overholdelse af miljøkrav	26
2.5.1 Generel sammenligning mellem luft- og vandkølede systemer	26
2.5.2 Designfaktorer og valg af materialer	27
2.5.3 Muligheder for teknologisk ændring af eksisterende systemer	28
2.6 Økonomiske betragtninger	34

3	De teknologiske aspekter vedrørende anvendte kølesystemer	35
3.1	Introduktion	35
3.2	Varmevekslere	38
3.2.1	Rørvarmeveksler	38
3.2.2	Pladevarmevekslere	38
3.2.3	Miljømæssige aspekter forbundet med varmevekslere	39
3.3	Kølesystemer med ét gennemløb	39
3.3.1	Direkte kølesystemer med ét gennemløb	39
3.3.2	Kølesystemer med ét gennemløb med køletårn	41
3.3.3	Indirekte kølesystemer med ét gennemløb	41
3.4	Åbne recirkulerende kølesystemer	42
3.4.1	Åbne, våde køletårne med mekanisk ventilation	44
3.5	Kølesystemer med lukket kredsløb	46
3.5.1	Tørre, luftkølede kølesystemer	46
3.5.2	Våde, luftkølede kølesystemer med lukket kredsløb	50
3.6	Kombinerede våde/tørre kølesystemer	53
3.6.1	Åbne våde/tørre (hybride) køletårne	53
3.6.2	Hybride kølesystemer med lukket kredsløb	55
3.7	Direkte vs. indirekte system	58
3.7.1	Direkte recirkulerende kølesystemer	58
3.7.2	Indirekte recirkulerende kølesystemer	58
3.8	Omkostninger ved kølesystemer	59
4	Miljøaspekter af industrielle kølesystemer og anvendte forebyggelses- og reduktionsteknikker	61
4.1	Introduktion	61
4.2	Energiforbrug	62
4.2.1	Direkte energiforbrug	62
4.2.2	Indirekte energiforbrug	63
4.2.3	Reduktion af energikrav til køling	63
4.3	Forbrug og udledning af kølevand	65
4.3.1	Vandforbrug	65
4.3.2	Medrivning af fisk	69
4.3.3	Varmeemissioner til vand	72
4.4	Emissioner fra kølevandsbehandling	74
4.4.1	Anvendelse af kølevandsbehandling	74
4.4.2	Emissioner af kemikalier til vand	77
4.4.3	Reduktion af emissioner til vand	81
4.4.4	Reduktion ved anvendelse af ekstra og alternativ kølevandsbehandling	88

4.4.5	Emissionsreduktion ved evaluering og udvælgelse af kølevandstilsætningsstoffer	89
4.4.6	Optimering af brugen af kølevandstilsætningsstoffer	91
4.5	Brugen af køleluft og luftemissioner	97
4.5.1	Luftkrav	97
4.5.2	Direkte og indirekte emissioner	98
4.5.3	Køletårnsdampfaner	99
4.6	Støjmissioner	100
4.6.1	Kilder til støj og støjniveauer	100
4.6.2	Støjbekæmpelse	102
4.7	Risikoaspekter associeret med industrielle kølesystemer	104
4.7.1	Risiko for lækage	104
4.7.2	Opbevaring og håndtering af kemikalier	108
4.7.3	Mikrobiologisk risiko	108
4.8	Affald fra kølesystemdrift	112
4.8.1	Dannelse af slam og bortskaffelse	112
4.8.2	Rester fra kølevandsbehandling og rengøringsoperationer	112
4.8.3	Rester fra eftermontering, udskiftning og nedtagning af installationen	113
5	Bedste tilgængelige teknikker for industrielle kølesystemer	114
5.1	Integreret varmestyring	114
5.1.1	Industriel køling = varmestyring	114
5.1.2	Reduktion i niveauet af varmeudledning ved optimering af internt/eksternt varmegenbrug	115
5.1.3	Kølesystem og proceskrav	115
5.1.4	Kølesystem og lokaliseringskrav	116
5.1.5	Anvendelse af BAT i industrielle kølesystemer	117
5.2	Reduktion af energiforbrug	120
5.3	Reduktion af vandkrav	121
5.4	Reduktion af medrivning af organismer	122
5.5	Reduktion af emissioner til vand	123
5.5.1	Generel BAT tilgang til at reducere varmeemissioner	123
5.5.2	Generel BAT tilgang til at reducere kemiske emissioner til vand	123
5.5.3	Identificerede reduktionsteknikker inden for BAT tilgangen	124
5.6	Reduktion af emissioner til luft	128
5.7	Reduktion af støjmissioner	128
5.8	Reduktion af lækagerisiko	129
5.9	Reduktion af biologisk risiko	130

Bilagsfortegnelse

Bilag 1 - Ordliste

Forord

Godkendelses- og tilsynsarbejdet for industrivirksomheder skal baseres på den bedste tilgængelige teknik, herunder EU's såkaldte BREF-dokumenter, der udarbejdes i forlængelse af IPPC direktivet.

Denne orientering formidler EU's BREF-dokument om industrielle kølesystemer "Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, December 2001".

Orienteringen omfatter kun de teknologibeskrivelser og de bedste tilgængelige teknikker (BAT) fra BREF-dokumentet, der har relevans for dansk industriel køling. Orienteringen er skrevet primært til brug ved miljøgodkendelse af virksomheder, der anvender industriel køling. Orienteringen kan bruges af både myndigheder, virksomheder og den danske køleindustri generelt.

Orienteringen kan betragtes som et individuelt dokument, der kan læses og bruges selvstændigt, og der er yderligere nyttige referencer specielt til bilagene til det originale BREF-dokument. Dette giver læseren mulighed for at undersøge særlige emner mere dybtgående, idet BREF-dokumentet indeholder en række mere grundlæggende tekniske detaljer omkring køleteknik, der ikke er nødvendige for at tage stilling til BAT. For læsere, der måtte have interesse for indføring i disse teknikker, henvises til den engelske originaludgave af BREF-dokumentet med tilhørende bilag. Denne udgave findes på: http://ec.europa.eu/environment/ippc/brefs/cvs_bref_1201.pdf¹.

Orienteringen er skrevet af Klaus Pedersen, Anthony W. Abbotts og Keld Almegaard, COWI A/S.

Anne Mette Nielsen, Københavns kommune, Marthe Gudmand Høier, Roskilde kommune, Kim Christensen, Teknologisk Institut, Ole Pontoppidan, Slagteriernes Forskningsinstitut, Henrik Winther, York Køleteknik og Lise Fogh Pedersen, Miljøstyrelsen har bidraget med fagligt input.

¹ For yderligere information om BREF og BAT henvises til Miljøstyrelsens hjemmeside www.mst.dk. Se under Erhverv og BAT – bedste tilgængelige teknik

1. Indledning

1.1 IPPC direktivet og BREF

Med gennemførelsen af IPPC-direktivet i 1999 blev princippet om bedste tilgængelige teknik (BAT) endnu en gang slået fast. Krav til den enkelte virksomhed skal stilles på baggrund af en individuel vurdering af virksomhedens muligheder for at anvende BAT samt under hensyn til omgivelsernes sårbarhed.

For i-mærkede listevirksomheder betyder IPPC-direktivet bla., at godkendelsesmyndigheden ved behandling af ansøgninger om godkendelse skal tage hensyn til de BREF-dokumenter, som EU-Kommissionen udsender. Disse BREF-dokumenter fastlægger, hvad der må betragtes som den bedste tilgængelige teknik (BAT) inden for de industrielle brancher, som IPPC-direktivet omfatter.

BREF-dokumenterne er tekniske dokumenter og har som formål at beskrive en branches produktionsprocesser og identificere de miljøpræstationer, der er opnåelige ved at anvende bedste tilgængelige teknikker. BREF-dokumenterne udgør et fyldeigt informationsmateriale. De indeholder ikke bindende emissionsgrænseværdier, men alene referenceværdier.

EU Kommissionen vedtager BREF-dokumenterne formelt og oversætter resuméet til dansk. De færdige BREF-dokumenter er meget omfattende og typisk på flere hundrede sider. De er udarbejdet i tekniske arbejdsgrupper, der er sammensat af eksperter fra forskellige lande, som tilsammen repræsenterer både miljømyndigheder, industrien, forskningsinstitutter og NGO'er, og under ledelse af det Europæiske IPPC-kontor i Sevilla.

Der er i alt udarbejdet 33 BREF-dokumenter. 27 er branchespecifikke og henvender sig til udvalgte brancher. 6 BREF-dokumenter, heriblandt dette om industrielle kølesystemer, er tværgående og henvender sig til en række virksomheder i forskellige brancher og sektorer.

Yderligere information om BAT og BREF-dokumenterne kan fås på www.mst.dk. Se under Erhverv.

IPPC-direktivets definition af BAT

BAT er:

”Det mest effektive og avancerede trin i udviklingen af aktiviteter og driftsmetoder, som er udtryk for en given tekniks principielle praktiske egnethed som grundlag for emissionsgrænseværdier med henblik på at forhindre eller, hvor dette ikke er muligt, generelt begrænse emissionerne og påvirkningen af miljøet som helhed.

Der forstås ved:

Teknik: både den anvendte teknologi og den måde, hvorpå anlæg konstrueres, bygges, vedligeholdes, drives og lukkes ned

Tilgængelig: udviklet i en målestok, der medfører, at den pågældende teknik kan anvendes i den relevante industrisektor på økonomisk og teknisk mulige vilkår, idet der tages hensyn til omkostninger og fordele, uanset om teknikken anvendes eller produceres i den pågældende medlemsstat eller ej, når blot driftslederen kan disponere over teknikken på rimelige vilkår.

Bedste: mest effektive teknik til opnåelse af et højt generelt beskyttelsesniveau for miljøet som helhed.”

(IPPC-direktivets art. 2, stk. 11)

Definitionen af BAT indebærer, at teknikken skal være udviklet og afprøvet – herhjemme eller i udlandet – i en målestok, der medfører, at den pågældende teknik kan anvendes i den pågældende branche. Det er desuden en forudsætning, at teknikken kan indføres i den relevante branche på økonomisk holdbare betingelser.

Virksomheder skal basere sine aktiviteter på BAT

I-mærkede virksomheder har pligt til i forbindelse med en ansøgning om miljøgodkendelse at undersøge og vurdere mulighederne for at anvende BAT. Den enkelte virksomhed skal altså kunne redegøre for, om valget af teknologi bygger på BAT, og herunder overveje mulighederne for substitution af miljøskadelige stoffer, energi- og råvarebesparelser, renere teknologi, affaldsminimering mv.

Ved godkendelse af en i-mærket virksomhed vil de relevante BREF-dokumenter blive lagt til grund ved vurderingen af, om virksomhedens indretning og drift er baseret på BAT. Godkendelsesmyndigheden kan derfor forvente, at i-mærkede virksomheder orienterer sig i de relevante BREF-dokumenter, når de udarbejder en ansøgning om miljøgodkendelse.

Miljømyndighedens afgørelser skal baseres på BAT

Princippet om anvendelse af BAT skal lægges til grund for behandling af alle sager efter miljøbeskyttelsesloven, dvs. både ved godkendelse og ved revurdering af listevirksomheder og ved vurdering af ikke-godkendelsespligtige virksomheder. Der skal lægges vægt på, at den samlede forurening af omgivelserne begrænses mest muligt.

Godkendelsesmyndigheden må ikke meddele godkendelse uden at have sikret sig, at virksomhedens indretning og drift er baseret på BAT for den pågældende virksomhedstype. Myndigheden skal så vidt muligt fastsætte kravene til virksomhederne som fx grænseværdier svarende til det forureningsniveau, der kan opnås ved anvendelsen af BAT. Det udelukker ikke, at myndigheden stiller konkrete krav til fx indretning og drift, kontrolmetoder mv. Der bør dog normalt ikke stilles krav om anvendelse af en specifik teknologi, da virksomheden selv skal kunne vælge hvordan den vil opfylde de stillede krav.

For i-mærkede listevirksomheder skal godkendelsesmyndigheden tage hensyn til informationen i de relevante BREF dokumenter ved behandling af ansøgninger om miljøgodkendelse. Relevante BREF dokumenter omfatter både de sektorspecifikke og de tværgående, som nærværende om industrielle kølesystemer er et eksempel på.

1.2 Formål og afgrænsning

Orienteringen henvender sig til både virksomheder, miljømyndigheder og den danske køleindustri, primært til brug i forbindelse med miljøgodkendelse af i-mærkede listevirksomheder med køleanlæg. Den kan også være relevant i forbindelse med miljøgodkendelse af andre listevirksomheder, dog ikke for virksomhedstyper, hvor der er udarbejdet branchebilag med standardvilkår, jf. Miljøstyrelsens bekendtgørelse om godkendelse af listevirksomhed.

De enkelte køleanlægstyper vil kunne genfindes inden for en række forskelligartede virksomhedstyper, der går på tværs af brancher og virksomhedsstørrelser.

Orienteringen omfatter kun kølesystemer, der anvender omgivelserne (vand og/eller luft) direkte til køling uden brug af kølemaskiner såsom kølekompressorer, varmepumper og/eller absorptionsanlæg mv. og uden brug af deciderede kølemidler såsom ammoniak, freon, kulbrinter og/eller brom/jodforbindelser mm.

Orienteringen omfatter ikke direkte kontakt-kølesystemer, hvor det emne, der skal køles, er i direkte kontakt med kølemidlet - her luften eller vandet.

Orienteringen giver ingen løsning på, hvad der er det bedste kølesystem, og formålet med orienteringen er ikke at diskvalificere nogen af de anvendte systemer. Dokumentet vejleder heller ikke om, hvorvidt en proces har behov for køling eller ej.

Energiforbrug, vandbehov, fiskemedrivning, emissioner til vand, luftemissioner, dampfanedannelse og støj er alle miljøaspekter ved kølesystemer. I hvert tilfælde bør der tages hensyn til den miljømæssige betydning af disse spørgsmål (såsom støj) i lyset af den totale miljøpræstation, inklusive den industrielle proces, der skal nedkøles. Ikke alle problemstillinger er lige vigtige for hvert system, som f.eks. vandkrav eller dannelse af røgfaner, der ingen rolle spiller i tørre kølesystemer.

De aspekter, der evt. er relevante og bør tages i betragtning af virksomheden og miljøsagsbehandleren ved dennes vurdering af det industrielle kølesystem,

er karakteriseret kvalitativt og kvantitativt og opsummeret i tabel 1.1. Af tabellen kan det eksempelvis ses, at tør køling med lukkede kredsløb har et relativt højt energiforbrug, mens det af de andre aspekter kun er støj, der er relevant at tage i betragtning i forbindelse med en miljøvurdering og miljøgodkendelse. Tabellen kan samtidig anvendes som indgangsnøgle til Kapitel 2: Teknologi, 3: Miljøforhold og 4: Referencer til BAT.

Karakter og niveau af udledning til miljøet er ikke kun et resultat af den anvendte konfiguration, men afhænger i høj grad af måden det enkelte system drives på, og måden ressourcerne, der skal bruges til at drive kølesystemet, er styret på.

Orienteringen består af en række redigeringer i forhold til det oprindelige BREF-dokument, som beskrives i de efterfølgende afsnit.

Tabel 1.1 Miljøforhold i relation til forskellige industrikølesystemer

Kølesystemer	Miljøforhold	Energi- forbrug (direkte)	Vand- behov	Fiske- medriv- ning ⁽¹⁾	Emissioner til vand		Luft- emissioner (direkte)	Dampfane- dannelse	Støj	Risiko		Affald
					Varme 3.3.3	Tilsætnings stoffer 3.4.5				Lækage 3.7.1	Mikro biol. risiko (sundhed) 3.7.3	
Reference til kapitel 2 teknologi	Reference til kapitel 3 miljøforhold	3.2	3.3	3.3.2	Varme 3.3.3	Tilsætnings stoffer 3.4.5	3.5	3.5.3.1	3.6	Lækage 3.7.1	Mikro biol. risiko (sundhed) 3.7.3	3.8
	Reference til kapitel 4 BAT	4.3	4.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.6	4.8	4.9	4.10	
2.3.1.	Direkte kølesystem med ét gennemløb	Lavt	++	+	++	+(biocider)	--	--	--	++	--/lavt	+ ⁽⁵⁾
2.3.3	Indirekte kølesystem med ét gennemløb	Lavt	++	+	++	+(biocider)	--	--	--	Lavt	--/lavt	+ ⁽⁵⁾
2.4	Åbent vådkøletårn (direkte)	+	+	--	Lavt	+ ⁽²⁾	Lavt (I dampfane)	+	+	+	+	--/Lavt
2.4	Åbent vådkøletårn (indirekte)	+	+	--	Lavt	+ ⁽²⁾	Lavt (I dampfane)	+	+	Lavt	+	+
2.6.1	Åbent våd/tør (hybrid) køletårn	+	Lavt	--	Lavt	Lavt ⁽²⁾	--	-- ⁽⁴⁾	+	Lavt	?	+
2.5.1.3	Våd køletårn med lukke- de kredsløb	+	+	--	--	Lavt	Lavt ⁽³⁾ (I dampfane)	--	+	Lavt	Lavt	--/Lavt
2.5.1.1	Tør køling med lukkede kredsløb	++	--	--	--	--	--/ Lavt	--	++	Lavt	--	--
2.6.1	Våd /tør (hybrid) køling med lukkede kredsløb	+	Lavt	--	--	Lavt ⁽²⁾	Lavt	--	Lavt	Lavt	Lavt	--/Lavt

Noter:
 -- Ingen/ikke relevant
 Lavt relevans under gennemsnit
 + relevant
 ++ meget relevant

1: Andre arter kan også blive medrevet
 2: Biocider, anti-kalkdannelse, korrosionsbeskyttelse
 3: Potentiel i tilfælde af lækage
 4: Ved korrekt drift er der ingen problemer
 5: Affald refererer til slam fra vandindtag og fra afkalkning

1.3 Industrielle kølesystemer og -konfigurationer

Orienteringen omfatter følgende industrielle kølesystemer eller konfigurationer, hvor konfiguration forstås som den måde, køleanlægget sammensættes på med de forskellige systemer (åbne, lukkede, direkte, indirekte) og komponenter (køletårne/varmevekslere), der er relevante:

- Kølesystemer med ét gennemløb (med eller uden køletårn)
- Åbne, recirkulerede kølesystemer (vådkøletårne)
- Kølesystemer med lukkede kredsløb
- Tørre, luftkølede systemer
- Våde, luftkølede kølesystemer med lukkede kredsløb
- Kombinerede våde/tørre kølesystemer (hybride systemer)
- Åbne hybride køletårne
- Hybride køletårne med lukkede kredsløb.

Følgende kølesystemer beskrives i BREF-dokumentet, men anvendes ikke i Danmark og er derfor ikke medtaget i orienteringen:

- Åbne, våde køletårne med naturligt træk
- Tørre køletårne med naturligt træk.

Kølesystemer med ét gennemløb med køletårn anvendes ikke i Danmark endnu, men kan tænkes anvendt på anlæg i områder med skærpede krav til temperaturen af det udledte kølevand. Derfor er disse anlæg omfattet af orienteringen.

De øvrige ændringer, der er foretaget i forhold til BREF-dokumentet, relaterer sig hovedsageligt til den danske miljølovgivning, herunder krav til forbrug af kemikalier, spildevandsudledning samt håndtering af mikrobiologiske risici såsom legionella.

Derudover er en række henvisninger til europæiske forhold/ praksis så vidt muligt erstattet med danske forhold/ praksis.

BAT defineres i BREF-dokumentet både kvalitativt og kvantitativt. BAT defineret kvalitativt er meget generelt og er ikke i modstrid med hidtidige danske krav for kølesystemer, der er omfattet af denne orientering. For en begrænset del af miljøpåvirkningerne er BAT defineret kvantitativt i form af forbrugs- og emissionsniveauer for udvalgte kølesystemer. Disse niveauer anses for at være i overensstemmelse med de krav, der stilles/praksis i Danmark.

1.4 Læsevejledning

Kapitel 2 beskriver en BAT-tilgang, hvor de væsentligste faktorer, som bør overvejes, er defineret for dermed at sikre, at det krævede niveau for køling opnås med en minimal miljøpåvirkning.

Kapitel 3 beskriver de væsentligste overordnede forskellige principper for køling og for den tekniske udformning af kølesystemer. Derudover præsenterer kapitel 3 data om systemernes anvendelse og ydelse samt en oversigt over de relevante miljøproblemer.

Kapitel 4 beskriver de miljøpåvirkninger og mikrobiologiske risici, som skal tages i betragtning i forbindelse med en miljøgodkendelse. Derudover beskrives principperne ved de teknikker, der kan tages i betragtning ved bestemmelse af BAT. Så vidt muligt defineres der forbrugs- og emissionsniveauer, der anses for opnåelige for det anvendte kølesystem. Kapitel 4 beskriver også den danske miljølovgivning, der relaterer sig til de forskellige aspekter af et kølesystem.

Kapitel 5 identificerer de teknikker, som anses for at være BAT med hensyn til de centrale miljømæssige problemstillinger forbundet med køling. På grund af stor variation i systemer, teknikker og driftsmetoder forbundet med den specifikke anvendelse på det enkelte anlæg har det kun sjældent været muligt at fastlægge, hvilken miljøpræstation i form af reducerede forbrug eller emissioner, der er knyttet til BAT. Men det har været muligt at identificere, hvad der er den generelle forebyggende tilgang i forhold til de forskellige miljøparametre.

Bilag med ordliste, hvor terminologien brugt for de forskellige aspekter af kølesystemer defineres.

2 Generel BAT-tilgang for industrielle kølesystemer

I adskillige industrielle processer skal overskudsvarme, også kaldet spildvarme, fjernes ved hjælp af køling. Driften af disse kølesystemer har visse miljøkonsekvenser. Niveau og karakter af miljøpåvirkningerne varierer afhængigt af køleprincippet og måden disse systemer drives på. For at minimere denne påvirkning kan anvendes tiltag, som har til formål at forebygge miljøpåvirkning ved en systematisk stillingtagen til de forskellige krav til kølesystemet.

Ved vurdering af BAT bør der tages hensyn til køling som en integreret del af den overordnede energiledelse af en industriel proces. Intentionen bør være at genbruge overskudsvarme fra én proces i andre dele af den samme proces eller i forskellige processer på stedet for at minimere behovet for udledning af spildvarme til miljøet. Dette vil påvirke den overordnede energieffektivitet af en proces og reducere krav til køling, for systemet kræver kapacitet til dets operationelle behov. Optimering af energieffektivitet er imidlertid en kompleks opgave og anses som meget processpecifik og som sådan uden for rammerne af denne orientering. Selvom der ikke er mulighed for genbrug på stedet, behøver dette ikke automatisk at medføre udledning af varme til miljøet. I stedet kan muligheder for genbrug til industriel eller civil anvendelse uden for virksomheden overvejes. I sidste ende, hvis mulighederne for genbrug af varme ikke kan udnyttes yderligere, skal udledning af overskudsvarme til miljøet overvejes.

Så snart det er vurderet, hvor meget varme der skal fjernes, kan man foretage en første udvælgelse af et passende kølesystem. Mange miljøpåvirkninger fra kølesystemets drift kan påvirkes af korrekt design og valget af de rigtige materialer, under hensyntagen til proceskrav og lokale aspekter. Det antages, at 80% af kølesystemets ydeevne allerede er bestemt på tegnebordet og 20% ved den måde kølesystemet drives på (den såkaldte 80/20 regel). Mange forskellige faktorer skal afvejes i vurderingen af, hvad der er BAT (Best Available Techniques) for at reducere miljøpåvirkningen fra køling. Det er vigtigt at erkende, at et kølesystem er hjælpeudstyr, men at det samtidig er en væsentlig og integreret del af en industriel proces, og at hver ændring i køleprocessen eventuelt kan påvirke udførelsen af den industrielle proces eller fremstillingsproces, som skal nedkøles.

Vurderingen af forbrug og udledning fra kølesystemer, sammenholdt med beslutningen om hvilken køleteknik der skal anvendes, skal derfor ske i lyset af anlæggets totale miljøpræstation og de krav, der stilles til processen, der skal nedkøles, og i sidste instans afvejet mod omkostningerne. Niveauet af den krævede køling er processpecifik. Hvor nogle processer kan tolerere en bestemt midlertidig stigning i procestemperatur, kan andre mere temperaturfølsomme processer ikke, da dette vil medføre en stor negativ påvirkning af miljøpræstationen for hele produktionen.

I IPPC-direktivet, der er implementeret i de danske regler om kap. 5 godkendelse af liste-virksomheder, fastsættes, at virksomhedernes miljøpræstation skal forbedres ved anvendelsen af BAT. Spørgsmålet er, om og hvordan BAT for kølesystemer kan bestemmes generelt, når den endelige afgørelse af, hvad der er bedst, unægteligt er et lokalt spørgsmål, hvor de specifikke krav fra proces, miljø og økonomi skal afvejes. For at strukturere og til en vis grad forenkle den komplicerede proces det er at bestemme BAT, følger denne orientering den fremgangsmåde, der er beskrevet ovenfor og præsenteret i Figur 2.1. Anvendelsen af denne fremgangsmåde vil føre frem til en afvejet beslutning om anvendelsen af et kølesystem samt optimering af dets drift baseret på BAT og være gældende for både nye og eksisterende anlæg.

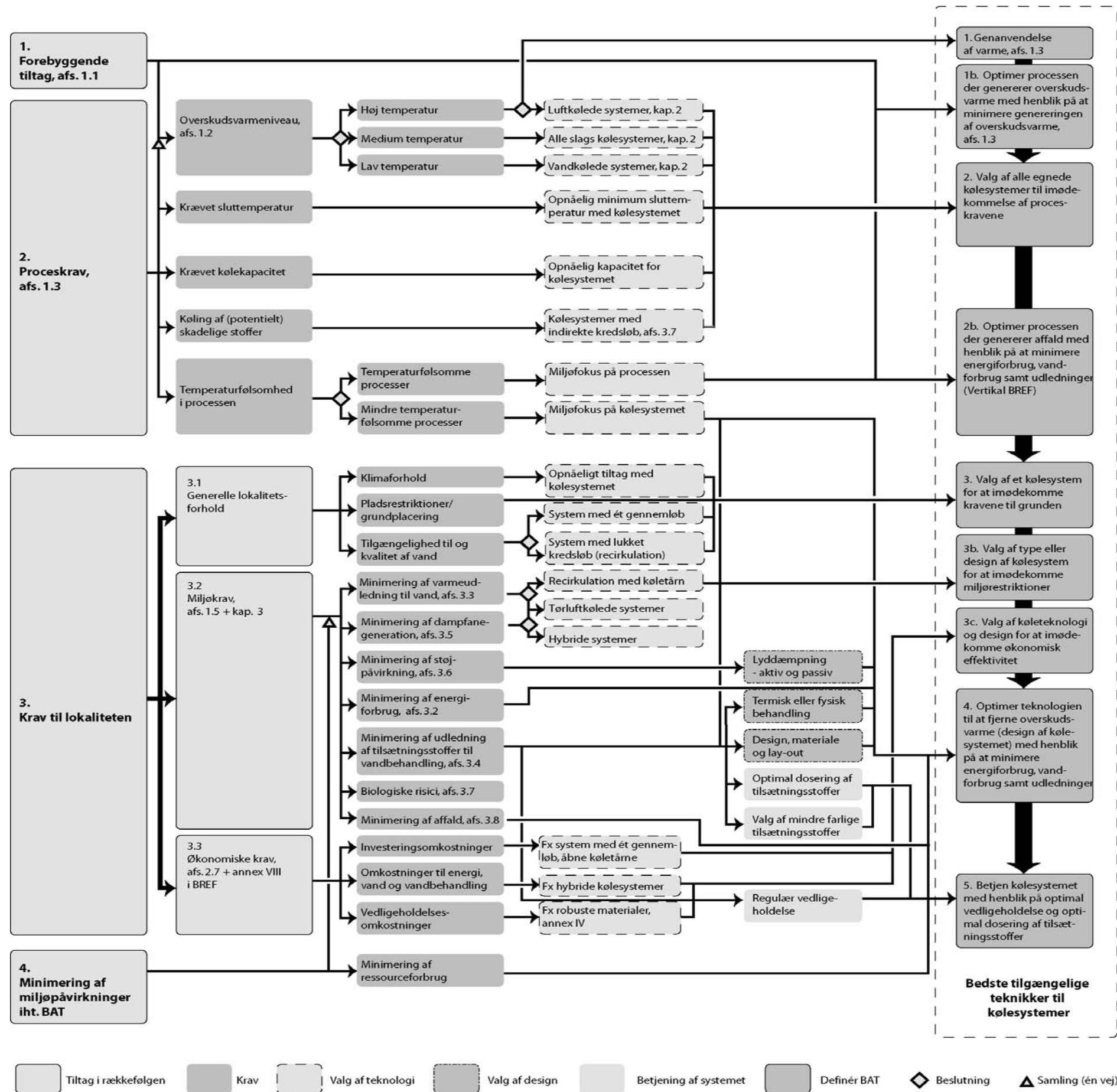
BAT-tilgangen består af følgende trin, som sigter mod at reducere emissioner og minimere miljøpåvirkning:

- Reduktion af endeligt niveau af produceret spildvarme, inklusive overvejelser om mulighed for genbrug
- Definition af proceskrav
- Betragtninger vedrørende generelle stedforhold
- Vurdering af miljøkrav
 - mulighed for minimering af ressourceforbrug
 - mulighed for reduktion af emissioner
- Udvikling af systemdrift (vedligeholdelse, overvågning og risikoforebyggelse)
- Økonomiske krav

I Figur 2.1. er BAT-tilgangen vist skematisk, og figuren viser de mest relevante faktorer, der indgår i bestemmelsen af BAT til industrielle kølesystemer. Af hensyn til overskueligheden er ikke alle forbindelser mellem forskellige køleaspekter medtaget i skemaet. For eksempel er der en forbindelse mellem støjdæmpningstiltag og reduktion af specifikt, direkte energiforbrug; og den opnåelige minimum sluttemperatur af et kølesystem er begrænset af lokale klimaforhold.

I det følgende vil BAT-tilgangen blive diskuteret yderligere i lyset af generelle principper for drift af industrielle kølesystemer. I sagens natur kan denne optimering ikke være en præcis matematisk sammenligning af forskellige løsninger. Optimeringsprocessen indebærer en lignende udfordring for alle miljøbalancer, da den kræver en sammenligning af forskellige miljøpåvirkninger og en beslutning om, hvilken der er den mindst alvorlige eller den mest acceptable. Alligevel sigter den foreslåede BAT-tilgang imod at skaffe væsentlig information om betydningen af forskellige løsninger for miljøet, om omkostninger og risiko samt om de faktorer, der har indflydelse på disse. Baseret på denne information kan en beslutning træffes, som meget bedre kan retfærdiggøres, end hvis man kun fokuserer på at optimere en enkelt faktor (f.eks. vandindtag, energiforbrug, dampfane eller støj, osv.). Der vil blive givet indikative eksempler på, i hvilken retning ændringerne går i stedet for specificering af bestemte emissioner og reduktioner. Hvor det er nødvendigt, er der angivet data eller henvist til BREF-dokumentet, men for de fleste involverede faktorer er data for ressourceforbrug og emissioner fra kølesystemet enten begrænsede eller for specifikke til at være generelt anvendelige. Sammenfattende bygger vurderingen af et kølesystem med afvejning af de forskellige faktorer på følgende punkter:

- proceskrav fra den proces, der skal nedkøles, har forrang over tiltag for reduktion af miljøpåvirkning fra kølesystemet,
- anvendelse af BAT-tilgangen sigter ikke mod en diskvalifikation af nogen af de konfigurationer, der er beskrevet i kapitel 2,
- BAT-tilgangen giver større frihed til optimering og forebyggelse af emissioner i designfasen af nye installationer, men for eksisterende installationer bør designændringer også overvejes.
- derfor forventes det for eksisterende anlæg, at BAT-tilgangen vil starte senere i figurens vurderingstrin,
- en yderligere skelnen kan foretages mellem de store specialfremstillede kølesystemer og de mindre systemer (seriefremstillede) med hensyn til grad af miljøpåvirkning,
- optimering bør ses som udnyttelse af designmuligheder, anvendelse af reduktionsteknikker og god driftspraksis,
- reduktionen i emissioner efter indførelse af BAT-tilgangen er ikke forudsigelig, men afhænger af de krav, man stiller til kølesystemet,
- BAT-tilgangen sigter imod drift af kølesystemet ved en afvejning af proceskrav og lokale miljømål,
- udvælgelseskemaer er nyttige, når der foretages et afvejet valg,
- endelig vil ethvert afvejet valg have en vis indvirkning på miljøet.



Figur 2.1 Analysestruktur som viser de faktorer, der indgår i bestemmelsen af BAT til udledning af spildevareme med henvisning til relevante kapitler og afsnit i nærværende orientering.

2.1 Kilder til varme, varmeniveauer og anvendelsesområder

Alle industrielle processer, som bruger energi, omdanner forskellige former for energi (mekanisk, kemisk, elektrisk osv.) til varme og støj. Afhængigt af processen kan denne varme ikke altid genvindes og/eller genbruges, men skal fjernes fra processen ved køling. Mængden af ikke-genanvendelig varme kan kaldes for spildvarme, og den skal overføres til omgivelserne. Nedenfor er nævnt et antal processer med en specifik høj produktion af spildvarme og et stort behov for køling. I mange processer findes forskellige kilder til spildvarme og på forskellige niveauer: høj (over 60°C), medium ($25 - 60^{\circ}\text{C}$), og lav ($10 - 25^{\circ}\text{C}$). Forskellige processer med specifikke krav kan findes inden for det samme produktionssted. Store kølesystemer bruges ved store forbrændingsanlæg (kraftværker), i den kemiske industri, raffinaderier, jern og stålindustrien, fødevarerindustrien, papirvarerindustrien, forbrændingsanlæg og i glasindustrien.

Inden for den samme proces anvendes køling til forskellige formål såsom køling af processtoffer i en varmeveksler, af pumper og kompressorer, af vakuumsystemer og af dampeturbindekondensatorer. Der kan skelnes mellem følgende hovedkilder til spildvarme med tilhørende spildvarmeniveauer:

- **Friktion** - er defineret som transformation af mekanisk energi til varme. Kølesystemer til disse processer plejer at være indirekte systemer med olie som primært kølemiddel. Da olie er brugt som kølemiddel, er kølesystemet følsomt overfor høje temperaturer. Spildvarmens gennemsnitlige temperatur er derfor på medium niveau.
- **Forbrænding** - transformation af kemisk energi ved oxidering til varme. Spildvarmeniveauet ved forbrændingsprocesser er variabelt.
- **Eksoterme processer (kemisk)** - mange kemiske processer er eksoterme: Kemisk energi er transformeret til varme uden nogen form for forbrænding. Eksoterme processer er ofte meget følsomme overfor virkningsgraden af varmefjernelse. Temperaturniveauet af spildvarme er medium til højt, afhængigt af processen.
- **Kompression** - kompression af gas medfører generering af varme. Denne varme skal typisk fjernes som spildvarme på et medium til højt temperaturniveau.
- **Kondensering** - (termodynamiske cykler) - mange processer er baseret på termodynamiske cyklus principper. En væske fordamper, optager energi og bliver efterfølgende kondenseret under omdannelse af overskudsenergi til varme. Termodynamiske systemer er meget temperaturfølsomme, og temperaturniveauet er medium til lavt.

Spildvarmeniveauet er en vigtig faktor, som skal tages i betragtning, når man vælger et industrielt kølesystem. Tabel 2.1 viser temperaturintervallet af det medie, der skal nedkøles, og de bedst egnede kølesystemer. Jo lavere spildvarmeniveau, jo sværere er det at køle med tørluft-systemer. I praksis anvendes luftkøling i Danmark til procestemperaturer over $30 - 45^{\circ}\text{C}$. Varmeni-

veauer over 100°C bliver generelt for-kølet med tør luft, hvis der ikke er tilgængelige muligheder for genvinding og genanvendelse. Fordampningskøling bliver ofte brugt til at nedkøle processtrømme med medium og lave temperaturer. Ved lave temperaturer bruges også systemer med ét gennemløb, især hvor der kræves stor kølekapacitet.

Intervallerne bør ikke betragtes som faste, når man skal vælge kølesystem. Temperaturerne er f.eks. i høj grad afhængige af de lokale forhold (klima og kølemiddeltemperatur), og den eventuelle anvendelse af systemet vil variere herefter. Derfor bruges systemer med ét gennemløb også ved højere temperaturniveauer under forudsætning af, at tilladte udledningstemperaturer til recipienten ikke bliver overskredet. For de processer, der skal være i drift året rundt under skiftende klimaforhold, kan det også være nødvendigt at bruge en kombination af forskellige kølesystemer.

Tabel 2.1 Procestemperatur og anvendelsesområder

Procestemperatur	Egnet kølesystem	Typisk anvendelse
Lav temperatur (10-25°C)	System med ét gennemløb (direkte/indirekte) Vådkøletårn (mekanisk ventileret) Hybride køletårne Kombinerede kølesystemer	Energiproduktion (Petro-)kemiske processer
Middeltemperatur (25-60°C)	System med ét gennemløb (direkte/indirekte) Vådkøletårn (mekanisk ventileret) Køletårne med lukket kredsløb Fordampningskondensatorer Luftkølede kølere med væske Luftkølede kondensatorer Hybride køletårne/kondensatorer Hybride køletårne med lukket kredsløb	Kølekredsløb Kompressorer Maskinkøl Autoklav-køling Køling af roterovne Stålfabrikker Cementfabrikker
Høj temperatur (over 60°C)	System med ét gennemløb (direkte/indirekte) i særlige tilfælde Vådkøletårn (mekanisk ventileret) Luftkølede kølere/ kondensatorer med væske	Affaldsforbrændingsanlæg Motorkøl Køl af udstødningsgasser

2.2 Køleniveau og indflydelse på proceseffektivitet

2.2.1 Temperaturfølsomme anvendelser

Mange kemiske og industrielle processer er temperaturkritiske. Processens virkningsgrad er følsom overfor temperatur og/eller tryk og er derfor forbundet med virkningsgraden af at fjerne spildvarmen. Eksempler på temperaturkritiske anvendelser er:

- energiproduktion

- termodynamiske cykler
- eksoterme processer.

Integreret forebyggelse af forurening betyder, at ved udvælgelsen af bedste tilgængelige køleteknik og anvendelse af teknikker, behandlinger eller måder at fungere på bør der ikke kun tages hensyn til de direkte miljøpåvirkninger af de forskellige kølesystemer, men også de indirekte miljøpåvirkninger på grund af varierende virkningsgrad af de forskellige processer. Det skal besluttes på lokalt niveau, om dette skal forfølges ved at fokusere på kølesystemet i stedet for produktionsprocessen. En stigning af de indirekte påvirkninger kan være væsentligt højere end et fald i de direkte påvirkninger fra det udvalgte kølesystem.

Hvordan udvælgelsen af et kølesystem kan påvirke præstationen (ydelse, virkningsgrad, miljøpåvirkning etc.) er godt illustreret i BREF-dokumentet (afsnit 1.2).

2.2.2 Ikke følsomme processer

Andre processer er mindre temperaturfølsomme. Virkningsgraden af disse processer er mindre afhængige af temperatur eller tryk. For disse processer skal der fokuseres på det mest økonomiske og miljørigtige kølesystem til afledning af den resterende spildvarme, efter at alle potentielle muligheder for genanvendelse er blevet udnyttet.

2.3 Optimering af primærprocessen og genbrug af varme

Optimering af den overordnede energivirkningsgrad af primærprocessen vil ikke blive behandlet i dybden i dette dokument. Jævnfør den forebyggende BAT-tilgang bør denne optimering imidlertid ske, før det overvejes at bortskaffe spildvarmen. Dvs. behovet for varmeudledning skal minimeres, hvilket samtidigt vil påvirke konfigurationen og størrelsen af det krævede kølesystem. Kølesystemet medfører ikke nødvendigvis udledning til miljøet, da denne energi også kan genvindes.

2.3.1 Optimering af primærprocessen

Optimering af primærprocessen kan reducere de overordnede miljøpåvirkninger markant. Energiproduktion er kilde til meget af den ikke-genanvendelige varme, som skal fjernes ved hjælp af kølesystemer. Afhængigt af virkningsgraden overføres op til 60% af brændselsenergien til spildvarme. Hvis virkningsgraden af den energiproducerende proces stiger, kan miljøpåvirkningerne reduceres, og kølesystemet spiller her en afgørende rolle. Dette princip kan også anvendes i andre industrielle sektorer og samtidig reducere energiomkostninger, udledning af spildvarme til miljøet samt emissioner til luft (CO₂). Generelt, jo højere varmeniveau, des nemmere genanvendelse.

Nogle få eksempler på anvendte teknikker i dag:

- forvarmning af brændsel eller råmaterialer (metaller)

- pinch-teknologi (en termodynamisk analysemetode)
- ekstern anvendelse (f.eks. opvarmning af drivhuse/beboelsesområder)
- kombineret kraft-varme produktion.

I stedet for kun at bruge kølevand eller luft er det almindeligt på raffinaderier at forvarme brændsel ved at bruge en kold, indgående kulbrintestrøm til at nedkøle en varm raffineret strøm, der forlader enheden. Som følge heraf er der et reduceret behov for at forvarme det (kolde) uforarbejdede brændsel og et lavere krav til kølevand. Afhængigt af processen kan antallet af kolde strømme begrænses, og et vist behov for kølevand eller luft vil være tilbage.

Co-produktion eller kombineret kraftvarmeproduktion anvendes i stort omfang i den danske energiproduktion og også i andre dele af industrien (f.eks. papirindustri og (petro-)kemisk industri). Hvor der er behov for begge former for energi, kan deres generering kombineres. Dette sparer energi, reducerer CO₂ og SO₂ emissioner og kræver næsten ikke nogen køling, hvorved behovet for (store) kølesystemer undgås.

2.3.2 Brug af spildvarme uden for virksomheden

Hvis optimeringen af den spildvarmeproducerende proces ikke medfører en yderligere reduktion i spildvarme, skal BAT-tilgangen bruges til at vurdere, om der kan findes en mulighed for genvinding af spildvarmen. Dette spørgsmål er uden for rammerne af IPPC, da det relaterer sig til god miljø/energiledelse. Dette kan gøres på en nuværende lokalitet eller eventuelt som integreret del af en lokalitetsudvælgelse (se næste kapitel). At finde passende forbrugere er imidlertid ikke nogen nem opgave. Ofte er forbrugeres krav ikke forenelige med kølekravene. I nogle tilfælde kræver varmemeforbrugeren et højere temperaturniveau end planlagt. Hvis det er teknisk muligt at drive primærprocessen på et højere temperaturniveau, skal den overordnede energibalance monitoreres omhyggeligt. Tabet i energivirkningsgrad i primærprocessen vejer ofte tungere end de besparelser, der opnås ved forbrug af "spildenergi". Man skal passe på ikke at skabe en situation, hvor der opstår afhængighed af den tilgængelige spildvarme.

Der findes en række eksempler på ekstern anvendelse af spildvarme fra kraftværker til opvarmning i huse og kontorer eller i sjældne tilfælde til køling via absorptionskøleanlæg. Denne anvendelse kan være med til at hæve brændslets udnyttelsesgrad fra ca. 40% til over 85% og derved nedsætte kølebehovet fra installationen. Der er ligeledes eksempler på, at et hybrid køletårn med varierende blæserhastighed er anvendt til at kunne tilpasses til det varierende behov for fjernvarme. I et andet tilfælde skulle tårnet kun drives i tør tilstand ved ca. 10% af max. kapacitet, så snart udendørstemperaturen var faldet til 5°C, simpelthen fordi det maksimale eksterne varmemeforbrug var opnået ved dette punkt. Dette rejser spørgsmålet, i hvilket omfang potentielle muligheder for genbrug kan påvirke valget af kølesystem, hvor driftsfleksibilitet er påkrævet.

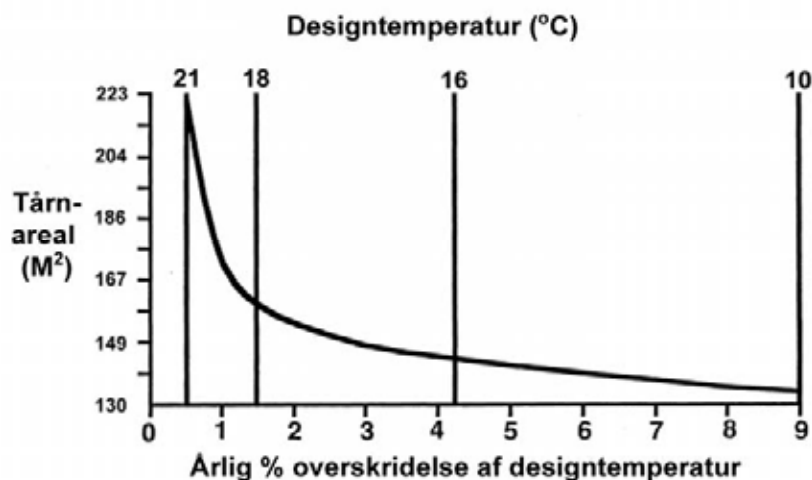
2.4 Valg af kølesystem ud fra proceskrav og lokale forhold

2.4.1 Proceskrav

Så snart varmeniveauet (høj, medium, og lav) er vurderet, kan en grov udvælgelse ske i henhold til tabel 1.1. Udover varmeniveauet er der mange andre faktorer, der skal inddrages i udvælgelsen af kølesystem for at kunne tilgodese proceskrav og generelle lokale forhold, såsom:

- krav til minimum sluttemperatur for det stof, der skal nedkøles,
- krav til kølekapacitet,
- krav til indirekte kredsløb til forøgelse af approach temperatur,
- klimaforhold, adgang til vand og pladskrav.

I betragtning af de indirekte følger af ikke optimal proceskøling er kravene til minimum sluttemperatur på den proces, der skal nedkøles, afgørende. Dette betyder, at det kølesystem, der er brugt eller valgt, skal opnå denne sluttemperatur og samtidig tilgodese andre (procesrelaterede) krav. Kølesystemets ydeevne skal helst optimeres under hensyntagen til de årlige temperatursvingninger i kølemediet. For fordampningskøling er luftens våde temperatur vigtig, og der er en vis grad af fleksibilitet i valget af designtemperatur, hvilket igen vil indvirke på størrelsen af kølesystem og krav til strømforsyning. En reduktion af kølesystemet må nøje vurderes og godkendes fra sag til sag. Nogle anlæg skal drives hele året rundt med samme virkningsgrad og optimal køling. For eksempel er det, når der benyttes mekanisk ventilerede køletårne eller tørkølere, mest økonomisk at drive systemet, hvis kølerne har flere celler. Nogle af dem kan tages ud af drift for at spare vand og elektrisk energi, uden at det medfører synderligt tab i virkningsgrad.



Figur 2.2 Tårnareal som funktion af procentvis tid, hvor luftens våde designtemperatur er overskredet.

Med hensyn til energiproduktion er figur 2.2 ikke anvendelig, da optimeringen af den kolde ende er foretaget ved brug af validerede temperaturer:

- for våde eller tørre køletårne er den våde (eller tørre) lufttemperatur taget for det samlede år, og der er anvendt én værdi for hver 3. time,
- for systemer med ét gennemløb er vandtemperaturen målt, og der er anbefalet én værdi per måned.

Derefter foretages optimeringen under hensyntagen til energivaloriseringen for hele året. Denne metode, som kaldes for global aktualiseret balance, er beskrevet i Bilag XII i BREF-dokumentet.

Generelt anvendes en sikkerhedsmargin for at sikre, at kølesystemet opfylder kølekravene når som helst og især i sommermånederne. I tilfælde hvor luftens våde temperatur hele tiden holder sig langt under luftens våde designtemperatur, eller hvor varmelastningen ser ud til at være lavere, kan varmeveksleren have overkapacitet. Hvis dette forventes, kan man overveje driftstiltag, såsom varierende blæserdrift, som tillader systemet at køre under kapacitet og derved reducere det direkte energibehov.

I mange industrier er det praksis at overdimensionere kølesystemet i installationsfasen for at give plads til kapacitetsvækst. Den ekstra kapacitet bruges derefter gradvis op, indtil et nyt tårn må tilføjes. Når en ansøgning om miljøgodkendelse til udvidelse af produktion og kølekapacitet skal behandles, bør der altid foretages en vurdering af, om der er ekstra kapacitet i det eksisterende kølesystem, om virkningsgraden ikke er udnyttet, eller hvorvidt det er dårligt vedligeholdt.

Denne fremgangsmåde gør det muligt at bestemme den nødvendige kølekapacitet (kW eller MW), størrelsen af kølesystemet (varmeveksler) og muligvis også valg af kølemiddel (vand eller luft). Industrier der kræver stor kølekapacitet for at opnå lave procestemperaturer (kraftværker og (petro-)kemisk industri) foretrækker lokaliteter, hvor der er adgang til store og pålidelige vandforsyninger, og hvor det er muligt at bruge systemer med ét gennemløb. Hvor vandforsyningen er begrænset, bruges åbne, våde eller våde/tørre køletårn med stor kapacitet.

Behovet for at nedkøle (potentielt) skadelige stoffer kan også påvirke kølesystemets størrelse samt den mulige sluttemperatur (se Bilag VI i BREF-dokumentet). I denne situation kan BAT-tilgangen føre til den konklusion, at påvirkninger fra lækage kun kan forebygges tilstrækkeligt, hvis et sekundært (indirekte) system er anvendt. Dette betyder, at et andet omløb skal designes, og at designtemperaturen vil stige som følge af en forøgelse af tilgangen. Dette vil medføre højere sluttemperaturer af det stof, der skal nedkøles og en yderligere reduktion i virkningsgraden.

2.4.2 Valg af lokalitet

For et givet anlæg vil der være en række lokalitetsspecifikke karakteristika, der har betydning for optimering af miljøforholdene. For eksisterende systemer er lokaliteten bare en given værdi, og miljøoptimeringen skal foretages inden for

de rammer, der er knyttet til lokaliteten. For eksempel kan en begrænsning af vandforbruget som følge af skift til tørluftkøling se ud til at være en klar fordel. Hvis der er mulighed for at vælge lokaliteten, kan kravene til køleprocessen påvirkes væsentligt. Derfor er det vigtigt, at alle følgende aspekter er taget i betragtning under designfasen i forbindelse med udvælgelse af lokalitet:

- kvantitet, kvalitet og omkostninger ved det tilgængelige kølemiddel (vand og luft),
- tilgængelig størrelse (areal, højde, vægt af køleinstallationer),
- effekt på vandkvalitet og vandorganismer,
- effekt på luftkvalitet,
- meteorologiske effekter,
- udledninger af kemiske stoffer til vand,
- støjemissioner,
- æstetiske aspekter for bygningen,
- anlægsinvesteringer til kølesystemer, pumper, rørledninger og vandbehandling,
- driftsomkostninger til pumper, blæsere og vandbehandling,
- årlige omkostninger til vedligeholdelse og reparation,
- driftsparametre såsom minimum levetid, årlig driftstid, gennemsnitlig belastning i termisk effekt og gennemstrøms hastighed,
- driftskrav såsom nødvendig adgang og systemtilgængelighed,
- miljølovgivningskrav til varmeudledning, røgfæner, akustiske emissioner, totalhøjde osv.,
- for kraftværker: tab i anlæggets virkningsgrad, anlægsinvesteringer til at kompensere for tab i kraftoutput, anlægslevetid og tab i energiindtægter på grund af en lavere anlægsvirkningsgrad.

Plads

Forskellige kølesystemer har forskellige pladskrav til den samme køleydelse og varierer i arealkrav, højde og vægt. Dette afhænger af hvilket varmeoverførselsprincip man følger (se Bilag I i BREF-dokumentet).

For store systemer kan pladsbegrænsninger være et problem og vil indgå i vurdering af lokaliteten. Dette relaterer sig til processer, der skal nedkøles udelukkende ved hjælp af luft, hvor der er behov for store multi-celle konstruktioner for at sikre den krævede kølekapacitet. For mindre kapaciteter bør plads-

hensyn ikke være en begrænsende faktor, idet der findes tagkonstruktioner på markedet, som er specifikt designet til disse situationer.

Arealbegrænsninger for eksisterende lokaliteter, for eksempel i tætbyggede byområder eller industriområder, er en vigtig faktor ved udvælgelse af kølesystemer. For eksempel kræver et køletårn på toppen af en bygning intet ekstra grundareal, men tagets konstruktion kan medføre vægtbegrænsninger.

Areal- og højdekrav er vigtige kriterier for luftkølede og blandede systemer. Luftventilation kan opnås ved ventilation med blæsere (mekanisk aftræk).

Vurdering af lokalitet

For en række industrielle og andre anlægstyper kræves der gennemført en VVM (Vurdering af virkninger på miljøet), før tilladelse til opførelse og miljøgodkendelse kan gives. En VVM omfatter også overvejelser om den miljømæssigt mest hensigtsmæssige placering af anlægget. Anlægstyperne, der er omfattet af bestemmelserne, er opført på bilag I eller II til bekendtgørelse om supplerende regler i medfør af lov om planlægning. Anlæg omfattet af bilag I kræver altid, at der bliver gennemført en VVM, mens der for anlæg omfattet af bilag II kun kræves en VVM, hvis de kan tænkes at påvirke miljøet væsentligt. Det er regionplanmyndigheden, der tager beslutningen om dette.

Arealer til virksomheder med særlige beliggenhedskrav, dvs. virksomheder, som ikke kan placeres i almindelige by- eller erhvervsområder, skal udlægges i regionplanen, jf. planloven. Det drejer sig bl.a. om virksomheder omfattet af risikobekendtgørelsen samt om virksomheder, der er indplaceret i de højeste afstandsklasser i Miljøministeriets "Håndbog om miljø og planlægning".

2.4.3 Klimaforhold

Klima udtrykt i form af våde eller tørre temperaturer er et ekstremt vigtigt lokalitetspecifikt forhold. Det påvirker både valg af køletype og den mulige sluttemperatur for den proces, der skal nedkøles. Modsætningsforholdet mellem køling med luft og/eller vand er, at når kølekravet er højt, bliver det sværere at imødekomme. For at nå den krævede procestemperatur er det et indlysende krav til alle kølesystemer, at kølemidlet skal have en lavere temperatur end det medium, der skal nedkøles, men dette afhænger af de tørre og våde temperaturer. For både vand- og luftkølede systemer kan sæsonvariationer i kølemiddeltemperaturen begrænse valget af kølesystem og kræve en bestemt driftsmåde.

Luftens våde temperatur er altid lavere end luftens tørre temperatur. Våde temperaturer er afhængige af den målte temperatur af atmosfæren samt fugtighed og lufttryk. For latent fordampnings varmeoverførsel er den våde temperatur den relevante temperatur. Det er teoretisk set den laveste temperatur, som vand kan nedkøles til ved fordampning. For en rimelig varmeoverførsel er den tørre (tør luft) temperatur relevant, hvor luft er kølemiddel.

For valg af type og design af kølesystem er designtemperaturen vigtig og plejer at relatere sig til sommerniveauer for luftens våde og tørre temperaturer. Når forskellen mellem disse temperaturer er større og de tørre temperaturer er hø-

jere, vil det være sværere at nå ned til lave sluttemperaturer med tørre luftkølede systemer. Dette kan medføre tab i virkningsgraden. Der kan iværksættes tiltag for at overvinde tabet, men de kræver en vis investering. Af økonomiske årsager er det nyttigt at identificere variationen af disse temperaturer over året og hvilken procentdel af året, de maksimale temperaturer faktisk er opnået.

2.5 Valg af køleteknik med henblik på overholdelse af miljøkrav

Miljøkrav kan påvirke anvendelsen af et kølesystem og er et ekstra aspekt i den afvejede udvælgelse af et nyt kølesystem eller i optimeringen af et eksisterende kølesystem. Generelt kan der skelnes mellem seks hovedaspekter med konsekvens for valget af kølesystem:

- minimering af energiforbrug,
- minimering af varmeemissioner,
- minimering af store dampfaneemissioner,
- minimering af udledning til vand,
- minimering af støjemissioner,
- minimering af emissioner til jord og jordiske habitater.

Disse aspekter er indbyrdes forbundne, og hvert valg har potentielle konsekvenser for et eller flere af de andre aspekter. Formålet er at forebygge emissioner til miljøet fra rutinedrift. I dette vurderingstrin bør forskellen mellem vand-, luft- og luft/vand- kølesystemer såvel som de driftsmæssige konsekvenser ved valg af et bestemt design eller materiale klarlægges.

2.5.1 Generel sammenligning mellem luft- og vandkølede systemer

Minimering af miljøaspekterne bliver ofte omsat til en sammenligning mellem vand- og luftkølesystemer. Tidligere i dette dokument er der blevet argumenteret for, at en bedømmelse af vand- kontra luftkøling ikke bør foretages i generel forstand, idet den ikke tager hensyn til lokale afgrænsninger, som kan begrænse brugen af det ene eller det andet system. Imidlertid kunne det være belejligt at overveje eller genoverveje kølesystemets vandbehov i lyset af vandspareprogrammer og det stigende krav til vand med god kvalitet til andre formål (civil og industriel) end køling.

Det økonomiske balancepunkt i valget mellem tørre luftkøle- og vandkølesystemer ligger ikke fast, og ifølge litteraturen vil det være et eller andet sted mellem 50°C og 65°C (som sluttemperatur) afhængigt af lokale klimaforhold.

Krav til areal og placering

- Luftkøling kræver plads på grund af luftens lave specifikke varmekapacitet. Arealet kan holdes på et minimum ved at installere luftkølere oven over andet procesudstyr eller en rørbro,

- Luftkølesystemer har begrænsninger mht. beliggenhed, idet de ikke kan placeres for tæt på bygninger på grund af den resulterende luftcirkulation, blokering af luftforsyning og faren for kortslutning,

Omkostninger til vedligeholdelse

- Generelt anses omkostninger til vedligeholdelse af luftkøling for at være lavest, idet de ikke kræver afkalkning og mekanisk rengøring af det overfladeareal, der er i kontakt med vandet, og ikke kræver ekstra overfladeareal for at kompensere for overfladetab forårsaget af forurening på vand-siden,

Processtyring

- Styring af procestemperatur er nemmere med luftkøling eller med recirkulering end med køling med ét gennemløb, hvor balancen mellem vandindtag og -udtag begrænser styringen af vandflow og temperaturstigning. Med køling ved hjælp af mekanisk ventilation eller fordampningssystemer er der ingen begrænsning i den tilgængelige mængde luft, og luftstrømmen kan justeres i henhold til proceskrav ved hjælp af on/off drift af blæsere, multi-blæser installation med flere blæsere eller modulerende kapacitetskontrol,
- Lækager i kølevand er nemmere at detektere, selvom påvisning af lækager i kondensatorer er rapporteret at være sværere. Disse påvirker som regel processens virkningsgrad.

2.5.2 Designfaktorer og valg af materialer

Når man følger BAT-tilgangen, er design af kølesystem og valg af rette materialer et vigtigt forebyggende skridt. Begge kan påvirke driften gennem det krævede direkte energiforbrug, forekomsten af kontrollerede (vandbehandling) og ikke kontrollerede (lækage) emissioner til miljøet, støjemissioner samt retning af varmeemissioner (vand eller luft). Det valgte design og materialer vil også kræve en vis investering. Igen sigtes efter en balance mellem emissionsforebyggelse ved design og anvendte materialer og de involverede investeringsomkostninger. Dette er igen lokalitetsspecifikt og en kompleks sag, hvor følgende faktorer tages i betragtning:

- driftstype (f.eks. ét gennemløb eller recirkulerende),
- design af kølere og kølesystemets udformning (direkte/indirekte),
- trykniveau (kondensator),
- sammensætning og korrosivitet af kølevand,
- sammensætning og korrosivitet af det medium, der skal nedkøles,
- krav til levetid og omkostninger.

En række materialer kan bruges, og for at øge korrosionsmodstand anvendes som regel kulstofstål, galvaniseret stål, aluminium/messing, kobber/nikkel eller passende typer af rustfrit stål og titanium. Inden for disse grupper bruges en yderligere delklassificering for kvalitet. Især er bestandigheden imod korrosion, mekanisk korrosion og biologisk forurening i høj grad bestemt af vandkvalitet kombineret med eventuelle regulerende stoffer.

I Bilag IV i BREF-dokumentet findes nogle overvejelser angående udvalg af materialer for ét gennemløb og for åbne retursystemer. For hvert industrielt kølesystem kan en lignende vurdering foretages. Ved vand og vand/luftsystemer afhænger materialevalget af både kølemiddel og procesmedium, hvorimod procesmediet er det vigtigste ved direkte lukkede, tørre kølesystemer.

Naturligvis kan der anvendes forskellige materialer til forskellige dele af installationen. Der foretrækkes den materialekvalitet, der er mindst følsom overfor vandets korrosivitet eller procesforholdene. Hvis mere følsomme materialer (legeringer) vælges, kan konsekvensen være, at der er behov for et kompleks program til behandling og styring af kølevand, hvilket vil medføre emissioner og omkostninger.²

2.5.3 Muligheder for teknologisk ændring af eksisterende systemer

For nye kølesystemer vil der være mere fleksibilitet til at vælge mellem færdige systemer og vurdere alternative muligheder, hvorimod det for en eksisterende installation ofte vil være en drastisk løsning at ændre teknologi. I særlige tilfælde er det sommetider muligt at ændre teknologi, men antallet af muligheder for at reducere emissioner via teknologiske løsninger er begrænset for eksisterende installationer. Idet BAT-tilgangen anser emissionsforebyggelse for at have første prioritet under hensyntagen til de økonomiske aspekter, er teknologiændring en mulighed, der bør overvejes, før optimeringen af kølesystemdrift vurderes yderligere. I de følgende afsnit er iagttagelser og erfaringer fra leverandører præsenteret for at give eksempler på mulige optimeringstrin ved BAT-tilgangen (se også Bilag XI i BREF-dokumentet).

2.5.3.1 Ombygning - begrundelser og overvejelser

Ombygning af eksisterende installationer kan overvejes af følgende grunde:

- 1 For at erstatte eksisterende teknologi med en anden teknologi med lavere driftskrav,
- 2 For at erstatte forældet udstyr med moderne udstyr med højere virkningsgrad, og
- 3 For at justere eksisterende udstyr med henblik på at forbedre ydeevnen eller opfylde øget kølebehov.

I modsætning til valget af en ny installation, hvor lokalitetsparametrene kan være mere eller mindre definerede, er det ved ombygning sædvanligvis følgende parametre, der gælder:

² For yderligere uddybning henvises til BREF-dokumentet.

- plads - den ombyggede installation skal passe ind på den eksisterende plads,
- tilgængelighed af driftsressourcer - den nye installation bør ikke kræve flere driftsressourcer end den gamle installation; ny infrastruktur ville resultere i øgede omkostninger, og
- lovgivningsmæssige begrænsninger - påvirkninger af miljøet såsom støj skal som regel være på samme niveau eller lavere end ved den gamle installation.

Pladshensyn er ofte i sig selv en vigtig grund til ombygning. Hvis et anlæg eller en bygning skal nybygges på en eksisterende arealbegrænset plads, kunne det være en løsning at vælge en ny type kølesystem, som kan placeres på taget af en bygning, eller som kræver mindre plads end det gamle.

Den foretrukne løsning ville være en ny installation med lavere driftsbehov, således at ombygningen også er forbundet med lavere driftsomkostninger. Lavere driftsomkostninger vil være en af hovedårsagerne til ombygning. Det foretrækkes imidlertid at overveje et ombygningsscenarie, som reducerer emissioner udover forbrug af driftsressourcer. Generelt vil dette kræve højere investeringsomkostninger. Tages besparelserne i driftsomkostninger og en vis potentiel reduktion af emissioner i betragtning, kan de højere investeringsomkostninger tilbagebetales i løbet af korte tidsperioder.

Alle ombygningsscenarier skal tage hensyn til både køleteknologi og den proces, der skal nedkøles - begge skal ses som et system. Ændringer i kølesystemet kan påvirke processen og omvendt. Det første mål med en ombygning skal være at vedligeholde eller, hvis muligt, forbedre virkningsgraden af den proces, der skal nedkøles. På den anden side vil ændringer i den proces, der skal nedkøles, også resultere i forskellige krav til kølesystemet. Dette kunne være en anden grund til ombygning.

Ændringer i den proces, der skal nedkøles, kan medføre ændrede krav til kølesystemet:

- På grund af ny teknologi genereres mindre spildvarme fra processen og kravene til kølekapacitet mindskes (f.eks. computerterminaler, processer med gnidningsmodstand).
- Temperaturniveauet for spildvarmen har ændret sig, både til højere eller lavere temperaturer (f.eks. forbrændingsprocesser).
- Større dele af den genererede varme fra processen er genvundet, således at mindre spildvarme skal udledes til miljøet.
- Processens temperaturfølsomhed er øget og et kølesystem med større virkningsgrad kræves.

Tabel 2.2 opsummerer mulighederne for teknologisk opgradering som, ifølge leverandørens oplysninger, kan anses for at være tekniske set nemt (N), muligt

(M), svært (S), umuligt (UM) eller ikke relevant (IR). Generelt har hvert system et varierende antal af muligheder for ombygning. UM-N indikerer, at anvendelsen af en mulighed i høj grad er afhængig af den specifikke situation, som kølesystemet drives i (se også kapitel 3 samt Bilag i BREF-dokumentet).

Tabel 2.2 Teknologiske muligheder for opgradering af eksisterende systemer

Alternativ	Industrielle kølesystemer ¹					
	EG	ÅVK	ÅVTK	LVK	LTK	LVTk
Generelt	N	N	N	N	N	N
Forbedret kapacitet	N	N	S	S	S	S
Reduceret kW _{el}	S	N	S	N	S	S
Reduceret vandforbrug	IR	UM-N	S	UM-N	IR	S
Reduceret damp fane	IR	UM-N	IR	N	IR	IR
Nedsat støj	IR	N	N	N	S	N
Nedsat afdrift	IR	N	N	N	IR	N

¹ Systemkode, se også afsnit 3:

EG Ét gennemløb
 ÅVK Åben Våd Køling
 ÅVTK Åben Våd/Tør Køling
 LVK Lukket kredsløb, Våd Køling
 LTK Lukket kredsløb, Tør Køling
 LVTk Lukket kredsløb, Våd/Tør Køling

Der er mange mulige måder at ombygge en køleproces på, og nogle af de typiske scenarier er nævnt i de følgende afsnit sammen med relevante overvejelser for hvert scenarie.

2.5.3.2 Ændring af varmevekslingsteknologi

Som regel er det lavere driftsomkostninger forbundet med en ny teknologi eller lovgivningsmæssige begrænsninger, der er hovedårsagerne til udskiftningen af én varmevekslingsteknologi med en anden.

Et typisk eksempel er udskiftning af et system med ét gennemløb med et recirkulerende system for dermed at spare på driftsomkostninger (vand og kloak) og medfølgende begrænsning i udledning af varme til vand. Retursystemets økonomiske ydeevne afhænger af de specifikke omkostninger til vand, kloak og elektrisk energi. Hvis balancen er i miljøets favør i første omgang, og investeringsomkostningerne bliver meget højere end de årlige omkostninger, vil investeringens tilbagebetalingstid være en vigtig faktor.

I dette eksempel vil både miljøet, med hensyn til vandkrav, og virksomheden drage fordel af en teknologiændring. Miljøomkostningerne stiger imidlertid på grund af yderligere energikrav til ekstra blæser og pumpe. Vandforbruget i dette eksempel er i høj grad påvirket af fordampningstab, som er beregnet ud fra den forudsætning, at dette udgør op til 1,8% af den cirkulerende mængde pr. 10K køling (se Bilag V.3 i BREF-dokumentet).

Dette eksempel viser bare, hvordan man griber teknologiændringer an. Med forskellige prisniveauer vil udfaldene være ganske forskellige og kan falde ud til fordel for et system med ét gennemløb.

Tabel 2.3 Eksempel på konvertering af system med ét gennemløb til recirkulerende

Eksempel: Luftkompressor 500 kW	Ét gennemløb	Recirkuleret system
Indløbstemperatur	15°C	27°C
Udløbstemperatur	35°C	35°C
Vandflow	6 l/s	15 l/s
Antal driftstimer pr. år	1800 t	1800 t
Fordampningstab	–	1400 m ³ /år
Afdrænet mængde	–	700 m ³ /år
Årligt vandforbrug	38.800 m ³ /år	2100 m ³ /år
Ekstra ventilator og pumpeeffekt	–	15 kW
Investeringsomkostninger	–	€21.000

Hvis man påtænker en ændring af kølekonfigurationen, skal indvirkningen på den overordnede virkningsgrad tages i betragtning. Hvis det er muligt, skal virkningsgraden øges. For temperaturfølsomme processer skal det undersøges, om en given køleteknologi kan give lavere sluttemperaturer med det samme sikkerhedsniveau.

Et eksempel med udskiftning af en vandkølet kondensator med åbent køletårn med en fordampningskondensator viser en effekt på sluttemperatur og systemets virkningsgrad. En sådan udskiftning af teknologi kan eventuelt reducere den kondenserende temperatur med 4-6°C afhængigt af aktuelle forhold. Forøgelsen i virkningsgraden ved en sådan ombygning skønnes at være i størrelsesordenen 12-15% af kølekompressorens energibehov.

For temperaturfølsomme systemer i middel temperaturinterval kan introduktion af hybride systemer være gunstig, hvor vandforbrug og/eller vand- og kloak- omkostninger skal reduceres. En sådan ændring øger generelt ikke behovet for elektricitet, men kan reducere det årlige vandforbrug markant. Afhængigt af aktuelle forhold og påkrævet størrelse, kan hybride koncepter kræve yderligere plads.

2.5.3.3 Udskiftning af forældet varmevekselteknologi med moderne

En ændring i køleteknologi er ofte ikke passende af forskellige årsager. Imidlertid kunne en justering af den eksisterende teknologi også føre til en bedre virkningsgrad, bedre præstation, færre emissioner og lavere driftsomkostninger. Udviklingen af luftbevægelsessystemer og varmeveksleroverflader, foruden anvendelse af mere holdbare konstruktionsmaterialer, er hovedårsager til udskiftningsscenerier.

Idet der som regel ikke er ændringer i procestemperaturerne (samme teknologi), er hovedfokus i dette scenarie at reducere driftsressourcer og indvirkning på miljøet samt at opnå en forlængelse af udstyrets levetid. En forlængelse af udstyrets levetid med mere end 10 år kan realiseres ved brug af nye holdbare materialer. Det er meget sandsynligt, at udstyr installeret 15 eller 20 år tidligere nu kan erstattes af moderne udstyr med højere virkningsgrad og bedre ydeevne miljømæssigt og økonomisk.

Et typisk eksempel på forbedring af kølesystemer med ét gennemløb er anvendelsen af pladevarmevekslere med højere virkningsgrad. For fordampningskølesystemer f.eks. har der fundet en vigtig udvikling sted for at forbedre kapaciteten af køletårnsindsats ventilationssystemet resulterende i et mere kompakt design med højere energivirkningsgrad. For luftkølede systemer har ny teknologi med at forme lameller på forskellig måde opnået lignende resultater. Et eksempel på hvad effekten på energiforbruget kan være, hvis man anvender en højere virkningsgrad, er illustreret i tabel 2.4. I dette tilfælde skal investeringsomkostningerne balancere med de årlige driftsomkostninger til energiforbrug og vedligeholdelse af køletårnsindsats.

Tabel 2.4 Eksempel på konvertering af et forældet, mekanisk ventileret vådkøletårn til moderne design.

Eksempel: Mekanisk vådkøling	Gammeldags design: køl med <u>lavtydende køle-</u> <u>tårnsindsats</u> og ventilator- system	Moderne design: køl med <u>høitydende køle-</u> <u>tårnsindsats</u> og ventilator- system
Kapacitet	1200 kW	
Indløbstemperatur	38°C	
Udløbstemperatur	28°C	
Vådtemperatur	21°C	
Vandflow	28,7 l/sek.	
Blæsereffekt krævet	7,5 kW	4 kW
Energiforbrug til blæser	9 MWh/år	4,8 MWh/år
Investeringsomkostninger	–	€14.000

2.5.3.4 **Opgradering af eksisterende varmeoverførselsteknologi**

Det er ofte ikke nødvendigt at udskifte hele kølesystemet. Ydelsen af eksisterende kølesystemer kan også forbedres ved opgradering. Vigtige komponenter eller tilbehør til systemet udskiftes eller repareres, mens den eksisterende installation forbliver på stedet. Opgradering kan øge systemets virkningsgrad og reducere miljøpåvirkningen. Eksempler på opgradering er nye køletårnsindsats med højere virkningsgrad samt anvendelse af lydæmpning.

Eksemplerne i tabel 2.5 og tabel 2.6 skal ses som simplificerede illustrationer. For en integreret vurdering af miljøgevinsten bør andre faktorer også overvejes. For eksempel ved udskiftning af køletårnsindsats skal miljøomkostningerne ved den gamle indsats, som skal kasseres, også inkluderes.

Tabel 2.5 Eksempel på udskiftning af forældet indsats i mekanisk ventileret vådkøletårn med moderne indsats med høj virkningsgrad.

Eksempel: Mekanisk vådkøling	Gammeldags køletårnsindsats	Højtydende køletårns-indsats
Kapacitet	3600 kW	
Indløbstemperatur	38°C	
Udløbstemperatur	28°C	
Vådtemperatur	21°C	
Vandflow	86,1 l/sek.	
Nuværende cellegrundflade	26 m ²	
Blæsereffekt krævet	22,5 kW	13,5 kW
Energiforbrug til blæser	81 MWh/år	48,6 MWh/år
Investeringsomkostninger	–	€29.000

At det ikke er alle ændringer, der har positiv effekt, kan ses af tabel 2.6, hvor en betydelig reduktion i støjniveau er opnået. Imidlertid fører støjdempling som regel til trykfald, hvilket skal kompenseres ved en højere ventilatorydelse. Dette hæver på sin side kølesystemets direkte energiforbrug. Det vil komme an på den lokale præference, hvorvidt et lavere energiforbrug eller et lavere støjniveau skal prioriteres. Investerings- og vedligeholdelsesomkostningerne bør sammenholdes med reducerede omkostninger til energiforbrug.

Opgradering af driftsstrategien er et andet eksempel på forbedring af virkningsgraden. Den skiftende igangsætning og standsning af ventilatoren kan ændres ved modulerende styring med frekvensomformere. Dette kan resultere i væsentlige besparelser i elektrisk energi hvilket, afhængigt af forholdene, kan være 70% eller mere.

Investeringsomkostninger til opgradering kan variere betydeligt og afhænger af typen af opgradering og alderen på den eksisterende installation. Investeringen ledsages af lavere driftsomkostninger, som er et resultat af en højere virkningsgrad. Investeringsomkostninger til opgradering vil generelt være lavere end investeringsomkostninger til teknologiændringer eller erstatning af udstyr.

Tabel 2.6 Eksempel på forbedring af støjforhold ved tilføjelse af lyd-dæmpning.

Eksempel: Mekanisk vådkøling	Eksisterende vådkøletårn	Opgradering med støj-dæmpning
Kapacitet	1200 kW	
Indløbstemperatur	38°C	
Udløbstemperatur	28°C	
Vådtemperatur	21°C	
Vandflow	28,7 l/sek.	
Blæsereffekt krævet	15 kW	18kW
Lydeffektniveau	90 dB(A)	81 dB(A)
Investeringsomkostninger	–	€12.000

2.6 Økonomiske betragtninger

Omkostningerne er altid blandt de meste vigtige faktorer i udvælgelsen af et kølesystem og kan kun vurderes på et individuelt projektniveau. Tre vigtige typer af omkostninger kan identificeres:

- investeringsomkostninger,
- vedligeholdelsesomkostninger,
- driftsomkostninger relateret til energi- (og vand-) behov,
- miljøomkostninger såsom skat og omkostninger til bortskaffelse.

De absolutte omkostninger og forholdet mellem forskellige omkostninger varierer og afhænger af kølesystemet. Det kølesystem, der har de laveste investeringsomkostninger, er ikke nødvendigvis også det system, som kræver færrest driftsressourcer. Tekniske løsninger med henblik på at minimere ressourceforbruget fører ofte til højere investeringsomkostninger.

Derfor er det vigtigt, at økonomiske betragtninger ikke kun fokuserer på sammenligning af de enkelte investeringsomkostninger, men også på kølesystemets driftsomkostninger. For kraftværker er driftsomkostningerne koblet til den overordnede energivirkningsgrad. Den finansielle effekt af en ændret virkningsgrad forårsaget af valget af et alternativt kølesystem skal vurderes.

3. De teknologiske aspekter vedrørende anvendte kølesystemer

3.1 Introduktion

Dette kapitel beskriver kort principperne for nogle af de konfigurationer af kølesystemer (herefter kølekonfigurationer), der anvendes i den danske industri. Der er stor variation inden for de enkelte konfigurationers anvendelsesområde. De sigter dog alle mod at opfylde krav til selve køleprocessen, stedbestemte og miljømæssige krav samt økonomiske krav. Størrelsen og typen af varmevekslere, ventilatorer såvel som driftspraksis varierer ligeledes. De forskellige typer af kølesystemer kan klassificeres ud fra forskellige karakteristika. Nedenstående klassificering tager udgangspunkt i kølelitteraturen og er gængs i Danmark:

- tør luftkølet og/eller fordampnings (evaporativ) køling - i overensstemmelse med det fremherskende termodynamiske princip - henholdsvis sensibel varmeoverførsel og en kombination af latent og sensibel varmeoverførsel. I systemer med fordampningskøling er de to principper forbundet, men hovedparten af varmeoverførslen er latent. I systemer med tør køling forekommer udelukkende sensibel varmeoverførsel.
- åbne og/eller lukkede systemer - i et åbent kredsløb, er procesmediet eller kølemediet i kontakt med omgivelserne; i et lukket kredsløb cirkulerer procesmediet eller kølemediet i rør, spiraler eller ledninger og er ikke i kontakt med omgivelserne.
- direkte eller indirekte systemer - i et direkte system er der én varmeveksler, hvor kølemediet og det medium, der skal køles, udveksler varme; i et indirekte system er der mindst to varmevekslere og et lukket sekundært kølekredsløb mellem den proces eller produkt, der skal køles, og det primære kølemedium. På grund af den ekstra varmeveksler har indirekte systemer en højere approach-temperatur (ca. 5°C). Direkte og indirekte systemer er også kendt som primære og sekundære systemer. I princippet kan ethvert direkte kølesystem transformeres til et indirekte system, og denne mulighed bør overvejes i de situationer, hvor lækage af processtoffer vil udgøre en fare for miljøet.

Direkte kontakt-kølesystemer (ikke at forveksle med direkte/indirekte systemer) er ikke beskrevet i denne orientering, fordi deres karakteristika i høj grad er afhængig af den industrielle proces, de anvendes til (f.eks. ved direkte nedkøling af varmebehandlet stål, eller ved direkte nedkøling i fødevarerindustri-processer). Ligeledes falder systemer, der drives ved hjælp af vakuumenteknik eller specifikke kølemidler, såsom NH_3 , uden for denne orienterings rammer.

I praksis anvendes en række forskellige betegnelser for de typer køleudstyr og konfigurationer, der findes i Europa. Nomenklaturen knyttes ofte til anvendelsesformålet, og inden for energiproduktionsanlæg refererer typologien til kondenseringsprocessen (se Bilag XII i BREF-dokumentet). Som helhed kan de anlæg, der anvendes i Europa og herunder Danmark, inddeles i følgende typer i overensstemmelse med ovennævnte principper:

- kølesystemer med ét gennemløb (med eller uden køletårn)
 - direkte
 - indirekte
- åbne recirkulerende kølesystemer (våde køletårne)
- kølesystemer med lukkede kredsløb
 - tørre, luftkølede kølesystemer
 - våde, luftkølede kølesystemer med lukket kredsløb
- kombinerede våde/tørre (hybride) kølesystemer
 - åbne hybride køletårne
 - hybride tårne med lukket kredsløb.

Alle de nævnte typer er beskrevet nærmere i nærværende orientering i den orden og rækkefølge som er angivet ovenfor.

Hvad angår lukkede, recirkulerende kølesystemer kan der yderligere skelnes mellem små præfabrikerede systemer og store, specialbyggede systemer, som opføres eller monteres på stedet.

Generelt anvendes systemer med ét gennemløb og åbne recirkulerende systemer i forbindelse med større anlæg i kraftværker, i den (petro-)kemiske industri og i den farmaceutiske industri.

Betegnelsen tårn anvendes både til enheder af kappetyper (f.eks. store enheder med naturlig ventilation) og enheder af celletyper, som kan være små og anvendes i tagapplikationer.

Som sammenligningsgrundlag præsenteres i tabel 3.1 nogle af de tekniske og termodynamiske karakteristika for de mest almindelige industrielle kølesyste-

mer. Eksemplerne er afledt af et givet antal antagelser (se tabeltekst). Det er vigtigt at være opmærksom på, at approach-temperaturen kan variere og hovedsageligt afhænger af udformningen af varmeveksleren og den omgivende lufttemperatur. De laveste sluttemperaturer for procesmediet vil variere i overensstemmelse hermed. For kraftværker beregnes tilgangen på en anden måde (se Bilag I i BREF-dokumentet).

Tabel 3.1 Eksempel på tekniske og termodynamiske karakteristika for forskellige kølesystemer til industrielt brug (ikke kraftværker).

Kølesystem	Kølemedie	Hovedkøleprincip	Min. approach temperatur (K) ⁴⁾	Min. opnåelig sluttemperatur for procesmediet ⁵⁾ (°C)	Industriprocessens kapacitet (MW _{kø})
Åbent system, ét gennemløb - direkte	Vand	Varme ledning/ konvektion	3-5	18-20	<0,01 - >2000
Åbent system, ét gennemløb - indirekte ⁸⁾	Vand	Varme ledning/ konvektion	6-10	21-25	<0,01 - >1000
Åbent recirkulerende system - direkte	Vand ¹⁾ Luft ²⁾	Fordampning ³⁾	6-10	27-31	<0,1 - >2000
Åbent recirkulerende system - indirekte	Vand ¹⁾ Luft ²⁾	Fordampning ³⁾	9-15	30-36	<0,1 - >200
Lukket kredsløb, våd køling	Vand ¹⁾ Luft ²⁾	Fordampning + konvektion	7-14 ⁷⁾	28-35	0,2 - 10
Lukket kredsløb, tør luft køling	Luft	Konvektion	10-15	40-45	<0,1 - 100
Åben hybridkøling	Vand ¹⁾ Luft ²⁾	Fordampning + konvektion	7-14	28-35	0,15 - 2,5 ⁶⁾
Lukket hybrid køling	Vand ¹⁾ Luft ²⁾	Fordampning + konvektion	7-14	28-35	0,15 - 2,5 ⁶⁾

1) Vand er sekundært kølemiddel og recirkuleres for det meste. Når vandet fordampes, overføres varmen til luften.
2) Luft er det kølemedie, som overfører varmen til miljøet.
3) Fordampning er det mest brugte køleprincip. Varme overføres også ved ledning/konvektion, men i mindre målestok.
4) Der skal tilføjes tilslutning af varmeveksler og køletårn.
5) Sluttemperaturerne afhænger af det omgivende klima.
(Data gælder for gennemsnitlige klimaforhold i Mellemeuropa 30°/21°C tør/våd temperatur og max. vandtemperatur 15°C).
6) Kapacitet ved mindre enheder. Med en kombination af flere enheder eller ved specialkonstruerede kølesystemer kan man opnå højere kapacitet.
7) Hvor der anvendes et indirekte system eller konvektion, øges tilgangen i dette eksempel med 3-5K, hvilket medfører en øget procestemperatur.

Eksemplet i tabel 3.1 viser, at de forskellige konfigurationer har forskellige temperaturintervaller, og at det ønskede temperaturinterval for en proces kan kræve en bestemt konfiguration. Af plads- og omkostningsmæssige hensyn bruges systemer med tør luftkøling generelt ikke til meget store kapaciteter, hvorimod vandkøling kan anvendes til udledning af varme op til 2000 MW eller mere.

For systemer hvor kølingen anvendes til kondensering af dampe eller gasser i såkaldte kondensatorer, er approach-temperaturen højere. Fremløbstempera-

turen for systemer med ét gennemløb svarende til summen af "terminaldifferencen"³ og stigningen i kølevandets temperatur. Betegnelsen terminaldifferencen refererer til temperaturforskellen mellem temperaturen på dampen, som kommer ind i kondensatoren (eller den kondenserende damp, som forlader kondensatoren) og temperaturen på det kølemedium (vand), som forlader kondensatoren. Værdierne varierer mellem 3 og 5 K. De data, der kan anvendes, er opsummeret i tabel 3.2.

Tabel 3.2 Eksempler på kapacitet og termodynamiske karakteristika for forskellige kølesystemer til anvendelse i kraftværkssektoren:

Kølesystem	Anvendt approach temperatur (K)	Energiproduktion kapacitet (MW)
Åbent system - ét gennemløb	13-20 (terminal diff. 3-5)	<2700
Åbent hybridkøletårn	15-20	<2500
Luftkølet kondensator	15-25	<900

I det følgende gives et overblik over de mest almindelige industrielle kølesystemer og en indikation af de miljøaspekter, der er forbundet med de enkelte systemer. De tekniske betegnelser, som hyppigst anvendes i litteraturen, anvendes. Som en hjælp til litteraturopslag vil det fremgå af teksten, hvor andre betegnelser også anvendes (se også ordlisten i bilag 1).

3.2 Varmevekslere

Da varmevekslere både er en del af processen, der skal køles, og selve kølesystemet, er de centrale varmeoverførselselementer. Efter varmeveksleren bruges forskellige systemer til at udlede varmen til miljøet. To typer varmevekslere er i almindelig brug: rørvarmeveksleren (den mest almindelige) og pladevarmeveksleren.

3.2.1 Rørvarmeveksler

Der er stor erfaring med denne type varmeveksler i procesindustrien, og den har vist sig at være ganske driftssikker. Den findes i en række forskellige udformninger, hvor slangerne enten har et direkte eller et U-formet forløb, eller hvor varmeveksleren er specielt designet til højtryksforhold, høje temperaturer, og kan fungere med damp eller termiske væsker. Normalt indeholder rørene kølevandet, og procesmediet bevæger sig omkring rørene inde i kappen. Bilag II i BREF-dokumentet indeholder en mere uddybende diskussion af rørvarmevekslere.

3.2.2 Pladevarmevekslere

Pladevarmevekslere anvendes i stigende grad i sukkerraffinaderier, den (petro-)kemiske industri og på kraftværker. De er specielt egnede til brug ved lavere fremløbstemperaturer samt under kølige forhold (<0°C). Imidlertid er disse

³ Se ordlisten i bilag 1

vekslere mindre egnede til at køle dampe og store gasvoluminer og i situationer, hvor der er risiko for sedimentering og/eller tilsmudsning og for høje trykforskelle mellem procesvæsken og kølemediet. Nogle anlæg er udstyret med en dobbeltkonstruktion for at sikre lækagefri drift, men disse skulle efter sigende være meget vanskelige at vedligeholde. Pladevarmevekslere er økonomiske, idet de i udformning kan være meget mere kompakte (f.eks. cirkulære) end rørvarmevekslere og alligevel have et tilsvarende varmeoverførende areal.

3.2.3 Miljømæssige aspekter forbundet med varmevekslere

Ud fra en miljømæssig synsvinkel er følgende aspekter vigtige at tage i betragtning for begge typer varmevekslere:

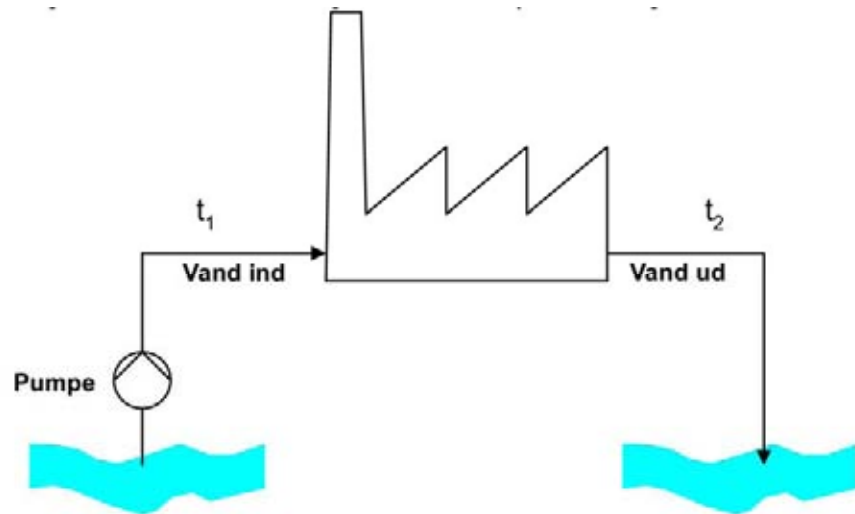
- hensigtsmæssigt design med henblik på effektiv varmeveksling,
- korrekt konstruktion for at forebygge lækage af procesmediet til kølemediet,
- valg af materiale med henblik på at sikre varmevekslerens ydeevne, modstandsdygtighed mod korrosion i vand og korrosion forårsaget af procesmediet,
- muligheden for anvendelse af mekanisk rengøringsudstyr.

3.3 Kølesystemer med ét gennemløb

3.3.1 Direkte kølesystemer med ét gennemløb

Teknisk beskrivelse

I direkte systemer med ét gennemløb bliver vandet pumpet fra kilden (f.eks. hav eller fjord) via store vandindvindingskanaler direkte til processen. Efter at have passeret varmevekslerne eller kondensatorerne bliver det opvarmede vand ledt direkte tilbage til overfladevandet. Varmen bliver overført fra processen til kølemiddelet gennem en skillevæg i form af rør i en rørvexler eller plader i en pladevarmeveksler. Systemer med ét gennemløb har forskellige betegnelser.



Figur 3.1 Princip for et direkte kølesystem med ét gennemløb.

Kølekapacitet

Systemer med ét gennemløb er primært udformet til brug i store kølekapaciteter ($>1000\text{MW}$). Den vandgennemstrømning, der typisk bruges til at køle MW i forbindelse med store kraftværker, ligger i intervallet $0,02\text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta T=12\text{K}$) - $0,034\text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta T=7\text{K}$). Med anvendelse af køling med ét gennemløb kan man opnå sluttemperaturer med en tilsvarende approach-temperatur på 3-5K.

Miljømæssige aspekter

Følgende miljømæssige aspekter er væsentlige i forbindelse med systemer med ét gennemløb:

- stort vandforbrug,
- emission af varme,
- risiko for fiskeindtag,
- følsomhed overfor bio-fouling, kalkdannelse og korrosion,
- brugen af tilsætningsstoffer og de deraf følgende emissioner til vand,
- energiforbrug, hovedsageligt til pumper,
- risiko for lækage fra processtrømmen og
- tilslamning af filtre ved vandindtaget.

Anvendelse

Systemer med ét gennemløb anvendes i store industrielle processer såsom i energiproduktion, i den kemiske industri og på raffinaderier. Det vand, der anvendes til køling med ét gennemløb, er hovedsageligt overfladevand. Til

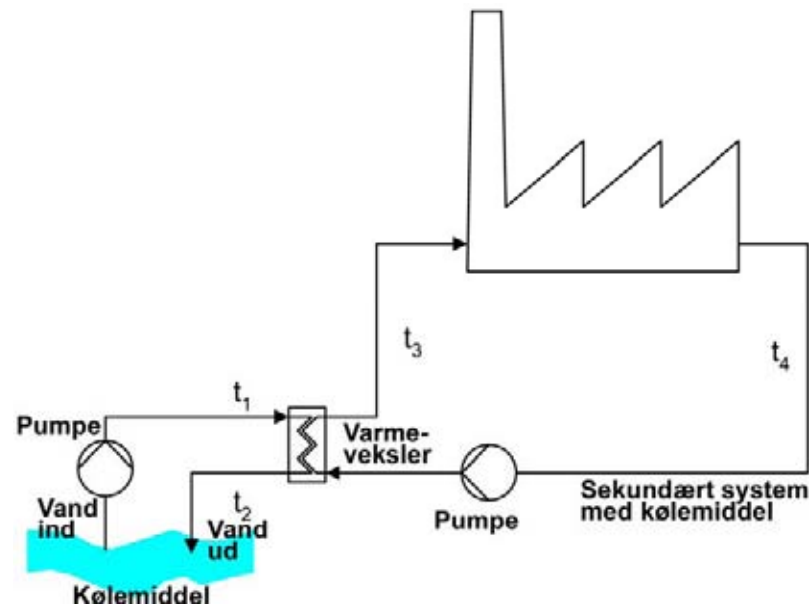
anvendelser i mindre målestok, såsom pumpekøling, bruges også brugsvand eller grundvand. I forbindelse med systemer med ét gennemløb er det vigtigt, at der er en pålidelig vandkilde til rådighed med en tilpas lav vandtemperatur tæt på lokaliteten. Kvaliteten af overfladevandet og udledningsgrænseværdierne kan også påvirke anvendeligheden, men generelt er kravene til vandkvalitet og vandkemi mindre restriktive end ved recirkulerende systemer.

3.3.2 Kølesystemer med ét gennemløb med køletårn

Kølesystemer med ét gennemløb med køletårn anvendes ikke i Danmark endnu, men kan tænkes anvendt på anlæg i områder med skærpede krav til temperaturen af det udledte kølevand. Da energiproduktion drives under vakuumforhold, medfører en lækage i kraftværkets kondensator normalt, at procesvandet bliver forurenet af kølevandet. På et antal lokaliteter findes systemer med ét gennemløb kombineret med et køletårn, således at afgangsvandet kan blive for-kølet, før det udledes til det modtagende overfladevand. Denne konfiguration anvendes i de situationer, hvor kølevandet kan recirkulere og dermed hæve temperaturen på kølevandsindtaget i samme anlæg eller i andre industrier. Kølevandskildens (å eller lignende) kapacitet, tidevandsbevægelser, anlægsstørrelse og overfladevandets temperatur spiller også ind. Denne type for-køling anvendes i forbindelse med kystkraftværker og i forbindelse med indre farvande.

De miljømæssige aspekter, der skal tages hensyn til ved åbne, våde køletårne, gælder også for disse kølesystemer. Der skal tages hensyn til biologisk vækst og aflejringer, når man vælger køletårnets indsats. Generelt anvendes køletårne med meget åbne og selvrensende indsats.

3.3.3. Indirekte kølesystemer med ét gennemløb



Figur 3.2 Princip for indirekte kølesystem med ét gennemløb

Teknisk beskrivelse

Denne kølekonfiguration ligner det direkte system med ét gennemløb, men er indirekte fordi der ikke sker nogen direkte overførsel fra procesvæske/dampe til kølemidlet, som udledes. Betegnelsen sekundært kølesystem anvendes også. Varmen bliver overført fra procesmediet eller -produktet til et kølemiddel, som cirkulerer i et lukket kredsløb (t_3 og t_4). Kølemidlet i dette sekundære kølekredsløb overfører sin varme via varmevekslere til kølevandet (f.eks. overfladevand), som strømmer gennem varmevekslerne én gang, det såkaldte primære kølemiddel (t_1 og t_2). Dette vand udledes direkte til overfladevandet, hvorimod det sekundære kølemiddel forbliver i det lukkede kredsløb.

Kølekapacitet

Ved hjælp af indirekte køling med ét gennemløb kan de samme lave sluttemperaturer opnås, men på grund af den ekstra varmeveksler, kan approach-temperaturen øges med 3-5 °C afhængig af varmevekslerens effektivitet.

Miljømæssige aspekter

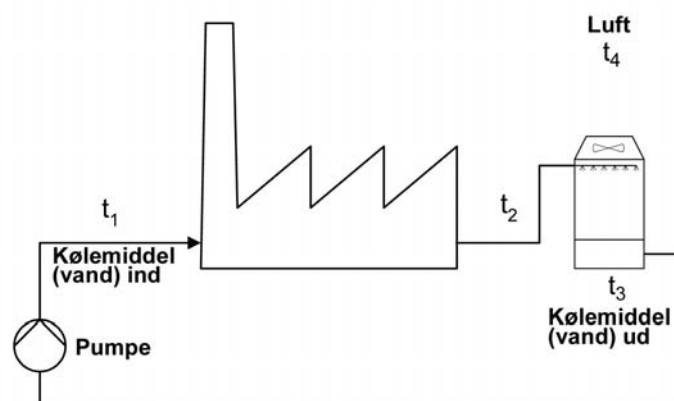
Se under Direkte kølesystemer med ét gennemløb. Systemets udformning bevirker, at risikoen for udledning af lækket procesvæske til overfladevandet er minimal eller lig nul.

Anvendelse

Det indirekte kølevandssystem med ét gennemløb anvendes i de tilfælde, hvor lækning af procesvæske til kølevandet udgør en stor miljørisiko. Adgangen til og kvaliteten af overfladevandet er også af betydning for dette kølesystem. Systemet skaber også en termisk belastning i det modtagende overfladevand. En variant af det indirekte system med ét gennemløb går ud på at genanvende en del af vandet fra den primære cyklus. Denne del af vandet luftkøles, inden det blandes med nyt, indgående kølevand. Denne ekstra kølekapacitet kan bruges i den periode af året, hvor der ikke er adgang til tilstrækkeligt kølevand.

Generelt bevirker den ekstra varmeveksler (dvs. højere approach-temperatur), at de opnåelige processluttemperaturer ikke er så lave som ved direkte køling med ét gennemløb.

3.4 Åbne recirkulerende kølesystemer



Figur 3.3 Skematisk gengivelse af åbent recirkulationssystem.

Teknisk beskrivelse

Åbne recirkulerende kølesystemer kaldes også for åbne fordampningskølesystemer. I disse systemer bliver det kølevand, som ledes igennem varmevekslersystemerne, nedkølet i et køletårn, hvor hovedparten af varmen udledes til omgivelserne. I køletårnet fordeles det opvarmede vand henover køletårnsindsatsen og nedkøles ved kontakten med luft, hvorefter det opsamles i et reservoir og pumpes tilbage til varmekilden for at blive genanvendt som kølemiddel. Luftbevægelsen er skabt ved hjælp af ventilatorer, som presser eller trækker luften gennem tårnet. Vandet køles som følge af, at en lille del af kølevandet fordamper, og at der sker et mærkbart varmetab ved direkte køling af vand ved hjælp af luft, også kaldet konvektion. Luftens våde og tørre temperatur har stor indflydelse på hvilket niveau, disse systemer kan anvendes på.

Hovedparten af det vand, der er kølet i tårnet, bliver recirkuleret og kan genanvendes som kølevand. De vigtigste årsager til vandtab er fordampning, afdræning (tilsigtet), medrivning og lækager. Tilsigtet afdræning består af udtømmning af vand fra kredsløbet, som er nødvendig for at undgå opkoncentring af salte i kølevandet (se Bilag VI i BREF-dokumentet). For at kompensere for afdræning (også kaldet "bleed") og fordampning tilføres vand, det såkaldte spædevand. I et åbent recirkulerende system udgør spædevandflowet typisk ca. 1 - 3% af flowet i et system med ét gennemløb med den samme kølekapacitet. For kraftværksindustrien er andelen 1 - 5%. Afdræningen varierer typisk fra 0,15 til 0,80 m³/s per 1000 MW køleydelse. (Halveringstiden for vand varierer mellem 1 time og 4 dage). Dette system fordrer adgang til tilstrækkelig vandmængder hele året rundt, og behandling af kølevandet er typisk nødvendig.

Kølekapacitet

Åbne recirkulerende systemer anvendes hovedsageligt til industrielle anlæg med et kølebehov, som varierer fra 1 til 100 MW_{køl}, men også til kraftværker med meget større kapaciteter. Disse systemer anvendes primært inde i landet, hvor der ikke er tilstrækkeligt vand til rådighed, eller hvor yderligere stigninger i vandtemperaturen hos vandrecipienten ikke kan accepteres. Våde køletårne overfører ca. 80% af overskudsvarmen til atmosfæren som latent varme (vanddampe) og ca. 20% som sensibel varme. Approach-temperaturer i størrelsesordenen 4°C er teknisk og økonomisk opnåelige ved temperaturer mellem 15 og 30°C. Approach-temperaturer og mindste sluttemperaturer afhænger af de klimatiske forhold på lokaliteten.

Miljømæssige aspekter

De miljømæssige aspekter, der skal overvejes i forbindelse med recirkulerende systemer, afhænger især af typen af køletårn og den måde, det betjenes på. Der kan være tale om:

- kølevandsadditiver og deres emissioner via afdræning til overfladevand,
- energiforbrug til pumper og ventilatorer,
- emission til luften,
- dampfannedannelse, kondensering og isdannelse,

- støj,
- affald som følge af udskiftning af køletårnsindsatse, og
- helbredsmæssige aspekter som spredning af bakterier i kølemediet.

Anvendelse

Recirkulerende systemer anvendes i en bred vifte af processer. Et karakteristisk træk ved systemet er dets evne til at reducere varmebelastningen i den modtagende vandvej ved at overføre en del af varmebelastningen fra overfladevandet til luften. En anden egenskab er dets evne til at reducere mængden af vand, der anvendes til køling. Det er derfor almindelig praksis at ændre kølesystemer med ét gennemløb til åbne kølesystemer med fordampning ved at tilføje ét eller flere køletårne.

Åbne recirkulerende konfigurationer omfatter:

- åbne, våde køletårne
- åbne våde/tørre køletårne (hybridtårne).

3.4.1 Åbne, våde køletårne med mekanisk ventilation

Køletårne med mekanisk ventilation, kaldet mekaniske køletårne, anvender ventilatorer til at frembringe en luftstrøm og kan derfor være meget mindre end de store typer med naturlig ventilation. Et stort antal forskellige ventilationsstyper anvendes i mekaniske køletårne (tør, våd eller hybrid). Afhængigt af kravene kan ventilatorerne variere i diameter, bladstørrelse og placering (radial eller aksial). Derudover giver monteringen af ventilatorer med variabel hastighed en fleksibel anvendelse. Valget af ventilatortype og motorenhed vil påvirke energibehovet og lydniveauet fra køletårnet. Der skelnes mellem tårne med blæsere, som presser køleluften gennem tårnet, og tårne med ventilatorer, der trækker køleluften gennem tårnet, såkaldt sugetræk.

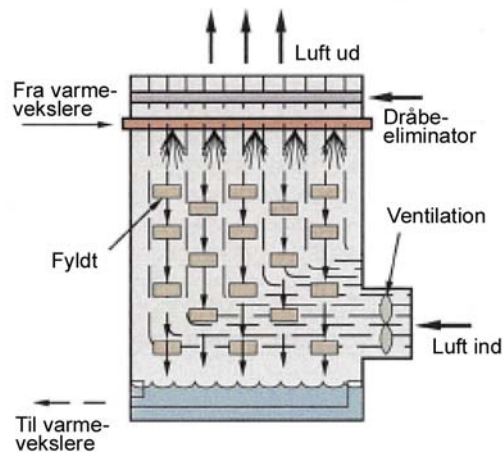
Køletårn med ventilatorer er specielt designet og anvendes i de tilfælde, hvor den lokale situation kræver et lavt tårn.

3.4.1.1 Åbne, våde køletårne med blæser

Karakteristika:

- Ventilatorer ved køletårnets fod presser luften gennem tårnet,
- trinvis eller modulerende regulering af ydelsen,
- anvendelse af enkel ventilator og flere ventilatorer,
- tårnet kan tilpasses omgivende terræn (taginstallation),
- det direkte energiforbrug antages at være lavt,

- det er typisk designet for modstrøm,
- det kan konstrueres til en bred vifte af anvendelser såsom spidsbelastning og reduktion af høje varmebelastninger, samt driftsstandarder fra grundbelastning til mellembelastning,
- det kan anvendes til kapaciteter på mindre end $100 \text{ kW}_{\text{Køl}}$ og til kapaciteter højere end ca. $100 \text{ MW}_{\text{Køl}}$,
- når køletårne med mekanisk ventilation anvendes, skal det sikres, at gældende regler for emission af støj, fugt (dampfane) og bakterier overholdes.



Figur 3.4 Skematisk gengivelse af et vådt køletårn med blæser og modstrøm.

3.4.1.2 *Åbne, våde køletårne med sugetræk*

Karakteristika:

- ventilatorer ved toppen af køletårnskonstruktionen suger luft gennem tårnet,
- kapaciteten kan kontrolleres inden for visse grænser,
- en relativt simpel konstruktion foretrækkes (præfabrikerede elementer, præfabrikeret produkt),
- kølekapaciteten kan udvides ved at arbejde med flere afsnit,
- tårnet kan tilpasses det omgivende terræn (tagkonstruktion),
- det direkte energiforbrug antages at være lavt,

- er designet for modstrøm eller krydsstrøm,
- det kan konstrueres til en bred vifte af anvendelser, såsom spidsbelastninger og reduktion af høje varmebelastninger og fra driftsstandarder fra grundbelastning til mellembelastning; det kan anvendes til en kapacitet fra cirka 100 MW_{Køl},
- når køletårne med mekanisk ventilation anvendes, skal gældende regler om emission af støj, fugt (dampfane) og bakterier overholdes.

3.5 Kølesystemer med lukket kredsløb

3.5.1 Tørre, luftkølede kølesystemer

I tørre, luftkølede kølesystemer (herefter luftkølede kølesystemer) bliver stoffet (væske, damp) cirkuleret gennem spiraler, rør eller kanaler, der afkøles ved hjælp af en passerende luftstrøm. Generelt anvendes tør luftkøling i følgende sammenhænge:

- til at køle et medium med næsten enhver kemisk sammensætning; der kræves kun hensigtsmæssigt varmevekslerudstyr,
- i de situationer hvor spædevand til køletårnet ikke er tilgængeligt eller kun i en begrænset periode, og
- hvor dampfanedannelse ikke er tilladt.

Teknisk beskrivelse

Afhængigt af anvendelsen består lukkede, luftkølede systemer af (finede) rørspiraler, ventilatorer med motorer og en bærende stålkonstruktion eller et tårn. Selve procesmediet (direkte system) eller kølemidlet (indirekte system) cirkuleres gennem rørene. Der dannes en luftstrøm, enten naturligt eller ved hjælp af ventilatorer, som passerer forbi rørene og derved køler mediet ved ledning og konvektion. I næsten alle tilfælde strømmer luften på tværs gennem varmeveksleren. Procesmediet passerer varmeveksleren i en "one-pass" eller "multi-pass" konfiguration.

Hvis procesmediet er en væske, kaldes kølesystemet for en luftkølet væskekøler eller en "tørkøler", idet der her henvises til, at der kun anvendes luft til køling. Hvis en damp (gas eller kølemiddel) bliver kølet ned direkte for at kondensere til væske, kaldes kølesystemet for en luftkølet kondensator. Systemerne finder anvendelse i konstruktioner med mekanisk eller naturlig ventilation.

Der anvendes en bred vifte af korrosionsresistente materialer i forbindelse med konstruktion af anlæggene. Der er utallige konstruktionsmuligheder. Luftkølede systemer findes lige fra store selvstændige enheder til mindre tagenheder. De kan være horisontale, rektangulære, vertikale eller V-formede for at passe til anlæggets anlægskrav.

Kølekapacitet

I praksis bliver luftkøling ofte brugt for at køle processtrømme med høje tem-

peraturer ($>80^{\circ}\text{C}$) ned til et niveau, hvor vandkøling er mere hensigtsmæssig. Drivkraften i varmeudvekslingen er temperaturforskellen mellem køleluften og procesflowet. Den maksimalt dimensionerede temperatur for køleluften må i praksis kun overskrides få timer hvert år. Den dimensionerede temperatur afhænger af luftens tørre temperatur, og de klimatiske forhold er endvidere meget vigtige.

Da lufts varmekapacitet er lav ($1.0 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$), og da varmeovergangskoefficienterne for varmeledning/konvektion er lave, kræves der meget luft samt et større varmeoverførende areal end ved vandkøling. Derfor vælger man ofte at montere finner på rørens overflade for at øge det effektive varmeoverførende areal. Ud fra økonomiske hensyn anvendes en minimal approach-temperatur på $10 - 15\text{K}$ ved design af luftkølere. Dette medfører typisk højere sluttemperaturer (minimum $40-45^{\circ}\text{C}$). I de områder, hvor den omgivende luft har en højere temperatur, overskrider approach-temperaturen og sluttemperaturen de gennemsnitlige værdier nævnt i Tabel 3.1. I indirekte konfigurationer vil approach-temperaturen ($13 - 20\text{K}$) og de opnåelige sluttemperaturer ($50-60^{\circ}\text{C}$) stige i overensstemmelse hermed.

Miljømæssige aspekter

De vigtigste miljømæssige aspekter er støj og energiforbrug til drift af ventilatorer. Der anvendes ikke vand, bortset fra i de tilfælde hvor det bruges som sekundært kølemiddel i en indirekte konstruktion. Når der er lukket for vandet, kræver det imidlertid kun minimal eller slet ingen vedligeholdelse.

Udvendig rengøring af rørene (påmonteret finner) er nødvendig, og lejlighedsvis kan der opstå problemer på grund af ophobning af luftbårne partikler og små insekter.

Anvendelse

Tørre, luftkølede varmevekslere anvendes inden for en lang række industrier i små og store udformninger. De anvendes til køling af produkter i den kemiske og petrokemiske industri, til vakuumpkondensering i kraftværker og til opvarmning af indblæsningsluft.

For et anlæg med samme kapacitet kræver tør luftkøling en større overflade end et vådt kølesystem, og tørre systemer anses generelt for at være dyrere.

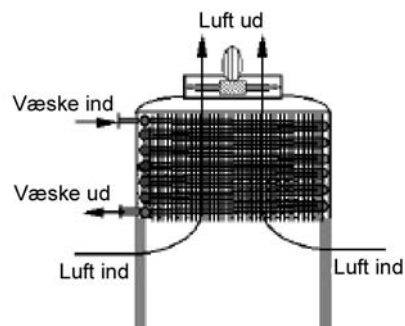
3.5.1.1 Tørre, luftkølede væskekølere

Tørre, luftkølede væskekølesystemer anvendes inden for en lang række industrier i små og store udformninger.

Karakteristika:

- kapaciteten kan justeres ved hjælp af ventilatorerne,
- et lukket kredsløb er nødvendigt,
- der anvendes blæsere monteret på indtagssiden af varmeveksleren (forced draught) eller på afkastsiden (induced draught),

- omkostningerne ved det interne kraftforbrug antages at være højere end ved våde køletårne,
- lav kapacitet, dvs. mindre end $100 \text{ MW}_{\text{Køl}}$,
- ændringer i temperaturen på kølemediet, som er næsten lineært afhængige af luftens tørretemperatur, skal være acceptable for den proces, der skal køles,
- driftsomkostningerne består næsten udelukkende af energiomkostninger,
- de miljømæssige aspekter er især støj og energi.



Figur 3.5 Skematisk gengivelse af princippet for et tørluftkølet kølesystem.



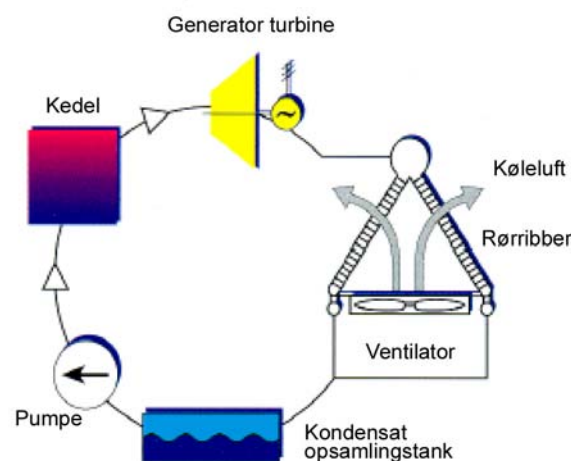
Figur 3.6 Eksempel på tørluftkølede væskekølere i en kemisk proces.

3.5.1.2 Tørluftkølede dampkondensatorer

Luftkølede kondensatorer (se Bilag XII i BREF-dokumentet) anvendes i stort omfang i kraftværksindustrien og i kemiske anlæg til at kondensere damp. Luften suges ind ved hjælp af ventilatorer, som er placeret under kondensatorelementerne og presses igennem. Den passerende luft nedkøler de dampe, som kommer ind i kondensator rørbundter (se figur 3.7). I et indirekte system bliver kondensatoren nedkølet ved hjælp af en kølevandstrøm, som igen bliver nedkølet i et køletårn med naturlig ventilation.

Karakteristika:

- varmeafgivelse for små og store installationer,
- kølevand ikke påkrævet,
- omkostningerne ved det direkte energiforbrug antages at være højere end ved våde kondensatorer eller våde køletårne,
- en relativt lav totalhøjde er påkrævet,
- mulighed for korte returdamprør,
- væsentligt pladskrav i umiddelbar nærhed af dampgeneratoren,
- tilpasning til belastning og temperaturvariationer er nødvendig over store intervalområder; det gør variable blæseomdrejninger påkrævede,
- de miljømæssige aspekter er især støj og energi.



Figur 3.7 Skematisk gengivelse af princippet for en direkte luftkølet kondensator.



Figur 3.8 Eksempel på en luftkølet kondensator til kondensering af afkastdamp fra turbine.

3.5.3 Våde, luftkølede kølesystemer med lukket kredsløb

I sådanne kølesystemer med lukket kredsløb bliver det medium, der skal køles, cirkuleret i et lukket kredsløb uden kontakt med miljøet. Mediet føres gennem en spiral (primært kredsløb). Spiralen vædes udvendigt (sekundært kredsløb eller spraykredsløb). Varmen ledes fra mediet til sprayvandet (sensibel varmeoverførsel). Fordampningen af en lille del af vandet fører til fordampningskøling, og varmen overføres fra vandet til luften. Der finder endvidere en sensibel varmeoverførsel sted fra spiralen til luften. I praksis er sensibel og latent varmeoverførsel altid forbundet med fordampningskøling. Befugtningsvandet er behandlet for at undgå skader på udstyret. Fordampningstab og medrivning forårsager opkoncentration, og en vis afdræning er påkrævet, ligesom der skal tilføres en mængde spædevand.

Kølekapacitet

Varmeoverførselsevnen er lavere end ved åbne systemer på grund af spiralens lavere varmeoverførselskapacitet. Ved en kombination af enheder kan der opnås kapaciteter i størrelsesordenen $150 - 400 \text{ kW}_{\text{køl}}$ til $2,5 \text{ MW}_{\text{køl}}$. En approach-temperatur på 4K kan typisk opnås. Fordelen er et lukket primært kølekredsløb fri for forurenende stoffer (gælder for alle kølesystemer med lukket kredsløb), hvilket i nogle tilfælde kan eliminere behovet for interne varmevekslere. På ressourcesiden skal der tages hensyn til energikravene til sprayvandskredsløbet. I kølesystem med lukket kredsløb kan der opnås sluttemperaturer mellem 25 og 30°C afhængig af de klimatiske forhold på stedet.

Temperaturen i vandfilmen ved varmeveksleroverfladerne er op til 5°C højere end temperaturen af det omgivende vand, som typisk ligger mellem 40 og 50°C , dog ses temperaturer op til $70 - 80^\circ\text{C}$ også i praksis.

Miljømæssige aspekter

Hvis der anvendes vand som sekundært kølemedium i kølesystemer med lukkede kredsløb, er det generelt alkaliseret, demineraliseret vand eller drikke-

vand. Opholdstiden i et sådant system kan være op til 6 måneder. Der er kun behov for spædevand, når der forekommer lækager og fordampning ved pumpepakninger, eller når vandet er blevet drænet for at muliggøre systemreparationer. Da der kun er behov for en lille mængde spædevand, er dette typisk af høj kvalitet, og som følge heraf er bundfald på grund af kalkdannelse ikke et problem. Kalkdannelse kan skyldes det vand, som anvendes på ydersiden af rør eller spiraler, og der kan være behov for behandling (rengøring). Alt afhængig af den tekniske udformning, driftsbetingelserne og de klimatiske forhold kan der forekomme dampfanedannelse. Der kan opnås en vandbesparelse, idet tårnet kan drives som et tørt tårn, når de omgivende temperaturer er lave. Støj forårsaget af ventilatorer kan også være et problem.

Anvendelse

Kølesystemer med lukket kredsløb anvendes i mange sammenhænge. De er velegnet til køling af gasmotorer og kompressorer og kan være en pålidelig metode til kontrol af industrielle procestemperaturer. De kan anvendes til både store og små anlæg. De finder anvendelse som væskekølere (f.eks. maskinolie, kølevand til kompressorer), som gaskølere (f.eks. dieselmotorer, procesgas) og som luftkølede kondensatorer (kombinerede kredsløb, damppturbiner).

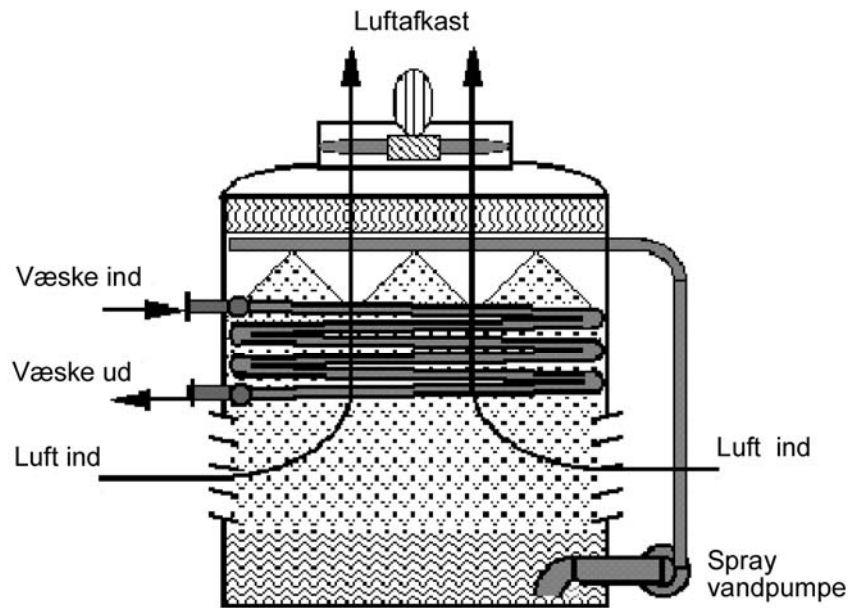
Hvis procesmediet i spiralen eller rørene består af damp (gas eller kølemiddel), som skal køles ned for at kondensere til væske, kaldes denne type kølesystem også for en fordampningskondensator.

3.5.2.1 Våde, luftkølede kølesystemer med lukket kredsløb og mekanisk træk

Denne type køleanlæg vil kunne genfindes inden for en række forskelligartede virksomhedstyper, der går på tværs af brancher og størrelser.

Karakteristika:

- varmeafgivelse for små og store anlæg,
- lave køletemperaturer kan opnås,
- kompakt design sammenlignet med luftkølet udstyr,
- behov for vandforsyning og sprayvandskredsløb,
- mulighed for reduktion af dampfanedannelse ved hjælp af spiraler og/eller tør drift om vinteren,
- de miljømæssige aspekter er især vandbehandling og spildevandsudledning.



Figur 3.9 Skematisk gengivelse af princippet af et lukket recirkulerende vådt køletårn med sugetræk.

3.5.2.2 *Fordampningskondensatorer*

Denne type køleanlæg vil kunne findes inden for en række forskelligartede virksomhedstyper, der går på tværs af brancher og størrelser.

Karakteristika for fordampningskondensatorer

- varmeafgivelse fra små og store anlæg,
- lavere kondenseringstemperaturer end ved luftkølede dampkondensatorer,
- lavt energibehov,
- generelt højere end luftkølede dampekondensatorer, men optager mindre fladeareal,
- de miljømæssige aspekter er især vandbehandling og spildevandsudledning.

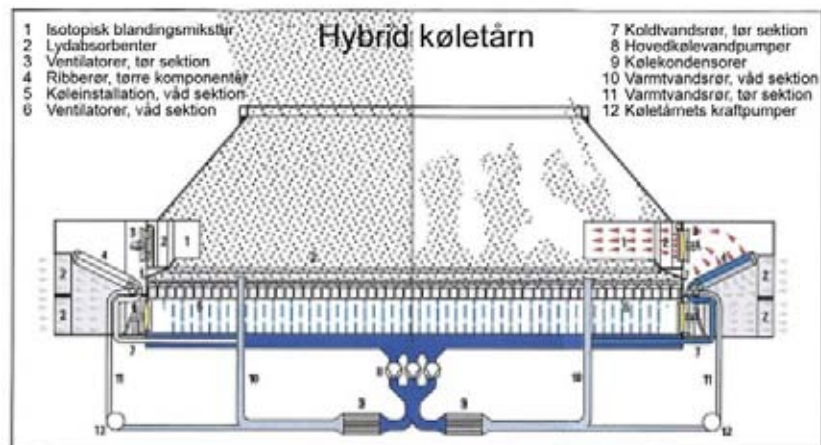
3.6 Kombinerede våde/tørre kølesystemer

3.6.1 Åbne våde/tørre (hybride) køletårne

Teknisk beskrivelse

Det åbne våde/tørre køletårn eller hybride køletårn er et specielt design, der er udviklet som en væsentlig løsning på problemet med forbrug af kølevand og dampfanedannelse. Det er en kombination af et 'vådt' og et 'tørt' køletårn eller med andre ord af en fordamnings- og ikke-fordampningsproces. Det hybride køletårn kan drives enten udelukkende som et vådt køletårn eller som en kombination af et vådt/tørt køletårn afhængig af den omgivende temperatur. Det opvarmede kølevand passerer først gennem et tørt afsnit i køletårnet, hvor en del af varmebelastningen fjernes ved hjælp af en luftstrøm, ofte fremkaldt med en ventilator. Efter at have passeret det tørre afsnit bliver vandet yderligere nedkølet i det våde afsnit af tårnet, som fungerer på samme måde som et tårn med åben recirkulation. Den opvarmede luft fra det tørre afsnit blandes med dampen fra det våde afsnit i den øverste del af tårnet, og på denne måde sænkes den relative fugtighed, inden luftstrømmen forlader køletårnet, hvilket (næsten) fuldstændig fjerner dampfanedannelsen oven over tårnet.

En optimering af effekten af et hybridt køletårn indebærer en optimering af mængden af tør varmeoverførsel med henblik på at overholde kravene til dampfanedannelse. Samtidig anvendes det våde afsnit til hovedparten af køleprocessen.



Figur 3.10 Princip for det hybride køletårn (eksempel anvendt i kraftindustrien)

Karakteristika:

- mulighed for drift ved grundbelastning og partiel belastning for alle kapaciteter,
- kølemediet består kun af vand,
- spædevand er påkrævet i hovedparten af driftsperioden,

- kapaciteten er den samme som ved våde køletårne,
- reduktion i mængden af spædevand,
- mulighed for foranstaltninger til beskyttelse af miljøet, f.eks. reduktion af totalhøjden (på grund af ventilatorer) og dampfanebekæmpelse,
- lyddæmpende udstyr påkrævet på grund af støjbestemmelser.

For at kunne operere et hybridt køletårn effektivt gøres der brug af en række anordninger:

- variabel ventilatorhastighed,
- lukkeanordninger til lufttilgangsåbninger (såsom spjæld),
- ventiler til vandstrømme til de våde og tørre sektioner,
- bypass-systemer,
- booster-pumper (til specielle konstruktioner),
- system til blanding af våde dampfaner med tørre dampfaner.

Hybride køletårnskonstruktioner

Kun hybride køletårne med mekanisk ventilation er tilgængelige for tiden. Et hybridt køletårn adskiller sig fra et typisk åbent, vådt køletårn ved, at det har et tørt og et vådt afsnit, hvert med eget luftindtag og tilhørende ventilatorer. Hybride køletårne findes som færdigmonterede køletårne, store, runde køletårne med ventilatorer på indsugssiden eller som køletårne af celletypen med ventilatorer på afkastsiden. Egenskaber såsom type af indsats, vanddistributionssystem, medrivningsforebyggelse og lyddæmpning er fællestræk for begge tårntyper.

Hybride køletårne med mekanisk ventilation er udstyret med interne blandingssystemer til at blande våde og tørre luftstrømme. De kan reguleres automatisk i forhold til varmebelastning, vand-flow, den omgivende luft og dampfaneforholdene.

Kølekapacitet

De kan konstrueres som færdigmonterede køletårne, køletårne med blæsere på afkastsiden eller indtagssiden - i større skala - som køletårne af celletypen eller af den cirkulære type med varmeafgivelse inden for intervallet $< 1 \text{ MW}_{\text{kol}}$ op til $2500 \text{ MW}_{\text{kol}}$.

Miljømæssige aspekter

Den vigtigste forskel mellem et hybridt køletårn og et konventionelt køletårn er det forholdsvis lavere vandforbrug (spædevand) svarende til 20% reduktion af vandforbruget i et vådt køletårn.

Som følge heraf kan det årlige energiforbrug for et hybridt køletårn med mekanisk ventilation reduceres til et niveau, som er 1,1 - 1,5 gange lavere end energiforbruget for et sammenligneligt vådt køletårn med mekanisk ventilation, idet der under nominelle forhold er en næsten dobbelt så stor luftstrøm (våde og tørre sektioner).

Anvendelse

Beslutningen om at opstille et hybrid køletårn tages på grundlag af stedbestemte krav (begrænsning af højde og dampfane), og flere ses i kraftværksindustrien. Dets brug er begrænset til temperaturintervaller mellem 25 og 55 °C, idet der ved temperaturer over 55 °C er erfaring for, at calciumkarbonat hyppigere udfældes på rørene. Dette betyder dog ikke, at der ikke kan forekomme udfældning ved temperaturer under 55 °C, og man bør derfor udvise nogen omhu, hvis dette bruges som tommelfingerregel.

3.6.2 Hybride kølesystemer med lukket kredsløb

Teknisk beskrivelse

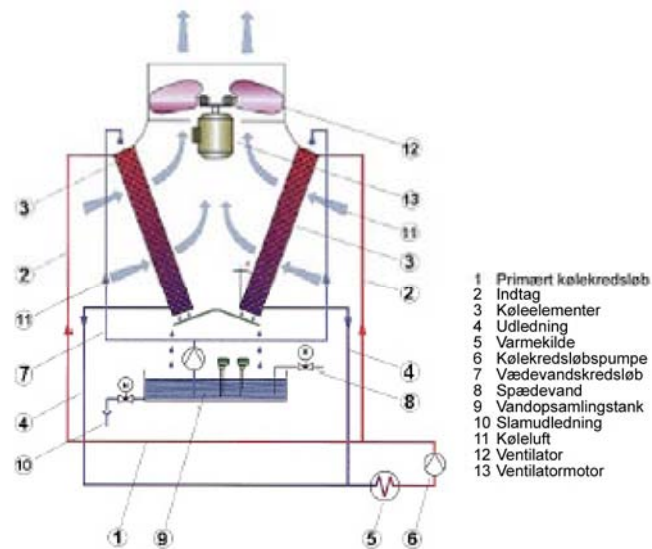
I forbindelse med hybride kølesystemer med lukket kredsløb, kan deres karakteristika hvad angår ventilatorer (aksiale og radiale), luftstrømsretning (kryds- eller modstrøm) og støjbekæmpelsessystemer beskrives på samme måde som ved våde, lukkede, recirkulerende kølesystemer. Generelt kræver disse enheder mindre plads. Der anvendes tre tekniske driftsmetoder til hybride køletårne med lukket kredsløb: Oversprøjtede (sprayede) spiraler med påmonterede ribber, adiabatisk køling eller kombinerede systemer.

Miljømessige aspekter

Hybride køletårne med lukket kredsløb kombinerer fordelene ved køling af lukkede kredsløb med betydelige vandbesparelser, når man sammenligner med et konventionelt vådt køletårn med lukket kredsløb.

Sammenlignet med køletårne med lukket kredsløb drager de fordel af lavere køletemperaturer. Hvad angår størrelse, energiforbrug og støjemission kan de sammenlignes med konventionelle våde køletårne med lukket kredsløb. Afhængigt af deres design (oversprøjtede spiraler med påmonterede ribber) kan der være behov for at være specielt opmærksom på kvaliteten af vandbehandlingen. Yderligere omkostninger bliver mere end opvejet på grund af de betydelige vandbesparelser, idet systemerne kun har behov for vand i en meget kort periode af året. Hybride kølesystemer med lukket kredsløb nedsætter dampfanedannelsen betragteligt, og visse udformninger er endda i stand til helt at fjerne den.

3.6.2.1 Oversprøjtede spiraler med påmonterede ribber

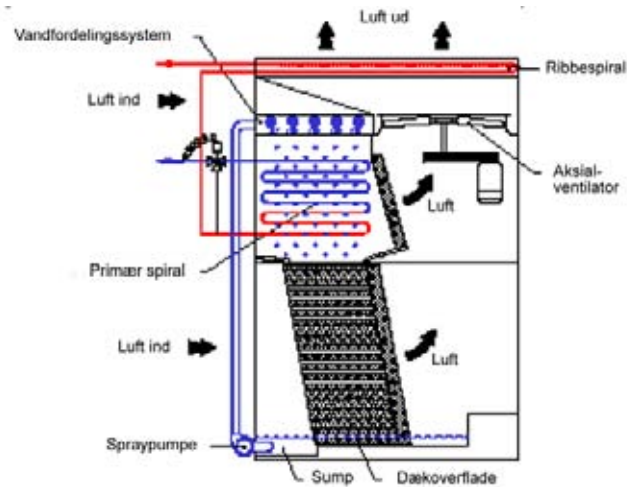


Figur 3.11 Princip for et hybrid køletårn med lukket kredsløb

I et køletårn med lukket kredsløb løber procesmediet igennem kølelementerne (rør/pladebatteri eller ribbede spiraler) i et lukket kredsløb, som er det primære kølekredsløb. Disse kølelementer befugtes via et sekundært vandkredsløb, og luft drives samtidig henover elementerne for at skabe fordampningsvarme. Det kølevand, som løber fra elementerne, opsamles i et bassin og kan recirkuleres nogle gange, sommetider ved hjælp af et andet køletårn eller efter afdræning (se figur 3.11). I en indirekte konfiguration, er det medium, som passerer gennem det primære kølekredsløb, ikke procesmediet, men et andet kølemiddel, hvilket igen køler procesmediet i en sekundær varmeveksler.

3.6.2.2 *Adiabatisk kølere, befugtning og forkøling af den luft, der køler spiralerne*

I adiabatisk drift føres væsken, som skal køles, uden om den primære overfladespiral. Kølevandet pibler ned af den våde pladestak, og den luft som passerer stakken befugtes med så meget vand, som den kan optage. Den befugtede luft passerer den ribbede spiral og kan optage mere varme, end tør luft ville kunne. Sammenlignet med konventionelt fordampningskøleudstyr bliver vandforbruget formindsket væsentligt (se figur 3.12).



Figur 3.12 Kombineret tør/våd drift for et hybridt kølesystem

3.6.2.3 *Kombineret teknologi*

I den kombinerede teknologi anvendes både ribbede spiraler, de primære oversprøjtede spiraler samt våde pladestakke. I forbindelse med tør drift er det derfor muligt at lukke alle sprøjtesystemer og føre det medium, som skal køles, igennem de ribbede spiraler og de primære spiraler, som begge køles udelukkende ved hjælp af tør luft. Under våd/tør drift passerer mediet efter at have passeret de tørre spiraler de oversprøjtede primære spiraler, inden det returnerer til processen som kølemedium. Det opvarmede vand, som pibler ned fra de primære spiraler, vil lande på den våde dækoverflade. Luften trækkes ind og passerer både den primære spiral og den våde pladestakoverflade, hvor den mættes og opsamler varme. Mens luften passerer spiralen med påmonterede ribber, kan den opsamle yderligere varme (se også figur 3.12).

3.6.2.4 *Omkostninger ved brug af hybride systemer*

Når der anvendes hybride systemer, nævnes investerings- og driftsomkostningerne. Generelt er der højere investeringsomkostninger forbundet med hybride systemer. Omkostningerne til reduktion af dampfane dannelse varierer afhængig af kølesystemet. Hvis man sammenligner med et køletårn med den samme køleevne er køleinstallationsomkostningerne for et åbent vådt køletårn på 300 MW ca. 2,5 gange så høje som for et køletårn uden dampfaneundertrykkelse. For våde køletårne med lukket kredsløb vurderes omkostningerne til reduktion af dampfane dannelse at være 1,5 til 2 gange så høje som for tårne uden reduktion af dampfane dannelse. Omkostningerne skal justeres for opnåede omkostningsbesparelser på vandindtag og fleksibel drift. De årlige omkostninger til vand, inklusive vandbehandling, og elektricitet udgør i nogle tilfælde kun ca. 10% af de årlige omkostninger til driften af et køletårn. Disse økonomiske overvejelser afhænger af selvfølgelig den enkelte anvendelse og priserne på vand og energi.

Omkostningsindikationer fra kraftværksindustrien viser et leje på EUR 40,000 - 70,000 per $MW_{køl}$ for hybride køletårne med mekanisk ventilation. I denne sektor er det ensbetydende med et installationsomkostningsniveau, som er 1,3

- 1,6 gange højere end for et tårn med tilsvarende kapacitet uden reduktion af dampfanedannelse.

3.7 Direkte vs. indirekte system

Præsentationen af de vigtigste typer kølekonfigurationer ovenfor anskueliggør de køleprincipper og de dermed forbundne tekniske udformninger, som anvendes i industrien, afhængig af krav til proces, beliggenhed og miljø. Visse nøgledefinitioner bliver forklaret i introduktionen, ligesom forskellen på tør køling og fordampningskøling og på åbne og lukkede systemer behandles i systembeskrivelserne. Anvendelse af kriterierne "direkte" og "indirekte" kan imidlertid skabe en del forvirring, hvis begreberne ikke defineres i sammenhæng med recirkulerende kølesystemer.

3.7.1 Direkte recirkulerende kølesystemer

Som tidligere nævnt, findes der i direkte kølesystemer kun ét varmevekslerniveau, hvor kølemidlet og procesmediet udveksler varme, og hvor kølemidlet (vand eller luft) er i kontakt med omgivelserne. Lækage gennem væggen mellem procesmediet og kølemidlet (luft eller vand) vil derfor medføre, at procesmediet udledes til omgivelserne, eller at der under vakuumdrift (kondensatorer) sker en påvirkning af processen. Selv om køling af kølemidlet, som det foregår i et køletårn, også er en varmevekslingsproces, anses det stadig for at være et direkte system.

Eksemplet med det åbne køletårn, som køler vandkredsløbet i en vandkølet kondensator, er derfor et direkte system (selv om en lækage som nævnt ovenfor vil påvirke processen i stedet for kølemidlet).

3.7.2 Indirekte recirkulerende kølesystemer

Grundprincippet i et indirekte system er, at lækage i forbindelse med processen ikke forurener kølemidlet, som er i åben forbindelse med miljøet. Dette medfører to niveauer af køling.

I et åbent recirkulerende køletårn vil det vand, der forlader tårnet, udveksle varme med det vand, som befinder sig i et lukket kredsløb, gennem en varmeveksler. Vandet i det lukkede kredsløb forlader denne varmeveksler for derefter at blive ledt frem til en anden varmeveksler, hvor det udveksler varme med procesmediet.

I lukkede recirkulerende køletårne følges samme princip, og de enkelte spiraler eller rør fyldes med vand, som er nedkølet ved hjælp af vand og/eller luft. Det kølede vand ledes ind i en varmeveksler eller en kondensator som led i processen med henblik på udveksling af varme med procesmediet. I de tilfælde hvor lukkede recirkulerende kølesystemer drives om vinteren og derfor kræver frostsikring, består det lukkede kredsløb typisk af ikke kun vand, men også af et kølemiddel eller af vand iblandet frostvæske. Disse systemer kan faktisk kategoriseres som direkte systemer, eftersom kølemidlet kan forurene kølemidlet, som er i åben kontakt med omgivelserne.

3.8 Omkostninger ved kølesystemer

For hver enkelt konfiguration er der givet en indikation af omkostningerne, men beregninger af omkostningerne ved de forskellige kølesystemer udviser en stor variation, og det kan konkluderes, at forskellen i omkostningerne for de forskellige systemer ikke nødvendigvis indikerer, hvilket system der er det billigste. Af de forskellige faktorer, som i den sidste ende påvirker omkostningerne, er brugernes krav og lovpligtige krav meget vigtige. Derfor bør der udarbejdes et skøn over den praktiske anvendelighed af et givent system eller en given teknik i det enkelte tilfælde. Energifriserne skal altid tages i betragtning. De er vigtige, f.eks. i de tilfælde, hvor varmegenindvinding overvejes.

Når man beregner omkostningerne ved et kølesystem og de mulige forbedringer, er det vigtigt at sammenligne førstegangsinvesteringen i et system eller et tiltag og de årlige omkostninger som følge deraf. I praksis kan høje investeringsomkostninger medføre lavere vedligeholdelsesomkostninger, men højere faste omkostninger på årsbasis, hvilket kan komme til at stå i vejen for selve investeringen. For at muliggøre en sammenligning, skal omkostningerne udtrykkes som den varmekapacitet, systemet er designet til (kW_{kol} eller MW_{kol}). Hvad angår industrielle (kraftværker undtaget) anvendelser er en række omkostningsbestemmende faktorer for både vandkølede og luftkølede systemer samt de totale omkostninger blevet beregnet og de forskellige systemer sammenlignet. De faktorer, der er medtaget, samt tilgangen, er beskrevet nedenfor, og resultaterne er opsummeret i Bilag X i BREF-dokumentet. For kraftværker gælder en anden model, hvilket forklares i Bilag XII i BREF-dokumentet.

Faktorer

Normalt skal følgende omkostningsbestemmende faktorer tages i betragtning:

Tabel 3.3 Omkostningsfaktorer for vand- og luftkølede kølesystemer:

Omkostnings-type	Maskindel	Vandkølesystemer	Luftkølesystemer
Fast	Varmeveksler(e) (type, størrelse og model)	x	X
	Varmeveksler (materiale)	x	X
	Proces rørføring, rørbrøer	x	X
	Pumper/reservepumper	x	X
	Indtagsanlæg	x	
	Rørindtag/afløb	x	
	Udledningsanlæg	x	
	Køletårn(e) (mulige)	x	X
	Blæsere	x	X
	Lyddæmpning	x	X
	Indirekte system (ekstra varmeveksler, rør og pumper)	x	X
Variabel	Vand (grundvand, brugsvand)	x	
	Vandafledningsafgift	x	

	Lækage-overvågning	x	X
	Vandbehandling	x	
	Energiforbrug (pumper og blæsere)	x	X
	Vedligehold	x	X

Fremgangsmåde

Der er udviklet forskellige metoder til at sammenligne omkostningerne forbundet med forskellige kølesystemer. Den nedenfor anvendte metode er kort beskrevet i Bilag X i BREF-dokumentet.

Sammenligninger

Sammenligninger skal altid gennemføres af systemer, med ens driftsforhold og den samme kapacitet og udtrykkes i omkostninger per MW_{kol} .

Beregninger har vist, at omkostningsfølsomheden i høj grad bestemmes af investeringsniveau og energiforbrug. Variation i omkostninger til varmevekslere (rørvekslere) som følge af den valgte konfiguration og materialevalg er afgørende. Billige materialer og modeller er afgørende for de beregnede nedre grænser. Specielle materialer fastlægger den øvre grænse. Man bør i den forbindelse huske, at gode materialer kan sænke vedligeholdelses- og driftsomkostningerne samt brugen af kemikalier væsentligt.

Beregnet som årlig omkostning afviger investerings- og driftsomkostninger betragteligt. Faktorer såsom behov for (spæde)vand og den dermed forbundne pris og energiforbrug har stor indflydelse herpå. Valg af materiale påvirker også de årlige omkostninger. I forbindelse med tør luftkøling er den opnåelige sluttemperatur vigtig; jo lavere den påkrævede sluttemperatur skal være, jo dyrere bliver luftkøling. I forbindelse med vandkøling er en lav sluttemperatur mindre vigtig for et skøn over omkostningerne, undtagen hvis lave fremløbstemperaturer anvendes i beregningen.

Tabel X.2 i Bilag X i BREF-dokumentet viser omkostningsintervallet for forskellige store industrielle kølesystemer. Baseret på de data, der er brugt i de anvendte tiltag, fremgår det, at driftsomkostningerne for et åbent vådt køletårn er højere end for et køletårn med tør luftkøling. Derimod var investeringsomkostningerne for køletårne med luftkøling generelt højere end for de andre systemer. Det indikerer endvidere, at især for kølevandssystemer kan større investeringer medføre lavere driftsomkostninger (vedligeholdelse, behandling).

På basis af ovennævnte data kan det konkluderes, at omkostningsforskellene mellem forskellige systemer ikke nødvendigvis peger på det billigste alternativ. Brugernes behov og myndighedernes emissionsniveauer er afgørende for dette. Af denne grund bør et skøn over gennemførlighed udarbejdes i hvert enkelt tilfælde. Ovennævnte data kan bruges som indledende (generelle) indikationer og er præsenteret i Bilag X i BREF-dokumentet.

4 Miljøaspekter af industrielle kølesystemer og anvendte forebyggelses- og reduktionsteknikker

4.1 Introduktion

I dette kapitel diskuteres de miljøaspekter og mikrobiologiske risici (eller helbredsrisici), som skal tages i betragtning ved vurdering af BAT. Samtidig er principperne i de teknikker, der indgår i bestemmelse af BAT, beskrevet. I mange tilfælde vil kølesystemet være en eksisterende installation, og det er klart, at mulighederne for forbedringer er begrænsede sammenlignet med en ny installation. Design af processen og udvælgelse af den mest velegnede køleteknologi og -design kan reducere forbrug og forebygge en stor del af emissionerne til miljøet. I enkelte tilfælde vil det være et spørgsmål om at prioritere, hvad man bør eller kan lave, hvor stedbestede forhold spiller en vigtig rolle.

BAT-tilgangen er beskrevet separat for hvert miljøspørgsmål og teknik, også eventuelle krydsmedie-effekter (crossmedia effects) er taget i betragtning. Vurderingen følger den generelle tilgang skitseret i kapitel 1. Den starter med et reduceret krav til køling og udledning af varme til omgivelserne. Dernæst følger en vurdering af mulighederne for minimering af ressourcerne med henblik på at forebygge og reducere emissioner, hvilket vil medføre lettere drift af køleprocessen:

- Forebyggelse ved teknologiske muligheder:
 - integrerede tekniske tiltag,
 - ændring af konfiguration,
- Forebyggelse ved optimering af systemdrift:
- Anvendelse af end-of-pipe-teknologi eller ekstra teknikker.

Miljøkonsekvenserne af hver mulighed diskuteres, og hver teknik vurderes for dens effekt på det totale energiforbrug. I starten er det illustreret, hvordan

ændringer i køledrift kan påvirke energiforbruget. Information om bestemte teknikker og deres performance er oplyst i bilagene til BREF-dokumentet. Derudover er miljøaspekterne for de enkelte anlæg vist i tabel 1.1.

4.2 Energiforbrug

Energikravet til industrielle kølesystemer kan enten anses for et direkte eller et indirekte forbrug. Direkte forbrug er brugen af energi til at drive kølesystemet. De vigtigste energibrugere er pumper og blæsere. Jo højere modstand, der skal kompenseres for, for at vedligeholde den krævede luft- eller vandstrøm, desto mere energi kræver kølesystemet.

Hvis det ikke er drevet korrekt, kan et kølesystem være indirekte årsag til et øget input af energi eller råmateriale til produktionsprocessen. For at evaluere ændringer på et kølesystem skal den totale energibalance af både kølesystem og produktionsprocesser tages i betragtning.

4.2.1 Direkte energiforbrug

Energi i kølesystemer er nødvendigt for at pumpe kølevand og/eller skabe luftstrøm. Det specifikke energiforbrug udtrykkes som optaget el-effekt pr. fordelt varme- eller kølemængde, målt i kW_{el} pr. $\text{MW}_{\text{køl}}$. Det specifikke energiforbrug kan variere meget og afhænger af det anvendte kølesystems konfiguration (design (approachtemperaturer), pumpetryk) og driftsmønstre (hele året rundt, kun sommer eller vinter). Lokale omstændigheder vil også forårsage variation, hvor det samme kølesystem i varmere klima typisk kræver et højere energiinput end i koldere klimatiske regioner. I nogle tilfælde er energi krævet til on-site forberedelse af additiver. De vigtigste energiforbrugere i et kølesystem er:

- **Pumper** (brugt i alle systemer med kølevand) til vandindtag samt til cirkulation af kølevand:
 - deres energiforbrug er bestemt af flowet, mængden af vand, der skal pumpes, tryktab i processen (antal varmevekslere, design), stedet hvor kølevandet er tilført og drænes af, og det medium, der skal pumpes (gas, væske, fast stof),
 - indirekte systemer har to kredse og vil derfor kræve flere pumper,
 - for et køletårn er løftet højere, hvilket kræver mere energi sammenlignet med et system med ét gennemløb.
- **Blæsere** til ventilation er brugt i alle mekaniske køletårne og mekanisk kølede kondensatorer:
 - deres energiforbrug er bestemt af antal, størrelse og type af blæsere, mængde og løft af luften,
 - tørre systemer kræver generelt mere luft til den samme kølekapacitet end fordampningssystemer (våde systemer); dog fører dette ikke nødvendigvis til et højere energiforbrug.

Energiforbrug af forbundne aktiviteter

For en overordnet vurdering af energikravet til kølesystemer skal det hjælpeudstyr, der er væsentligt for at drive et kølesystem, inddrages. Der er ikke blevet rapporteret mange data. On-site produktion af kølevandskemikalier såsom ozon er rapporteret som et typisk eksempel, hvor forbruget til produktion af 1 kg ozon, brugt mod foulinger/tilsmudsning, varierer mellem 7 og 20 kWh afhængigt af generatoren. Baseret på en minimumskoncentration krævet ved indsprøjtningsskæbnen på mellem 0,5 og 1 g O₃/m₃ og kølevandsvolumenet er det muligt at skønne energikravet.

4.2.2 Indirekte energiforbrug

Energiforbruget til produktionsprocessen betegnes som det indirekte energiforbrug forårsaget af køleprocessen. Køling med lav virkningsgrad vil øge forbruget. En dårligere varmeoverførsel (f.eks. på grund af tilsmudsning) vil øge temperaturen på processiden og dermed kræve mere energi, hvilket skal genereres on- eller off-site. Køling med lav virkningsgrad fører til produkttab og vil reducere processens virkningsgrad.

I afsnit 2.2.1 og 2.4.3 diskuteres effekterne på temperaturfølsomme anvendelser. På grund af reduceret køling af kondensatoren kan den totale energiom sætning reduceres med 0,25%, hvilket svarer til en reduktion i virkningsgrad på ca. 0,4% pr. grad Celsius. Hvis et åbent, vådt køletårn er anvendt i stedet for et system med ét gennemløb, vil det resultere i en 5 °C højere sluttemperatur og dermed 2% mindre ydelse. Hvis forskellen i den pumpeenergi, der kræves af køletårnet, tages i betragtning (hvilket er 6 - 8 kW_e pr. kølet MW), vil det skabe et ekstra tab på 1% i virkningsgraden. For et konventionelt, kulfyret kraftværk betyder et 1% fald, at virkningsgraden vil falde fra 40% til 39,6%.

En vurdering af miljøpåvirkningen bør inkludere en vurdering af det indirekte energiforbrug. Konsekvenserne af en ændring i indirekte energiforbrug for det totale energiforbrug kan udtrykkes som effekten af en temperaturstigning på processiden på grund af ikke-optimal køling. Dette har været beregnet og sammenlignet med de vigtige kølekonfigurationer.

4.2.3 Reduktion af energikrav til køling

Reduktion af det krævede energiforbrug for kølesystemer har betydning for den miljømæssige balance. Integrerede måder at genbruge varme på inden for en industriel proces vil reducere behovet for udledning af overskudsvarme til miljøet. Hvis der er krav til mindre kølekapacitet, vil der være krav til mindre energi generelt og i absolutte termer til at drive kølesystemet. Yderligere reduktioner kan opnås med udstyr med højere virkningsgrad og korrekt drift af kølesystemet, hvor temperaturstigning på processiden undgås.

Det korrekte valg af materiale og design vil reducere det krævede kraftforbrug for kølesystemer. Dette er en meget kompleks sag, som inkluderer mange faktorer, hvor det er svært at give generelle råd. Den følgende praksis er anvendt og kan nævnes som muligheder, man bør være opmærksom på:

- Med korrekt layout af kølesystemet, såsom glatte overflader og så få ændringer af strømretning som muligt, vil man undgå turbulens og reducere modstanden mod kølemiddelflowet.
- I mekaniske køletårne kan valg af type og position af blæsere og mulighed for regulering af luftstrømmen skabe muligheder for reduceret energiforbrug.
- Valg af rigtig indsats (i forhold til driftsforhold) til at sikre maksimal varmeveksling på alle tidspunkter.
- Valg af dråbeeliminatorer med minimal luftmodstand.

Ændringer i materialer og design ser ikke ud til at være omkostningseffektive muligheder for at reducere energikravet for eksisterende systemer, især store systemer. Erstatning af køletårnes indre dele (blæsere, indsats og dråbeeliminatorer) er en mulighed i nogle tilfælde. For mindre systemer, såsom åbne og lukkede, recirkulerende, våde kølesystemer, som findes på markedet som hyldevare, er en ændring i kølesystemet teknisk meget nemmere.

Der er blevet rapporteret meget lidt om de muligheder, der er for at reducere den krævede energimængde for et køletårn via blæsere med en bedre virkningsgrad eller ved fleksibiliteten af driftssystemet. Ifølge leverandørerne findes der data på de tilgængelige blæsertyper og kraftbehov. Blæsere, som kan drives ved variable hastigheder, er tilgængelige; alternativt rådes brugerne til at anvende et multi-blæsersystem for at opnå større fleksibilitet i justeringen af den krævede luftstrøm.

Med hensyn til effekten af dråbeeliminatorer på blæseres ydeevne som følge af det tilhørende trykfald blev det konkluderet, at der vil være forskelle mellem forskellige designs af eliminatorer, og at forskellen i effekten på blæsernes ydeevne kræver omhyggelige overvejelser, hvor man tager systemets totale sammenhæng i betragtning. Dette betyder, at en kompleks evaluering, som involverer tårnkonfiguration og flowfordeling hen over blæsere og dråbeeliminatorer, skal udføres. Baseret på dette vil en brugbar sammenligning mellem forskellige blæserdesigns være mulig.

Eksempler hvor en køletårnsindsats er blevet ændret viser betydelige stigninger i varmevekslingens virkningsgrad, fald i temperaturen af det kølevand, der forlader tårnet, og opnåelse af bedre køling.

En forbedring af indsatsens varmevekslingskapacitet vil forbedre kølingen af processen i varmeveksleren. Blæserdriften kan følgelig reduceres, mens der opnås det samme niveau af køling som før. Med et uændret driftsniveau vil kølekapaciteten være større. Anvendelsen af den forkerte køletårnsindsats kan skabe unødigt modstand mod den luft, der strømmer forbi eller igennem, men tårnets geometri er også vigtig. Kompakte vandfilmsindsatse skaber større trykfald og kræver normalt mere blæserenergi. Mere åbne indsatse (splash fills) har lavere trykfald på luftsiden, men på grund af disses lavere virkningsgrad kræver disse indsatse større tårne eller flere celler, og der kan ikke kompenseres med et højere energiinput til blæserdrift.

Praktiske erfaringer viser en klar vedligeholdelseeffekt i at reducere den mængde energi, der kræves til at drive kølesystemer. Generelt for vandkølede systemer betyder dette korrekt systembehandling for at reducere den modstand i systemet, der skyldes scaling, korrosion, tilsmudsning osv. Systembehandling vil holde overfladerne af vekslerne, rør og elementer i køletårne glatte. Det vil modvirke modstanden mod vandflowet, reducere kravene til pumpekapacitet og forøge varmevekslingsevnen. En passende kølevandsbehandling (se afsnit 4.4), som afvejer anvendelsen af tilsætningsstoffer til kølevand mod en stigning i procestemperaturen, vil reducere det direkte samt det indirekte energiforbrug. En kvantificering af reduktionen af kW_{el} pr. $MW_{køl}$ udlødt på grund af forbedret vedligeholdelse er ikke omtalt i BREF-dokumentet.

4.3 Forbrug og udledning af kølevand

4.3.1 Vandforbrug

4.3.1.1 *Indtag af vand og vandkrav*

Vand er et vigtigt medium til kølesystemer og især til store systemer med ét gennemløb, hvorimod det ikke er vigtigt til tørre, luftkølede systemer. Overfladevand, grundvand og drikkevand anvendes. I princippet kan saltvand, brakvand og ferskvand anvendes til køleformål. Saltvand er rigeligt tilgængeligt ved kysten, men ulempen ved saltvand er, at det er korrosant. Brugen af grundvand til køleformål forventes at blive reduceret i de kommende år, fordi grundvand til mindre vigtig brug (såsom køling) i stigende grad vil blive mindre tilladt, bortset fra når det kombineres med uundværlig grundvandsindvinding, som er relateret til andre behov. I stedet bør sekundavand, som defineres som regnvand, gråvand, rensset spildevand og vand fra afværgeboringer, anvendes i så stor udstrækning som muligt.

Vandbrug og vandforbrug er begge termer, der bruges i forbindelse med krav til kølevandssystemer. Vandbrug betyder, at det samme volumen af opvarmet kølevand bliver ledt tilbage til kilden, hvorfra det blev taget (ét gennemløb). Vandforbrug betyder, at kun en del af det vand, der bruges til køling (afdrænet mængde af returvandssystemer), ledes tilbage til recipienten, mens det resterende vandvolumen er forsvundet ved fordampning og dråbemedrivning under køleprocessen.

Volumenet af det vand, der bruges, er i høj grad relateret til industritypen. Generelt kræver kraftværker den største mængde (overflade)vand. Resten bruges af et mindre antal større virksomheder.

Den krævede vandmængde varierer mellem de forskellige kølevandssystemer (tabel 4.1). For systemer med ét gennemløb (direkte og indirekte) afhænger brugen af vand af:

- proceskrav,
- temperaturen af indtagsvand,
- den maksimalt tilladte temperaturstigning af recipienten,

- den maksimalt tilladte kølevandstemperatur på udledningstidspunktet.

Tabel 4.1 Vandkrav for de forskellige kølesystemer

Kølesystem	Gennemsnitligt vandforbrug [m ³ /time/MW _{køl}]	Relativt vandforbrug [%] ¹⁾
Direkte/ indirekte kølesystem med ét gennemløb	86	100
Åbent vådkøletårn - direkte/indirekte	2	2,3
Åbent våd/tør (hybrid) køletårn - direkte	0,5	0,6
Vådkøletårn med lukket kredsløb	Variabel	Variabel
Tør luftkøling med lukket kredsløb	0	0
Våd/tør køling med lukket kredsløb	1,5	1,7
¹⁾ Forudsætning: Kølekapacitet ΔT 10K Åbent vådkøletårn: Koncentrationscykler, mellem 2 og 4 Åben våd/tør køling: 75% tør drift Vådt/tørt køletårn med lukket kredsløb: Tør drift varierende fra 0 til 25%		

I åbne recirkulerende systemer, våde lukkede kredsløb og våde/tørre køletårne med lukkede kredsløb bliver hoveddelen af vandet genbrugt og varmen spredt til atmosfæren, hovedsageligt ved fordampning. I disse systemer varierer vandbruget betydeligt, og ingen specifikke data er tilgængelige, idet performance afhænger af den anvendte opkoncentreringsfaktor (reguleret ved tilsigtede afdræning), fordampning og i mindre grad omgivelsernes temperatur.

Tørre luftkølede køletårne med indirekte, lukkede kredsløb kan bruge vand som sekundært kølemiddel, men brugen er meget lav sammenlignet med våde kølede kølesystemer. Normalt er opfyldning eller spædevand kun påkrævet, når der er forekommet en lækage, f.eks. ved pumpestationer, flanger og ventiler, eller når vand er blevet drænet for at tillade systemreparation. I disse tilfælde er mængderne små, og drikkevand eller selv demineraliseret vand kan bruges økonomisk.

Lovgivning

Vandforbruget og muligheden for at reducere dette bør vurderes i forbindelse med miljøgodkendelse af virksomheder med forbrug af overflade- eller grundvand til køling. Det må forventes, at efterspørgslen efter godt kvalitetsvand og de i Danmark stigende vandpriser vil øge efterspørgslen efter vandbesparende tiltag i kølesystemer, hvilket vil begrænse vandforbrug. Med hensyn til vandbrug er den væsentligste lovgivning på europæisk niveau Vandrammedirektivet, VRD (2000/60/EF). Direktivet fokuserer især på vandkvalitet, men omfatter også den kvantitative status på grundvandet defineret som effekten af grundvandsniveauet på relaterede overfladeøkosystemer, og på bæredygtigheden af vandforsyningen.

Vandrammedirektivets generelle bestemmelser om vandkvalitet (herunder af grundvand) er i Danmark implementeret ved lov nr. 1150 af 17. december

2003 om miljømål mv. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (miljømålsloven).

Reglerne, der gælder for indvinding af grundvand og overfladevand, er givet ved lov om vandforsyning m.v. Ifølge lovens kapitel 4 kræver indvinding af grund- eller overfladevand f.eks. til køling tilladelse af kommunen.

Ifølge bekendtgørelse om spildevandstilladelser skal ansøgning om tilladelse til udledning af spildevand til vandløb, søer og havet indsendes til kommunen. Oplysning om vandforbrug indgår i ansøgning om tilladelse. Nogle sager kan afgøres af kommunen, mens andre skal videresendes til et af de statslige miljøcentre, som så træffer afgørelse. De nærmere regler herom fremgår af bekendtgørelsen.

Enhver tilslutning af industrispildevand til et spildevandsanlæg kræver tilladelse efter miljøbeskyttelseslovens § 28. Ifølge Vejledning om tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg bør krav til maksimal afledt vandmængde altid indgå i en tilladelse til afledning af spildevand. Maksimal mængde pr. døgn og/eller år bør altid indgå, blandt andet for at sikre, at der bliver fokuseret på vand som ressource.

Krydsmedie-problemstillinger

Problemstillinger i forbindelse med bestræbelser på at begrænse brugen af vand relaterer sig til følgende miljøaspekter:

- varmeemission til overfladevand,
- anvendelse af tilsætningsstoffer til kølevand,
- energiforbrug af både kølesystem og produktionsproces,
- indirekte emissioner.

Hver af disse faktorer skal vurderes for at evaluere, om reduceret vandindtag til køling er den bedste løsning. I de følgende afsnit er det forsøgt at beskrive anvendte reducerende tiltagsmuligheder og deres krydsmedie-effekter.

4.3.1.2 Anvendte teknikker til at reducere vandforbrug

Reduktion af vandforbrug til køling er af speciel interesse, hvor vandtilgængeligheden er lav.

Køleteknologi

For at reducere vandmængden krævet til køling er valget af system vigtigt. I en nyetableringssituation foreslås det, at luftkøling overvejes, f.eks. ved anvendelse af åbne køletårne. For store systemer kan den krævede kølekapacitet begrænse mulighederne for tør luftkøling, idet det kræver et stort varmeoverførende areal. Hvis det kan lade sig gøre, bør der tages hensyn til ændringen i den totale virkningsgrad, øgede driftsomkostninger til blæserdrift og omkostninger til støjdæmpning. Anvendelse af tørre kølesystemer fører generelt til et fald i processens virkningsgrad. Kølesystemer med våd køling er følgende fore-

trukket. Kun i det tilfælde, hvor der ingen mulighed er for forsyning af vand (respektiv spædevand), er torkøling uundgåelig.

For eksisterende systemer med ét gennembløb er anvendelsen af recirkulerende systemer (åbne, våde køletårne) en mulighed for at reducere vandkravet. Tårne er udstyret med dråbeeliminatorer som standard til at reducere vandtabet yderligere. Generelt betyder recirkulationen, at der skal tages tiltag til at beskytte den varmeoverførende overflade mod scaling eller korrosion. Til gengæld betyder anvendelsen af kølevandsrecirkulation samtidig en reduktion i varmeemissionen til overfladevand.

Systemdrift

I recirkulerende, våde kølesystemer er øgning af opkoncentreringsfaktoren ved at reducere afdræningsfrekvensen almindeligt anvendt. Jo renere vandet er, jo nemmere er dette, og korrekt vedligeholdelse af et åbent, vådt køletårn vil reducere kontaminering af kølevandet og kan medføre et højere antal cykler og følgelig en mindre hyppig afdræning.

Øgning af koncentrationscyklerne fører generelt til et øget behov for smudshæmmende kemikalier for at tillade højere saltkoncentrationer uden risiko for udfældning. Der findes et antal rapporter, hvor vandbehandlingsprogrammer designet specielt til drift med højere koncentrationscykler for at reducere vandkravet og reducere afdræningsvolumenet er præsenteret. I de tilfælde, hvor det er godkendt, bør der tages hensyn til den potentielle stigning i koncentrationen af elementer i den afdrænedede mængde.

Konklusionen af en kritisk gennemgang af resultaterne af at maksimere køletårnkredsløb er, at evnen til at øge antallet af kredsløb afhænger af mange kemiske og fysiske faktorer (f.eks. vandtemperatur, pH, vandhastighed) og kræver et højt niveau af ekspertise. På baggrund af variationen i driftsforhold og vandkemi er det ikke nemt at forudsige de maksimale koncentrationscykler, og der skal vises omhu for at tage hensyn til de involverede omkostninger, inden kølesystemet kan drives økonomisk.

Andre teknikker

For recirkulerende systemer, som bruger relativt begrænsede vandmængder, er et antal ekstra teknikker blevet anvendt. Disse teknikker sigter mod at forbedre kølevandskvaliteten. Forbehandling af kølevand (såsom flokkulering, udfældning, filtrering eller membranteknologi) kan reducere vandkravet, hvor en mindre afdræning er krævet for at vedligeholde den samme opkoncentreringsfaktor. Vandbehandlinger vil imidlertid medføre dannelse af slam, som skal bortskaffes (se Bilag IV i BREF-dokumentet vedrørende afdræning).

Ved vurdering af alternativer til vandbesparelse på industrielle grunde bør følgende tages i betragtning:

- gennemgang af tilgængelige vandressourcer og deres kemi,
- vurdering af kvantiteter af disse kilder og deres fluktuering,
- vurdering af kontaminering i og behandlinger af vandkilder,

- effekten af nuværende vandressourcebehandling på eksisterende kølevandskonditionering,
- effekten af potentielle stigninger i ledeevnen af genbrugsvand på den proces, hvor vandet er brugt,
- kemiske behandlingsmuligheder til kølesystemer,
- økonomien af alternative genbrugsmetoder.

De ovenfor nævnte faktorer påvirker udvælgelsen af vandkilder og mængden af vand, der kan genbruges. Vandressourcer på lokaliteten er typisk afdræninger fra køletårne og kedler. Tertiærbehandlede udledninger fra spildevandsanlæg bruges også. Det er i alle tilfælde vigtigt at undgå et øget behov for et endnu mere komplekst vandbehandlingsprogram for at genbruge vand (Bilag XI i BREF-dokumentet).

Teknologi baseret på nul-udledning kan anvendes ved at behandle og genbruge afdrænet vand. Bortskaffelsesomkostninger af det resulterende slam skal vurderes mod de miljømæssige omkostninger ved behandling og udledning af det afdrænedede vand (se Bilag XI i BREF-dokumentet).

4.3.2 Medrivning af fisk

4.3.2.1 Medrivningsniveau

Når der er et stort vandindtag, såsom til kølevandssystemer med ét gennemløb, er indvirkningen på og medrivning af fisk et problem. Vand trækkes ind i indtagskanaler i store mængder og med betydelig fart. Indtagskanalerne er generelt udstyret med finfiltre for at beskytte varmevekslerne mod tilstopning og mekaniske skader. Mange små dyr tages ind med kølevandet og dræbes som følge af mekanisk skade, hvilket kaldes for medrivning.

Der er ikke mange data for mængden af fisk, der tages ind med kølevand eller fanges ved indgangen til et kølesystem. Resultater fra døgoprøvningsresultater er blevet analyseret for mængden af fisk trukket ind af kølevandet fra et 600 MW hollandsk kraftværk ved floden Rhinen med et kølevandsflow på 22 - 25 m³/s. Resultaterne viser, at antallet af fisk, der er taget ind fra år til år og fra sæson til sæson i det samme år, varierer meget. Der blev fundet flest fisk om sommeren.

Undersøgelser viser, at mere end 95% af de medrevne fisk var 0+-fisk, født i foråret samme år og med en længde på mindre end 10 cm. Selvom dødeligheden ved medrivning er 100%, er omfanget ubetydeligt i sammenligning med observeret naturlig død. Resultaterne fra et prøvetagningsprogram i 6 hollandske kraftværker ved Rhinfloden, Meusefloden og bifloder af disse floder viser en variation i medrevne arter på mellem 12 og 25 arter og en variation i medrevne og ituslåede fisk ved kølevandsigter på mellem 0,02 og 2,45 fisk pr. 1000 m³ kølevand som gennemsnit over et år. I kraftværker ved kyster, som er den typiske placering i Danmark, kan det observerede antal indtagne fisk være meget højere, op til 25 fisk pr. 1000 m³.

4.3.2.2 Anvendte reducerende teknikker

Et antal teknikker er med varierende resultater blevet udviklet og anvendt i industrien for at forebygge medrivning af fisk på grund af stort vandindtag. De optimale løsninger og resultater og evnen til at imødekomme BAT-krav er påvirket af en bred vifte af biologiske, miljømæssige og ingeniørmæssige faktorer, som skal evalueres på en stedspecifik basis. En direkte sammenligning af de forskellige teknikker er derfor umulig.

Køleteknologi

Der er ikke rapporteret om ændringer i teknologien alene med det formål at undgå medrivning af fisk. Det er klart, at medrivning af fisk ikke vil være et problem, når man skifter fra et åbent til et lukket recirkulerende kølesystem, hvilket er en dyr operation. Det kan overvejes i forbindelse med nyetablering. Udstyr til forebyggelse mod fiskeindtag kan findes i f.eks. kraftværker og raffinaderier. Løsninger til forebyggelse er:

- lydudstyr (effektivt) til at aflede (en stime af) skælfisk, men ikke ål,
- lyssystemer med undervandslamper, effektivt til at aflede ål,
- position, dybde og design af indtag,
- begrænsninger i hastigheden af vandindstrømning (dog indikerer data fra studier lavet i England, at medrevne fisk tillader sig selv at blive båret af strømmen (dvs. driver eller spreder sig bevidst), selv når det er fysisk muligt at undslippe strømmen ved at svømme),
- maskestørrelse af kølevandssier (mod skader på kølesystemer). Observationer har vist, at en maskestørrelse på 5 x 5 mm i gennemsnit fordobler antallet af overlevende medrevne fisk ved kølevandsafløb sammenlignet med en maskestørrelse på 2 x 2 mm i det samme kraftværk, fordi kollisionss dødeligheden for fiskelarver er højere end medrivningsdødeligheden.

Dødeligheden af indtrængte fisk kan reduceres ved etablering af et godt system til at vaske fisk væk fra kølevandssigter og skylle dem tilbage til overfladevandet.

Driftspraksis og end-of-pipe-teknikker

En sænkning af indstrømningshastigheden til under 0,1 - 0,3 m/s giver en positiv effekt og reducerer mængden af fiskeindtaget. En sænkning af hastigheden betyder imidlertid, at større indtagskanaler er påkrævet, hvilket kan have tekniske og finansielle konsekvenser. Generelt gælder ændringer i driftspraksis eller anvendelsen af end-of-pipe-teknikker ikke for fiskemedrivning, men der er også en antagelse - der dog ikke deles af alle - om at medrivning kan reduceres ved at tage daglige eller sæsonmæssige mønstre i betragtning.

Tabel 4.2 Tilgængelige teknologier for beskyttelse af fisk ved kølevandsindtag

Kategori	Beskyttelsesteknik	Virkning	Bemærkninger
Fiskeopsamlingsystem	Optimering (øgning) af maskestørrelse i vandresi	Forbedret overlevelse af medreven fiskeyngel og meget unge fisk	Medrivningsdødeligheden for disse fiskestadier er lavere end kollisionsdødeligheden for samme
	Vandstråler med lavt tryk vasker fiskene bort fra vandresien og retur til overfladevandet	Transport af fisk tilbage til overfladevandet	Kræver et yderligere højtryksvandstrålesystem til at rense vandresierne
	Fiskespande på sien	Forbedret overlevelse af kolliderede fisk	Fiskene forbliver under vand hele tiden under transport tilbage til overfladevandet.
	Konstant rotation af vandresien	Forbedret overlevelse af kolliderede fisk	Nedsat kollisionstid
	Fiskepumper	Transport af fisk tilbage til overfladevandet	Svært at holde korrekte forhold i rørene
Fiskeomledningssystem	Vinklede sier eller spjæld med fiskeomledning	Overlevelsesgrad af robuste arter (50-100%) > skrøbelige arter Ikke til fiskeæg, yngel og små hvirvelløse dyr	Kræver ensartet, konstant gennemstrømning ved lav hastighed Restpartikler skal fjernes
Adfærdsmæssige barrierer	Lys stroboskoblys konstant lys kviksølvlys andet lys	Virkningen af forskellige lys-systemer afhænger af lokale forhold, fiskearter og fiskens udviklingsstadiet	Ofte er en omføring nødvendig for omdirigerede fisk
	Lyd	Virkningen afhænger af lokale forhold, fiskearter og fiskens udviklingsstadiet	Ofte er en omføring nødvendig for omdirigerede fisk

4.3.2.3 *Omkostninger til lydgivere og lyssystemer*

Det er klart, at enhver ændring af et eksisterende system vil være omkostningsfuld. Kraftværker rapporterede om ekstra omkostninger til fiskebeskyttelsesteknologi til eksisterende installationer på mellem 40.000 og 200.000 EUR, inkl. nedlukningsomkostninger. I nyetableringssituationer ville den ekstra investering til alternative indtagsapparater sandsynligvis være mindre betydelig.

For at opnå en god virkningsgrad må vandstrømmen gennem lydgivere og lyssystemer ikke være højere end 0,3 - 0,5 m/s. Dette bestemmer længden af systemerne.

Materiale- og konstruktionsomkostningerne til et lyssystem er 90.000 - 140.000 EUR for en længde på 100 m og cirka 180.000 EUR pr. 100 m for et lydssystem.

4.3.3 Varmeemissioner til vand

4.3.1.1 *Varmeemissionsniveauer*

Al varme, der udledes fra et kølesystem, ender til sidst i luften. Hvis vandet er brugt som mellemliggende kølemedium, vil al varmen overføres til luften, enten fra vanddråber i et køletårn eller fra overfladen af recipienten. Inden varmen forlader vandet, kan det påvirke vandøkosystemet, hvilket bør undgås.

Varmeemission er også et problem, der er tæt relateret til den brugte og udledte mængde af kølevand. Systemer med ét gennemløb, både direkte og indirekte, udgør pr. definition den største kilde til varme udledt til vand, idet varmen udelukkende udledes via kølevandet. Kølevandet i recirkulerende systemer frigiver hoveddelen af sin varme til luften via et køletårn. Mængden af varme udledt med afdræningsvand fra et køletårn udgør cirka 1,5% af den varme, der udledes, hvorimod 98,5% frigives til luften. Der findes kun lidt information om effekterne af varmeemissioner på vandøkosystemet, men der er erfaringer med høje sommertemperaturer og små modtagende vandkanaler. Temperaturstigning kan medføre øget respiration og biologisk produktion (eutrofiering). Udledningen af kølevand til vandet påvirker det totale vandmiljø, specielt fisk. Temperaturen har en direkte effekt på alle livsformer og deres fysiologi og en indirekte effekt ved at påvirke iltbalancen.

Opvarmning reducerer iltens mætningsværdi; med høj iltkoncentration medfører dette et reduceret iltniveau. Opvarmning accelererer også den mikrobielle nedbrydning af organiske stoffer, hvilket forårsager et øget iltforbrug. Hvor der foregår kølevandscirkulation, eller hvor et antal industrier bruger af den samme begrænsede overfladevandskilde, kræver varmeemission også omhyggelige overvejelser for at forebygge forstyrrelser af driften af industrielle processer nedstrøms.

Temperaturstigningen af vand kan beregnes fra den specifikke varmekapacitet, der svarer til cirka 4,2 kJ/kg/K. For eksempel kræver 1 MW køleeffekt et kølevandsflow på cirka 86 m³/t, når kølevandet opvarmes med et gennemsnit på 10°C. Som tommelfingerregel kan man sige, at hver kW_{køl} kræver 0,1 m³ kølevand. Ved recirkulerende kølevand overføres varme til luft gennem fordampning via kølevand i et køletårn, med en fordampningsvarme for vand på 2500 kJ/kg (ved 20°C).

Specielt ved kraftværker er de faktorer, der spiller en rolle i udledning af store mængder af varme til vandet, blevet undersøgt. Et antal fysiske fænomener skal tages i betragtning, når varmeemissioner vurderes, såsom:

- sæsonmæssig variation i recipientens temperatur,
- sæsonmæssig variation i vandniveau af floder og variation i hastigheden af strømmen,
- omfanget af blanding af det udledte kølevand med recipienten (tæt på og længere væk),
- tidevandsbevægelser eller stærke strømme ved kystnære beliggenheder, og

- konvektion i vand og til luft.

Bevægelsen af den varme vandfane i overfladevand vil ikke kun være værdifuld i forbindelse med at beskytte recipienten, men også i udvælgelsen af det rigtige sted til indtag og udtag. Det vil altid være vigtigt at forhindre cirkulation af vandfane, hvilket påvirker temperaturen af det vand, der tages ind, og følgelig virkningsgraden af kølesystemet. Som et eksempel er omfanget af en termisk fane defineret som området inden for 1°C varmeisotermen, uden opblanding med stærke strømme (f.eks. i en sø), cirka 1 ha pr. MW_{el} for et konventionelt kraftværk, eller cirka 45 km² for et 5000 MW_{el} konventionelt kraftværk. For en mere uddybende beskrivelse af den varme vandfanens udbredelse (se Bilag XII i BREF-dokumentet).

4.3.3.2 Lovgivningsmæssige krav til varmeemissioner

Krav til specifikke ferskvandsrecipienter

Når der gives tilladelse til udledning af spildevand, skal det sikres, at udledningen ikke hindrer, at målsætningen for det vandområde, hvortil der udledes, kan opfyldes. Vandkvalitetsmålsætningerne er fastsat i regionplaner og indeholder ofte grænser for højst tilladte temperaturændringer og for maksimale absolutte temperaturer i vandområderne.

Temperatur bør indgå som en kontrolparameter i spildevandstilladelsen, hvis der afledes varmt spildevand i betydeligt omfang. I Vejledning om tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg anbefales det, at krav til temperaturen af spildevand, der udledes til kloaknettet, bør være max. 50°C.

Det samlede regelsæt vedrørende tilladelse til udledning af spildevand beskrives i afsnit 4.4.2.5.

4.3.3.3 Anvendte reducerende teknikker

Køleteknologi

Den bedste måde til at minimere varmeemissioner på er at reducere behovet for udledning ved at optimere primærprocessen eller finde forbrugere til overskudsvarmen. For varmeemissioner til miljøet er der fokus på problemet med varmeemissioner til vand. Når man overvejer reducerende teknikker, er det vigtigt at indse, at al varme til sidst vil forsvinde i luften, og at overfladevandet er et mellemliggende miljø. Ved valget mellem forskellige kølesystemer kan det bestemmes hvilket system, der foretrækkes. Miljøpåvirkningen af varmeudledning kan derfor minimeres ved udledning af mere varme til atmosfæren og mindre varme til overfladevand med et vandtab til følge på grund af fordampning. Minimeringen af varmeudledninger til overfladevand hænger sammen med minimering af vandbruget og med den overordnede energivirkningsgrad. Jo mere varme der udledes ved konvektion og fordampning, jo mere energi pr. udledt MW_{køl} kræves der på grund af brug af blæsere, undtagen når der anvendes naturlig ventilation.

I tilfælde af store kapaciteter er det en udbredt brugt løsning til at reducere varmebelastningen af overfladevand i (hovedsageligt) søer og vandløb at vælge en passende varmeoverførselsteknologi, f.eks. i stedet for et system med et

gennemløb, et recirkulerende system med et åbent, vådt eller vådt/tørt køletårn.

Driftspraksis

Der er ikke blevet rapporteret specielle driftsmuligheder for at forebygge eller reducere varmeudledningen til overfladevand.

4.4 Emissioner fra kølevandsbehandling

Emissioner fra kølevandsbehandling til overfladevand anses for at være et af de vigtigste problemer ved kølesystemer. Der kan skelnes mellem fire emissionskilder til overfladevand, som kommer fra våde kølesystemer:

- proceskemikalier (produkt) og deres reaktanter, på grund af lækage.
- korrosive produkter, som skyldes korrosion af kølesystemets udstyr,
- anvendte kølevandstilsætningsstoffer og deres reaktanter,
- luftbårne stoffer.

For at regulere disse emissioner anvendes forskellige teknikker. Risikoen for lækage samt ukontrollerede emissioner efter lækage kan reduceres, og det mest passende materiale til udstyret kan vælges for at reducere korrosion. Dette afsnit vil fokusere på tiltag til at reducere mængden af emissioner og deres påvirkning, der skyldes anvendelsen af kølevandstilsætningsstoffer:

- ved at reducere behovet for vandbehandling,
- ved udvælgelse af kemiske behandlinger, som påvirker miljøet i mindre grad,
- ved anvendelse af kemikalier på den mest effektive måde (systemdrift).

4.4.1 Anvendelse af kølevandsbehandling

Kølevand behandles for at fremme varmeoverførsel med større virkningsgrad og for at beskytte kølesystemet, således at man får bugt med et antal uønskede virkninger på køleudstyrets præstation. Sagt på en anden måde sigter kølevandsbehandling mod at reducere det totale energiforbrug.

De uønskede virkninger er stærk relateret til kemien af det vand, der tages ind til køling og den måde kølesystemet drives på (f.eks. koncentrationscykler). Saltvand vil stille anderledes krav end ferskvand, og industrielle emissioner med forurenede stoffer opstrøms kan være en udfordring. Kølevand kan også være kontamineret ved lækage af procesvæsker fra varmevekslere eller, i tilfælde af våde åbne køletårne, ved at luft passerer gennem tårnet, hvor den introducerer støv, mikroorganismer og udveksling af dampe.

Til systemer med ét gennemløb, åbne våde kølesystemer, våde kølesystemer med lukkede kredsløb og våde/tørre systemer anvendes tilsætningsstoffer til

vandet. Hvor vand bruges som et mellemliggende kølemiddel i rørcoilen i tørre systemer, kan meget små mængder tilsætningsstoffer bruges for at konditionere vandet i det lukkede kredsløb.

Miljømæssigt er tilsætningsstoffer vigtige; de forlader kølesystemet på et eller andet tidspunkt og udledes til overfladevand eller, i meget mindre omfang, til luft. Generelt er kemien og anvendelsen af kemikalier kendt, men valget af ikke-oxiderende biocider er baseret på "trial and error". Miljøpåvirkningen af de kemikalier som bruges, kan vurderes ved hjælp af modeller (risiko/fare) eller ved målinger. Da de bruges til at forbedre varmeveksling med god virkningsgrad, er deres anvendelse også relateret til de uønskede virkninger, som stammer fra en veksler med lavere virkningsgrad. Den industrielle proces, som skal køles, kan påvirkes, når varmeoverførslen har en lav virkningsgrad, hvilket forårsager en stigning i energiforbruget (dvs. svarende til en stigning i luftemissioner) eller en større efterspørgsel efter råmaterialer for at kompensere for tab i produktionen. Kølesystemets energiforbrug kan stige på grund af et større krav til pumper og blæsere for at kompensere for tab i varmevekslingens virkningsgrad.

De problemer, der stammer fra vandkvalitet, og som man normalt støder på, er:

- korrosion af kølevandsudstyr, hvilket kan føre til lækage i varmevekslere og spild af procesvæsker til miljøet eller tab af vakuum i kondensatorer,
- scaling, hovedsageligt ved udfældning af calciumkarbonater, sulfater og fosfater, Zn og Mg,
- (Bio-)fouling i rørledninger og varmevekslere (også på indsatse i våde køletårne) med mikro-, makroorganismer og opløste stoffer, hvilket kan medføre tilstopning af varmevekslerør med store skaller eller emissioner til luft fra køletårne.

Kølevandsproblemer har ofte et indbyrdes forhold. Scaling kan føre til både korrosion og biofouling. Pletter af korrosion fører til ændrede vandstrømsmønstre og skaber områder af turbulens, hvor biofouling er øget. Biofouling kan yderligere øge korrosionen af den underliggende overflade.

De følgende grupper af kemikalier bruges til at konditionere vandet (se også Bilag V i BREF-dokumentet):

- Korrosionsinhibitorer:
Tidligere blev der hovedsageligt brugt metaller, men der er en trend mod fosfonater, polyfosfonater og polymerer. Dette betyder, at toksiciteten aftager, mens levetiden stiger. Der er for nylig udviklet nogle polymerer, der er mere bionedbrydelige.
- Hårdhedsstabilisatorer eller kalkhæmmende inhibitorer:
De produkter der anvendes, består hovedsageligt af polyfosfater, fosfonater og bestemte polymerer. Ny udvikling går også mod bedre bionedbrydelige forbindelser. Anvendes for at hindre scaling.

- **Dispergeringsmidler:**
Hovedsageligt copolymerer, ofte i kombination med overfladeaktive stoffer. Den primære miljøeffekt er dårlig bionedbrydelighed.
- **Oxiderende biocider:**
Der bruges hovedsageligt klor og monochloramin. Klor er stærk oxiderende (akut toksisk), hvilket betyder, at halveringstiden er kort, men sideeffekten af klorering er dannelse af halogenerede biprodukter. Andre oxiderende biocider er ozon, brintoverilte og pereddikesyre. Brugen af ozon (og UV- bestråling) kræver forbehandling af spædevand og kræver specielle materialer. Miljøpåvirkningerne forventes at være mindre skadelige end de halogenerede biocider, men anvendelsen kræver speciel omhu, er dyr og ikke anvendelig i alle situationer.
- **Ikke-oxiderende biocider:**
isothiazoloner, dibromocyanoacetamid (DBNPA), glutaraldehyd og kvarternære ammoniumforbindelser osv. Disse forbindelser er generelt akut toksiske og ofte ikke let nedbrydelige, dog er der nogle, som hydrolyserer eller nedbrydes af andre mekanismer. Miljøpåvirkningen er betydelig.

Tabel 4.3 Kemiske forbindelser der anvendes til kølevandsbehandlinger i åbne og recirkulerende våde kølesystemer.

Eksempler på kemisk behandling	Vandkvalitetsproblemer					
	Korrosion		Scaling		(Bio-)fouling	
	Ét gennemløbsystemer	Recirkulerende systemer	Ét gennemløbsystemer	Recirkulerende systemer	Ét gennemløbsystemer	Recirkulerende systemer
Zink		X				
Molybdænsure salte		X				
Silikat		X				
Fosfonater		X		X		
Polyfosfater		X		X		
Polyol esterere				X		
Naturlige organiske stoffer				X		
Polymere stoffer	X	X	X	X	X	X
Ikke oxiderende biocider						X
Oxiderende biocider					X	X

Behovet for kølevandsbehandling og type og mængde af kemikalier er mere udførligt beskrevet i Bilag V i BREF-dokumentet. Anvendelse af kølevandskonditionering er et meget komplekst og stedspecifikt problem, hvor udvælgelsen er baseret på en kombination af følgende elementer:

- design og materiale af varmevekslerudstyr,

- temperatur og kemi af kølevand,
- organismer i overfladevand, som kan medrives,
- følsomheden af recipientens økosystem overfor emitterede tilsætningsstoffer og de relaterede biprodukter.

For at behandlingerne skal give den rette effekt, er regulering af kølevandets pH og alkalinitet inden for et specificeret interval typisk påkrævet. God pH og alkalinitetskontrol er blevet mere vigtig, hvor der bruges mere pH-følsomme behandlingsprogrammer, eller hvor der anvendes højere koncentrationscykler i åbne recirkulerende køletårne for at minimere afdræningen og reducere vandbehovet. Det er i stigende grad almindelig praksis i industrien, at vedligeholdelsesprogrammer udvikles og udføres af en tilsætningsstofleverandør, mens ansvaret for systemdriften forbliver hos ejeren af kølesystemet.

4.4.2 Emissioner af kemikalier til vand

I Europa og USA er der udført en hel del arbejde vedrørende optimering af kølevandskonditionering, vedrørende anvendelse af alternative behandlinger og vedrørende andre teknikker til at forebygge skadelige påvirkninger af vandmiljøet, som skyldes kølevandstilsætningsstoffer. Dette arbejde fokuserer stort set på anvendelsen af biocider.

Specifikke emissioner, som resulterer fra kølevandsbehandling, kan være svære at vurdere i de situationer, hvor der ikke er tilgængelige analysemetoder for de kemikalier, der anvendes til behandling. Ud over specifikke kemikalier til behandling af kølevand kan biprodukter, som stammer fra brugte kemikalier, også bidrage væsentligt til miljøpåvirkningen på vand.

Kvantificering af korttidseffekter kan ske ved at udtage prøver af udledte kølevandsstrømme til bestemmelse af akut toksicitet. Resultater heraf kan give et minimumsskøn over miljøpåvirkningerne i vandet (fordi langtids- (kroniske) effekter, bionedbrydelighed, bioakkumulation (P_{ow}) (partition coefficient over the phases n-octanol and water) og kræftfremkaldende effekter ikke er undersøgt).

4.4.2.1 *Oxiderende biocider*

I flere lande er der blevet etableret programmer for at opnå optimal brug af hypoklorit i kølevand. Frie oxidanter (mg FO/l) bruges ofte som en kontrolparameter i kølevand. I Holland bruges en koncentration på 0,1 - 0,2 (mg FO/l) i udledningen som målkoncentration for konstant doserede (ét-gennemløbs-) kølesystemer. For uregelmæssig eller chokkloreringsystemer er FO- eller FRO-koncentrationen⁴ altid under 0,2 mg/l som daglig (24-timers) gennemsnitlig værdi, men i løbet af en chokindsprøjtning kan FO- eller FRO-koncentrationen være tæt på eller lig med 0,5 mg/l (gennemsnit pr. time).

Optimering ved implementering af monitoring og kontrolleret (automatisk) dosering af biocider kan reducere det årlige forbrug af de kemikalier, der bruges i kølevand, væsentligt. Dette kan resultere i en reduktion i biocidbelastning

⁴ FRO - free residual oxidants

og i biocidernes biprodukter, såsom organohalogenerede forbindelser, herunder bromoform.

Flere virksomheder i kemiindustrien og energiproduktionssektoren har opnået op til 50% reduktion i brugen af hypoklorit i kølevand ved introduktion af de ovennævnte optimeringstiltag.

4.4.2.2 Ikke-oxiderende biocider

I 1999 blev der lavet et studie af miljøpåvirkningerne af brugen af oxiderende og ikke-oxiderende kemikalier i recirkulerende kølesystemer. For de kemikalier, hvor analysemetoder var tilgængelige, blev kemikaliekoncentrationerne i kølevandet målt. For alle de kemikalier, der blev anvendt, blev der udtaget toksicitetsprøver til at vurdere miljøpåvirkningen på vand. Da kølevand blev udledt direkte til vandet, resulterede brugen af ikke-oxiderende kemikalier i recirkulerende kølesystemer i mange tilfælde i kraftige miljøpåvirkninger af vandet. For oxiderende kemikalier (hypoklorit) blev der fundet PEC/PNEC-forhold⁵ baseret på toksicitetsprøver i intervallet 3 (kontinuerlig dosering) og 33 (chokdosering), og for ikke-oxiderende kemikalier blev der fundet PEC/PNEC-forhold på 20 (isothiazoliner), 2500 (β -brom- β -nitrostyren (BNS)), 660-13.000 (BNS/MBT (methylen(bis)thiocyanate) og 3700 (DBNPA)⁶.

Et andet studie indikerede, at potentielle risici for det modtagende vand ikke kan udelukkes, når der er brugt isothiazoliner (1,2-benzisothiazolin-3-on, 2-methyl-4-isothiazolin-3-on) som tilsætningsstof i kølevand.

Behandlingsprogrammerne varierer betydeligt og afhænger af de tidligere nævnte faktorer og er som sådan stedspecifikke. Emissioner af tilsætningsstoffer varierer i volumen og kemi (toksicitet, reaktivitet). Nedbrydnings-, interaktions- og mulige rensningstiltag kan påvirke den aktuelle mængde, der endelig udledes og følgelig den resulterende påvirkning af vandmiljøet. Optimering og kontrolleret konditionering af kølevand ved brug af (automatisk) dosering og overvågning kan reducere brugen af kemikalier i kølevand og følgelig miljøpåvirkningen af det modtagende vand væsentligt.

I Holland er anvendelsen af hypoklorit og brom i kølevand en af de vigtigste kilder til organohalogenerede forbindelser, målt som AOX⁷, i vand.

Sommetider behandles kølevand i et spildevandsanlæg inden udledning. Ved udledning til offentligt kloaknet skal det vurderes, om de udledte stoffer vil påvirke renseanlægget. Behandling af den afdrænedede mængde med andre spildevandsstrømme i raffinaderier kan muligvis reducere effekten af biocider i vand. Biologisk behandling kan være følsom over for lave niveauer af ikke-oxiderende biocider, hvilket kan forstyrre renseanlæggets funktion. Hæmning af aktivt slam på 60% og mere (100%) er blevet rapporteret. Fysisk/kemisk behandling for biocider er stadig på et eksperimentelt niveau. Polariteten af

⁵ PEC - Predicted Environmental Concentrate

PNEC - Predicted No Effect Concentrate

⁶ DBNPA - Dibromo-nitrilopropionamide

⁷ AOX - Adsorbable organic halogens

ikke-oxiderende biocider vil være en forhindring for fysisk behandling, idet de vil forblive i vandfasen.

Afdræning fra åbne recirkulerende systemer er den mere kontrollerede måde, hvorved biocider indtræder i miljøet. For lukkede systemer drænes ikke. Der laves skylninger, men de er små og udledes typisk til kloaksystemet. Det er klart, at biocidkoncentrationen vil være højest i kølevandet umiddelbart efter dosering og følgelig koncentrationen i udledningen og skylninger. Ved kemiske reaktioner i systemets kølevand såsom hydrolyse vil biocidkoncentration gradvis formindskes, og denne viden kan bruges til at skønne den forventede koncentration i udledningen. Denne information kan også bruges, når man lukker skylningen efter behandlingen for at forebygge udledning af biocider med et højt niveau af kemisk aktivitet. For at opnå yderligere optimering er flere faktorer vigtige. Udover koncentrationen i udtaget er proceskontrol væsentlig her.

4.4.2.3 Faktorer som påvirker biocidmissioner

Faktorer, som påvirker udledningen og levetiden i den vandige recipient, er blevet beskrevet i stor udstrækning for et antal almindeligt anvendte oxiderende og ikke-oxiderende biocider. Følgende faktorer i kombination med køleprocesforholdene spiller en rolle ved udvælgelse af et kølevandsbehandlingsprogram:

- hydraulisk halveringstid,
- hydrolyse,
- bionedbrydelighed,
- fotolyse,
- volatilitet.

Volumenet af skylningen bestemmer den hydrauliske halveringstid. Jo større skylningen er, jo mindre er den hydrauliske halveringstid, og jo kortere er opholdstiden af biocidet. Den hydrauliske halveringstid påvirker ikke funktionen af de oxiderende biocider på grund af deres hurtige adskillelse og virkning, men for ikke-oxiderende biocider vil det begrænse deres virkning.

Hydrolyse af et ikke-oxiderende biocid forekommer ved en bestemt pH og vandtemperatur. Generelt vil hydrolyse stige og den biocid effekt falde med stigende pH og/eller stigende temperatur. Følgelig vil det modtagende vands lavere temperatur yderligere gøre hydrolysen langsommere og øge levetiden af ikke-oxiderende biocider i vandmiljøet.

Bionedbrydning, fotolyse og flygtighed spiller ikke nogen rolle i nedbrydning af ikke-oxiderende biocider. Fotolyse kan finde sted, hvis vandmiljøet er udsat for sollys. Fordampning kan spille en rolle i tilfælde af oxiderende biocider (hypoklorit). Forskning har påvist, at en såkaldt strippingeffekt af køletårne er skyld i et tab på 10-15% hypoklorit for hver passage af køletårnet. PH-niveauet påvirker hypoklorits fordampning.

Bionedbrydning af biocider afhænger af mængden af organiske og ikke-organiske materialer og bionedbrydeligheden af biocidet selv. En stor mikrobiologisk population, stigning i temperaturen og et højere iltindhold i kølevandet eller recipienten øger bionedbrydningen. Vand indeholder meget suspenderet organisk materiale, som biocider kan absorbere, hvilket fører til akkumulation i sedimentet. Biocider kan også reduceres med organisk materiale.

4.4.2.4 Emissionsniveauer

Det er svært at beskrive repræsentative koncentrationsniveauer i kølevands-emissioner. Kvantificering af stofemissioner i kølevandsudledning er blevet forsøgt, og modeller er blevet udviklet. Imidlertid kan der, på grund af stedspecificitet, ikke rapporteres om nogen generelt anvendelig model, som tager hensyn til alle aspekter. Der må laves mange antagelser, og selv om de giver en indikation, kan udledninger nemt overvurderes eller undervurderes. Et eksempel på en model til biocider i et åbent vådt køletårn er beskrevet i Bilag IX i BREF-dokumentet.

4.4.2.5 Lovgivning

Udledning af miljøfremmede stoffer til vand reguleres i Danmark ved bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet⁸. Udgangspunktet for reguleringen er, at der fastsættes kvalitetskrav for vandområderne, der skal modtage udledning af spildevand. Et kvalitetskrav er det koncentrationsniveau, der skal overholdes eller opnås, medmindre der er udlagt et spildevandsnær område.

Bekendtgørelsen omfatter kvalitetskrav for en række af de stoffer, der potentielt kan være farlige for vandmiljøet. Miljømyndighederne skal derfor i forbindelse med en udledningstilladelse vurdere, om der er behov for at fastsætte miljøkvalitetskrav for andre stoffer. Hvis der sker udledning af andre problematiske stoffer, skal der fastsættes et kvalitetskrav herfor for vandmiljøet. Ansøger skal til brug for sagbehandlingen oplyse de nødvendige data for de udledte stoffer.

Udlederkrav for selve udledningen skal fastsættes på baggrund af kvalitetskravet for vandområdet, der modtager spildevandsudledningen. Omregning mellem et kvalitetskrav og et udlederkrav sker på baggrund af initialfortyndingsforholdene, baggrundskoncentrationer af det pågældende stof og under hensyn til øvrige tilførsler af stoffet til det pågældende vandområde.

Afledning af miljøfarlige stoffer til kloak reguleres af kommunalbestyrelsen, der har hjemmel til at meddele tilladelse til tilslutning af spildevand til spildevandsanlæg og til at påbyde forbedring eller fornyelse af vilkår, der må anses for utilstrækkelige eller uhensigtsmæssige.

I bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. er der fastsat nærmere regler for administration af spildevandsområdet. I Miljøstyrelsens vejledning til bekendtgørelsen om spildevandstilladelser m.v. er det samlede lov og regelgrundlag beskrevet, mens styrelsens vejledning om tilslutning af industrispildevand til offentlige spildevandsanlæg er en teknisk vejledning.

⁸ Bekendtgørelse nr. 1669 af 14. december 2006

Vejledningen om tilslutning af industrispildevand beskriver bl.a. principper for vurdering af organiske stoffers miljøfarlighed ved tilledning til offentlige spildevandsanlæg, hvor stofferne inddeles på tre lister - ABC lister - på baggrund af stoffernes potentielle humane skadevirkning, biologiske nedbrydelighed, bioakkumulerbarhed og giftige effekt overfor vandlevende organismer:

A: Stoffer, hvis egenskaber bevirker, at de er uønskede i afløbssystemet. Stofferne bør erstattes eller reduceres til et minimum.

B: Stoffer, der ikke bør forekomme i så store mængder i det tilledte spildevand, at miljømæssige kvalitetskrav/kriterier overskrides. For udvalgte stoffer er der fastsat grænseværdier. Stofferne skal tillige reguleres efter princippet om anvendelse af den bedste, tilgængelige teknik.

C: Stoffer, der ikke i kraft af deres egenskaber giver anledning til fastsættelse af grænseværdier i tilledt spildevand. Disse stoffer reguleres efter princippet om anvendelse af bedste, tilgængelige teknik med lokalt fastsatte kravværdier svarende hertil.

I Danmark forekommer der udledning af kølevand både til kloaksystemer og til havet. Det vurderes, at varierende dosering og driftsforhold kan give anledning til udledninger af biocider med kølevand i koncentrationer på mellem 0 og 5 mg/l, dog normalt mellem 0 og 1 mg/l. Evt. emissionsgrænseværdier fastsættes for enkeltstoffer og ikke for samleparametre.

4.4.3 Reduktion af emissioner til vand

4.4.3.1 *Generel tilgang*

Der findes følgende teknikker til reduktion af emissioner til vand, som skyldes anvendelsen af kølevand:

- reduktion af korrosion af køleudstyr,
- reduktion af lækage af processtoffer til kølekredsløb,
- anvendelse af alternativ kølevandsbehandling,
- udvælgelse af mindre farlige kølevandstilsætningsstoffer,
- optimeret anvendelse af kølevandstilsætningsstoffer.

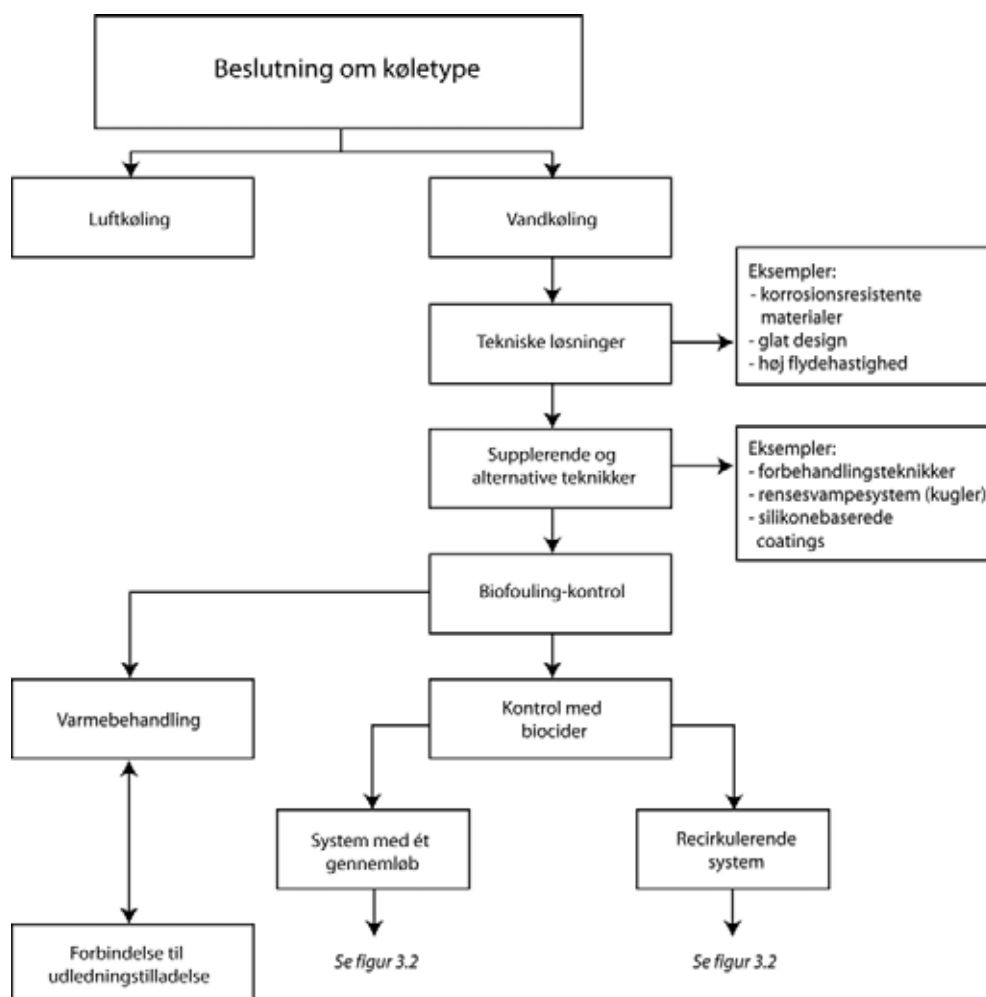
Reduktion af emissioner, som skyldes kølevandsbehandling, bør sigte mod at reducere behovet for behandling (forebyggelse) og udvælgelse og optimal anvendelse af tilsætningsstoffer (forureningskontrol) inden for kravet om maksimal varmeveksling. For at reducere emissionen af kemikalier i udledningen af kølevand er der mange tilgængelige muligheder. Udover vurdering af den passende konfiguration, som er beskrevet i kapitel 1, og i overensstemmelse med den forebyggende tanke at anvende BAT til industrielle kølesystemer, kan reduktionsmulighederne overvejes i en bestemt rækkefølge. For nye køle-

systemer med stor kapacitet er der udviklet metoder til at reducere emissioner til vand.

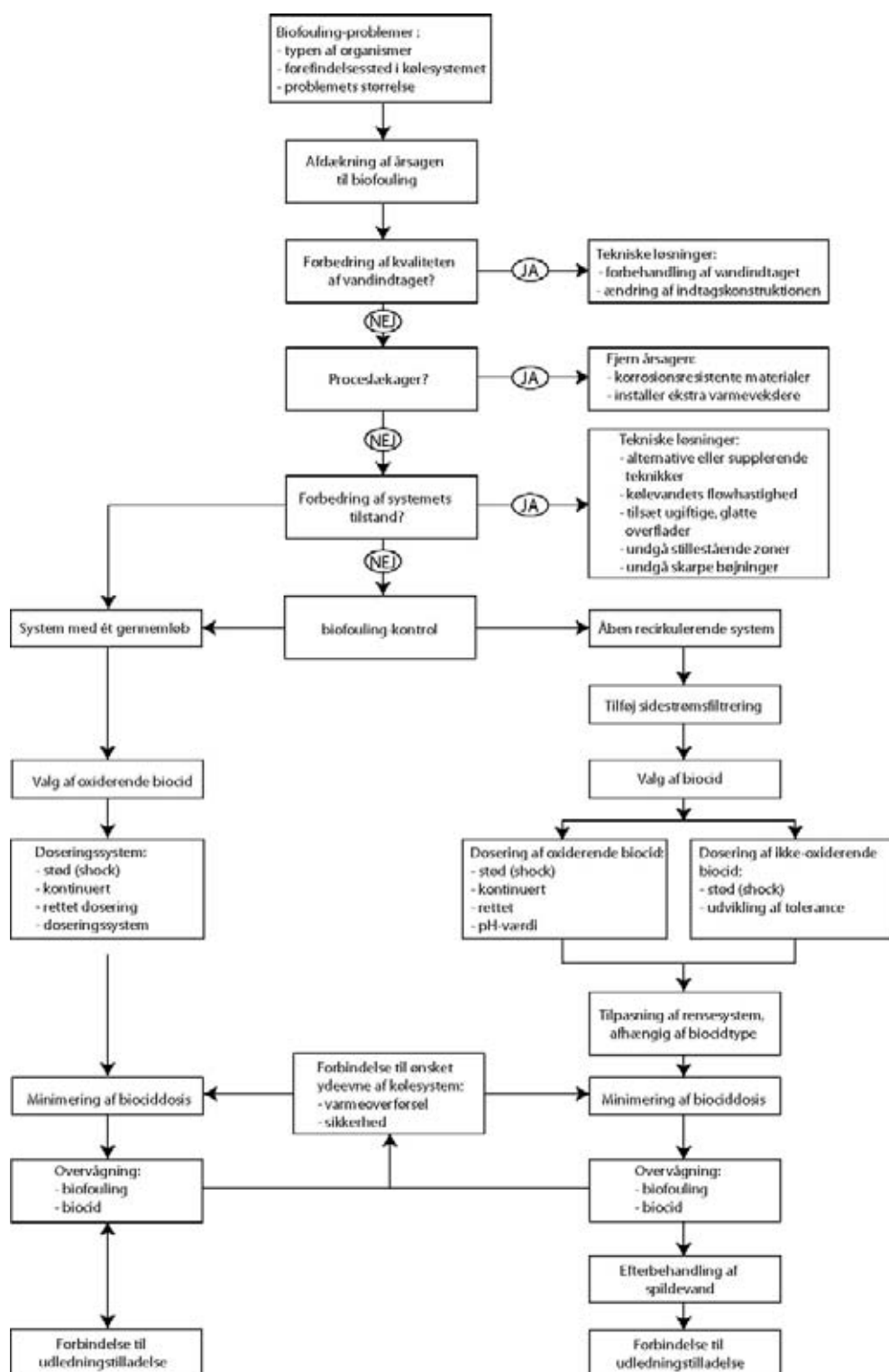
Der er udviklet metoder til optimering af biocidforbruget dels i nye og dels i eksisterende systemer. Begge metoder involverer mere eller mindre de samme trin, og ved at følge disse trin vil man være sikret, at der er taget hensyn til alle vigtige faktorer involveret i at reducere forbruget af tilsætningsstoffer. Metoderne er vist i figur 4.1 og 4.2.

Til optimering af biocidforbruget eksisterer der en bred vifte af muligheder, som ofte har et indbyrdes forhold. En struktureret tilgang til etablering af en optimeringsplan byder på visse fordele. Nedenfor præsenteres anbefalinger i form af to procesdiagrammer, et for kølevandssystemer i designfasen og et andet for eksisterende kølevandssystemer. Disse diagrammer viser en trin-for-trin metode til biocidoptimering.

Figur 4.2 er forklaret som følger: I designfasen af et kølevandssystem bør der træffes beslutning om, hvilken type køling man vil bruge. Hvis vandkøling bruges, bør man overveje konstruktionsmæssige løsninger, som regulerer den forventede biofoulingspopulation i kølevandssystemet. Vigtige problemstillinger at tage hensyn til i designfasen er opretholdelse af tilstrækkeligt høje strømningshastigheder i alle dele af kølevandssystemet og et friktionsløst design af rørledninger og varmevekslere. Dette vil reducere lejrning af biofouling-organismer. Anvendelse af ikke-toksiske foulingsafvisende belægning vil hjælpe med at reducere lejrning af organismer yderligere. Indtagstrukturen bør designes således, at medrivning af løst materiale og organismer minimeres. Filtreringsudstyr og "affaldsgitre" kan yderligere reducere mængden af medrevet materiale. Anvendelse af materiale med høj modstandsdygtighed skal overvejes. For varmevekslere kan dette være titanium (korrosionsresistent, glat overflade). Hydrodynamisk designede indtags- og udtagskasser i varmevekslerne kan laves af glasforstærket plast. Dette materiale kan også anvendes i rør og samlinger i systemet. Derudover kan der laves relativt enkle tiltag i designfasen, såsom tilslutninger til kemiske og biologiske monitorings-, eller doseringsapparater (f.eks. specielle doseringsblokke og -punkter) eller mere komplekse til mekanisk rengøring, såsom muslingesier eller et skumgummiboldesystem. I nogle tilfælde kan varmebehandling bruges til at kontrollere makrofouling, og så behøves der ingen biocider overhovedet. Til anvendelse af varmebehandling skal der designes et specielt omløb/loop i kølevandssystemet. Yderligere muligheder for optimering ligner dem, der gælder for eksisterende systemer.



Figur 4.1 Designprincip for kølevandssystemer, som sigter mod reduktion af biocidanvendelse



Figur 4.2 Metode til reduktion af biocidforbruget i eksisterende industrielle kølevandssystemer

Figur 4.2 viser alle de trin, der skal tages hensyn til i udvælgelsen af biocider. I et eksisterende kølevandssystem er det vigtigt at karakterisere biofoulingspopulationen og størrelsen af biofoulingsrisikoen. Tilstrækkelig biologisk monitorering er en forudsætning for dette.

Årsagen til biofoulingsproblemet bør analyseres og løses. Kvaliteten af kølevandet kan forbedres ved forbehandling af vandet (f.eks. mikro- og makrofiltrering). Dette kan fjerne en del af biofoulingsrisikoen ved at reducere mængden af indkommende organismer og næringsstoffer. Hvis proceslækager er hovedårsagen til en øget mængde biologisk vækst, bør de elimineres, f.eks. ved anvendelse af korrosionsresistente materialer eller ved installering af reservevarmevekslere, som gør det muligt at udføre mekanisk rengøring oftere. For at forbedre systemforholdene bør alle muligheder i figur 4.1 overvejes.

Natriumhypoklorit er det vigtigste biocid, der anvendes. Dosering sker via chok eller kontinuerligt. Doseringsstrategien for makrofouling kontrol bør være forebyggende, idet helbredende dosering kræver meget høje doseringer over længere perioder, når der er udviklet udbredt makrofouling. Det anbefales at overveje muligheden for målrettet dosering på steder med høj risiko for fouling såsom varmevekslerindtags- og -udtagskasser. Kemisk monitorering er væsentlig for at etablere den krævede minimumsbiociddosis. Da den anvendte oxiderende biocidkoncentration vil falde i kølevandssystemet, er der behov for kemiske monitører for at registrere det effektive resterende biocidniveau ved de kritiske punkter i kølevandssystemet. On-line målere bør regelmæssigt håndkalibreres med den kolorimetrisk DPD-test⁹. Toksicitetsbaseret måling af biocid-koncentrationerne i kølevand er også brugbar til optimeringsplaner. Makrofouling monitoringsapparater giver information om lejrning og vækst af makrofoulingorganismer og om biofouling kontrolprogrammets effektivitet.

I **åbne recirkulerende systemer** er mikro-fouling meget vigtigere end makro-fouling. Monitører af mikro-fouling, såsom ATP-metoden og kolonitællingsteknikken, giver vigtig information om udviklingen og tilstanden af mikro-foulingpopulationen i kølevandssystemet. For at forebygge medrivning af organismer og næringsstoffer med kølevandet kan indtagsvandet forbehandles (f.eks. mikrofiltrering, udfældning). Delstrømsfiltrering, den kontinuerlige filtrering af en del af returvandsvoluminet, hjælper yderligere med at reducere mængden af organisk stof i kølevandet. Den biocidmængde, der kræves til en succesrig behandling, kan derved reduceres. Delstrømsfiltrene bør helst være lukkede midlertidigt, mens man udfører chokdosering med biocidet, hvorved man vil undgå unødigt biocid efterspørgsel fra filteret og undgå at dræbe den mikrobielle population på filteret.

I recirkulerende kølevandssystemer bruges oxiderende og ikke-oxiderende biocider. I Danmark behandles cirka 50% af de recirkulerende systemer med natriumhypoklorit. Ikke-oxiderende biocider bruges kun, når oxiderende biocider ikke kan yde tilstrækkelig beskyttelse. For oxiderende og ikke-oxiderende biocider anbefales diskontinuerlig eller chokdosering, dog kan kontinuerlig halogenering ved lave niveauer i nogle tilfælde forbruge færre kemikalier end

⁹ DPD (N-N-diethyl-p-phenylenediamine) test er en simpel standard test til at bestemme chlor rester i vand. En tablet opløses i væsken, der skal bestemmes, og en farvereaktion noteres og sammenholdes med en standardskala.

skuddosering. Dette vil også reducere risikoen for udvikling af resistens over for biologien. Der er behov for præcise kemiske analytiske feltmetoder til ikke-oxiderende biocider for at optimere deres brug. Mulighederne for hypokloritmålinger er blevet nævnt tidligere. Biologiske metoder til måling af biocidkoncentrationerne i kølevandet kan også være brugbare i recirkulerende systemer.

Om muligt anbefales det at lukke eller reducere skylningen, mens der foretages chokdosering af både oxiderende og ikke-oxiderende biocider for at reducere emissionerne af aktive biocider. Dette er især effektivt for hurtigt reagerende eller opløselige biocider. Det anbefales yderligere at anvende et recirkulerende kølevandssystem behandlet med hypoklorit ved en pH-værdi på 7 - 7,5 for at minimere fordampningstab af hypochlorsyre over køletårnet. Erfaringer har vist, at dette ikke nødvendigvis medfører en reduktion i biocidets virkningsgrad. Det er dog vigtigt at styre risikoen for scaling.

Den kombinerede brug af hypoklorit og bromid kan være en attraktiv mulighed i ferskvandskølevandssystemer og også i ét-gennemløbs kølevandssystemer, idet nogle biprodukter - de bromerede aminer - har en kraftigere biocid-effekt end deres klorinerede homologer, og de nedbrydes hurtigere.

I recirkulerende systemer med høj vandkvalitet kan ozon være en mulighed. Det er vigtigt her at være opmærksom på risikoen for korrosion. Nogle få erfaringer fra Europa har været succesrige med anvendelsen af ozon. Endelig kan UV-lys også byde på muligheder i recirkulerende systemer som en supplerende teknik. UV-lys alene kan imidlertid ikke angribe biofouling, som har lejet sig på overfladen af kølevandssystemet. For at være effektiv er der behov for relativt klart kølevand, da lyset skal kunne trænge gennem vandsøjlen.

Metoden til valg af kølevandsbehandling kan opsummeres som følger:

- 1 Tilgængeligheden af vand, blandt andre faktorer, vil være bestemmende for hvilken kølekonfiguration, der vælges (ét gennemløb, åbent eller lukket vådt køletårn eller hybridt køletårn). Den valgte konfiguration kan på sin side påvirke typen af vandbehandling. Disse afviger generelt mellem ét gennemløb og åbent vådt køletårn, ligesom anvendelse af oxiderende eller ikke-oxiderende biocider.
- 2 Så snart der er truffet valg om systemet, skal en kompleks vurderingsplan anvendes for at matche de talrige kombinationer mellem de følgende muligheder, som vil påvirke behovet for kølevandsbehandling yderligere:
 - valg af materiale og overfladebehandling af varmevekslere og rørledninger,
 - layout af kølesystem for at undgå turbulens, sedimentering eller muslingevækst, eller for at øge den nødvendige vandhastighed,
 - forbedring af kølevandskemien ved forbehandling,
 - mekanisk rengøring af kølesystemet,
 - alternative behandlinger såsom termisk, UV og delstrømsfiltrering.

Afhængigt af resultatet af denne vurdering kan et vådt kølesystem stadig kræve en vis beskyttelse mod scaling, korrosion eller fouling. Dette afhænger af kemien af kølevandet, måden systemet anvendes på, såsom antal af koncentrationscykler, og den valgte kølekonfiguration.

Det er klart, at for lukkede kredsløb med tør luftkøling eller tørre luftkølede kondensatorer er en sådan behandling ikke nødvendig. Kemikalier kan bruges til at rengøre de udvendige ribberør, men typisk ikke til at drive systemet.

Når behovet for kølevandsbehandling er fastslået, skal det besluttes, hvilket kølevandsbehandlingsprogram man ønsker at anvende under hensyntagen til de lovgivningsmæssige krav. Disse lovgivningsmæssige krav kan være:

- forbud mod brugen af bestemte stoffer til kølevandsbehandling, f.eks. krom, kviksølvforbindelser, organiske metalforbindelser, nitritter, sulfhydrylbenzothiazoler (mercaptobenzothiazoles),
- begrænsning af visse stoffer eller grupper af stoffer (f.eks. zink, fosfor, klor, AOX¹⁰) i kølevandsafløb ved at definere emissionsgrænseværdier,
- krav om et minimumsniveau af bionedbrydelighed for kompleksdannere (ligander),
- begrænsning af økotoksikologiske effekter af kølevandsudledning.

Udvælgelsen af tilsætningsstoffer til kølevandsbehandling for både nye og eksisterende systemer med følgende metode vil medføre en reduktion i emissioner af kølevandskemikalier:

- etabler behovet for kølevandsbehandling efter at andre fysiske rengøringsmetoder er blevet anvendt,
- vælg den nødvendige type tilsætningsstoffer,
- vurder miljørisici af de stoffer, der skal anvendes,
- anvend stoffer, som har en lavere potentiel indvirkning på miljøet, hvor det er muligt.

4.4.3.2 Reduktion ved udvælgelse af materiel og systemdesign

For nye systemer kan materiale- og designmuligheder anvendes til at reducere forbruget af tilsætningsstoffer. Mange forskellige materialer bruges til kølesystemer. Udstyrsleverandører tilbyder typisk deres udstyr i en bred vifte af forskellige metaller og legeringer for at sætte operatøren i stand til at vælge et materiale, der er egnet til den kølevandskemi og de procesforhold, det skal bruges til. I BREF-dokumentets Bilag IV diskuteres materialer til systemer med ét gennemløb og åbne recirkulerende systemer, der bruger brak- eller saltvand. Det er vigtigt at indse, at nogle af materialets egenskaber kan have modsatrettet karakter, hvilket kan komplicere materialevalget og vil påvirke

¹⁰ AOX - Adsorbable organic halogens.

kølevandsbehandlingsprogrammet. For eksempel kan en reduceret korrosionsevne høre sammen med en højere følsomhed over for biofouling.

Det rigtige layout og konstruktion af et kølesystem kan påvirke behovet for kølevandstilsætningsstoffer. Under monteringen bør unødige strømningsmodstande samt bratte ændringer i flowretningen undgås. Begge dele fører til turbulens, og hvor det er muligt, bør dette undgås, idet det øger korrosion eller begroning af f.eks. muslinger.

Ved at drive systemet med den passende minimumsvandhastighed opretholder man ikke kun den krævede kølekapacitet, men reducerer også fæstning af makrofouling og korrosion af materiale.

Overfladebehandling (coating) og maling anvendes til at reducere fæstning af organismer, forstærke hastighedseffekten og muliggøre rengøring. Disse antifoulingmalinger kan bestå af toksiske stoffer, og der er derfor udviklet ikke-toksiske overfladebehandlinger og malinger. Anvendeligheden under vand og prisen varierer og afhænger af størrelsen af kølesystemet og forholdene. F.eks. anvendes organiske overfladebehandlinger til relativt små køleenheder ved varmhærdning (thermal curing) af overfladen. Disse er pulveroverfladebehandlinger, som kan bruges i våde miljøer og ikke indeholder toksiske stoffer, ikke bruger opløsningsmidler og er korrosionsresistente, hvilket resulterer i en væsentlig forlængelse af udstyrets levetid.

I større våde kølesystemer anvendes også overfladebehandlinger, og erfaringer fra kraftværker viser, at de skal fornyes hvert 4. til 5. år. Et eksempel er vist i BREF-dokumentets Bilag XI. Antifoulingmaling, som indeholder toksiske stoffer såsom kobber og tributyltinnoxid (TBTO), som frigøres langsomt fra malingen, er blevet anvendt. Ingen malinger, som indeholder TBTO, er stadig i brug. Malinger som indeholder kobber kan stadig være i brug i et begrænset omfang.

4.4.4 Reduktion ved anvendelse af ekstra og alternativ kølevandsbehandling

Adskillige teknikker er blevet anvendt til at reducere kølevandsbehandling. Følgende teknikker er blevet rapporteret til reduktion af biocidforbrug:

- Filtrerings- og forbehandlingsteknikker,
- On-line rengøring,
- Off-line rengøring,
- Varmebehandling,
- Overfladebehandlinger (coatings) og malinger,
- Ultraviolet (UV) lys,
- Akustisk teknologi,

- Osmotisk chok.

Princippet bag disse teknikker er at forbedre den biologiske kvalitet af kølevandet og at holde overfladerne af kølesystemelementerne (rørledninger og varmeveksler) så rene som muligt, hvorved der skabes et miljø i systemet, som reducerer udviklingen af fouling. Anvendelsen af disse teknikker er opsummeret i Bilag XI i BREF-dokumentet, og det er klart, at nogle måske ikke kan anvendes generelt eller stadig er ved at blive undersøgt. Miljøfordelene bør afvejes mod den reducerede anvendelse af kemikalier.

UV-lys kræver for eksempel relativt klart vand, hvorimod ozon- og akustisk teknologi vil kræve ekstra energiinput. Elektrisk vandbehandling, som anvendes til en meget lille størrelse kølesystem ($< 1 \text{ m}^3/\text{min}$), som arbejder ved temperaturer på 30-40°C, gav lovende resultater som en ikke-kemisk mikrobiel kontrolmetode, men kræver videre forskning.

De økonomiske omkostninger kan variere med størrelsen af systemet og i hvilket omfang teknikkerne skal integreres i kølesystemet.

Forbehandling af vand til recirkulerende våde kølesystemer for at reducere forbruget af kølevandstilsætningsstoffer kan overvejes i det samme lys som forbehandling af vand for at reducere vandforbruget (se afsnit 3.3.1.2). Forbehandling vil påvirke kemien af kølevandet, såsom at reducere saltindholdet, hvilket vil påvirke det krævede niveau af scalings- og korrosionshæmning og den måde kølesystemet drives på.

Der er imidlertid ikke rapporteret meget om effekten af forbehandling af kølevand på reduktionen af forbruget af tilsætningsstoffer i kølevandet, men omvendt osmose til lukkede kølekredse og delstrøms-filtrering til åbne kølesystemer med større kapaciteter har ifølge nogle kilder givet gode resultater (Bilag XI i BREF-dokumentet). Lavere omkostninger til vandindtag, til behandling af afdrænet vand og til dosering af korrosionsinhibitorer, kalkdannelse og dispergeringsmidler er omtalt. Det var ikke nødvendigt at omdesigne kølesystemet.

4.4.5 Emissionsreduktion ved evaluering og udvælgelse af kølevandstilsætningsstoffer

Efter at alle teknologiske og operationelle tiltag er blevet evalueret, er vurdering og udvælgelse af tilsætningsstoffer til kølevandkonditionering det næste skridt, mod anvendelsen af stoffer med et lavere potentiale for miljøpåvirkning ved korrekt brug. I afsnit 3.4.1, og mere udførligt i Bilag V i BREF-dokumentet, er teorien bag kølevandsbehandling beskrevet, og udvælgelsen af det rigtige behandlingsprogram er klart en stedspecifik og meget kompleks opgave. Der skal tages mange faktorer i betragtning, såsom det materiale, der er anvendt til installationen, vandkvaliteten og driftspraksis. Som et resultat af dette er et større antal stoffer og forbindelser blevet udviklet og anvendes p.t. til behandling af kølevand.

Deres virkning i kølekredsen vurderes og afvejes med den resterende reaktionsevne i det akvatiske miljø efter udledning. Udfordringen her er at udvæl-

ge et tilsætningsstof, som er effektivt i kølesystemet, men uskadeligt så snart det forlader kølesystemet og kommer ud i det modtagende vandige miljø.

Anvendelsen af forskellige typer kølevandskemikalier i forskellige typer kølesystemer er rapporteret i litteraturen. Det fremgår, at miljøpåvirkningen er kompleks og afhænger af mange forskellige faktorer. Eksempler viser klart, at optimeret drift reducerer kravet til mængden af tilsætningsstoffer, og at det også kan medføre anvendelse af forskellige typer tilsætningsstoffer (se afsnit 3.4.6).

Generelt i EU anses vurderingen af kemikalier som nødvendig, og der er gennem årene gjort en stor indsats for at udvikle en integreret, fælles evalueringsmetodik for såvel nye som eksisterende kemikalier.

EU's nye kemikaliereform REACH blev vedtaget december 2006. REACH står for følgende:

R = registrering

Producenter og importører af kemiske stoffer skal registrere stofferne i et centralt Kemikalieagentur. Samtidig med registreringen skal der leveres oplysninger om stoffets miljø- og sundhedseffekter og om risikoen ved at bruge stoffet.

E = evaluering/vurdering

Myndighederne vurderer forslag til nye forsøg. For udvalgte stoffer vurderes de indsendte data, og om der er behov for mere viden for at kunne afgøre, om brugen af stofferne bør reguleres.

A = autorisation eller godkendelse af stoffer.

De mest skadelige stoffer må kun bruges til de anvendelser, som myndighederne har godkendt.

CH = Chemicals.

I forhold til biocider blev Biociddirektivet vedtaget i EU i 1998 og implementeret i dansk lovgivning 14. maj 2000. Direktivet indebærer, at alle virksomme stoffer til biocidmidler skal anmeldes og efterfølgende godkendes i EU, før biocidmidler indeholdende de godkendte virksomme stoffer efter en konkret godkendelse i Danmark må sælges her. Oplysninger om konserveringsmidler til væske i køle- og processystemer skal først indsendes til EU af producenterne af aktivstofferne i 2008.

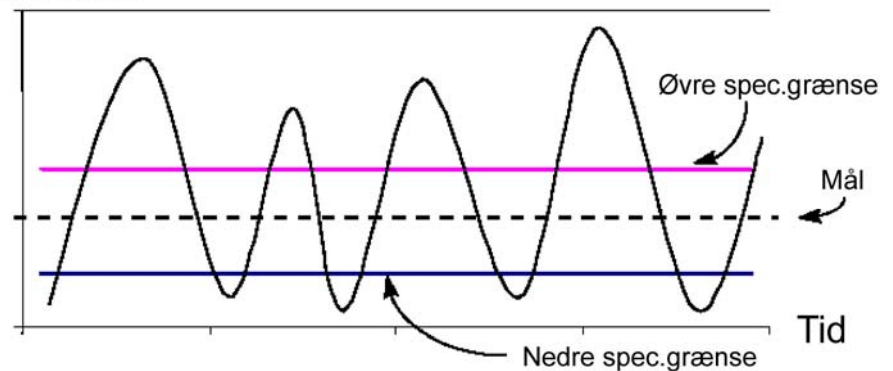
Indtil aktivstofferne er blevet vurderet i EU gælder de hidtidige danske regler, idet aktivstoffer, som ikke er blevet anmeldt m.h.p. EU-vurderingen skal fjernes fra markedet senest september 2006. Ifølge de eksisterende regler er det kun bestemte typer biocidmidler, der skal godkendes af Miljøstyrelsen, før de må sælges i Danmark. De biocidmidler, der ikke er omfattet af denne godkendelsespligt eller andre specielle regler, må i dag sælges som kemiske produkter og skal derfor ikke godkendes af nogen myndighed. Med biociddirektivet vil alle de kemiske produkter, der har til formål at bekæmpe en række levende organismer, blive defineret som biocider og skal dermed godkendes.

4.4.6 Optimering af brugen af kølevandtilsætningsstoffer

Optimering af kølevandtilsætningsstoffer omfatter også at vælge et passende doseringssystem og monitere effekterne af vandbehandlingsprogrammet, både på emissionerne til vandet og på ydelsen af kølesystemet i form af varmeveksling og sikkerhed. Det er naturligt, at begge teknikker er koblet sammen, og at monitoring er en forudsætning for det passende doseringssystem.

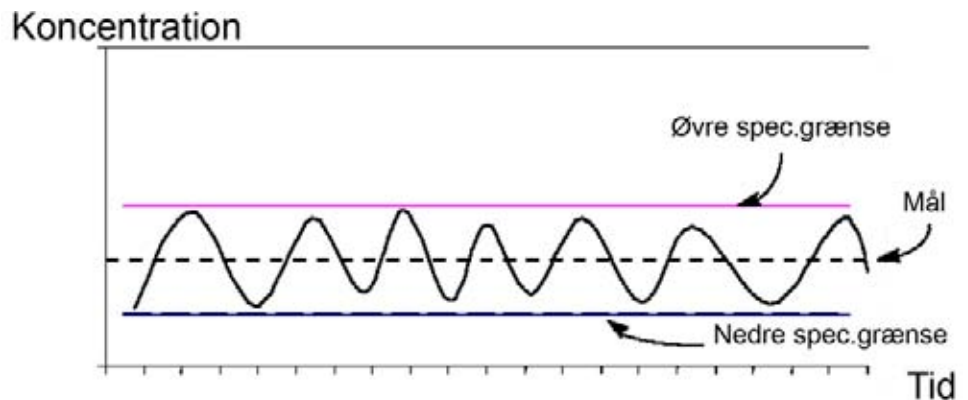
Udvælgelse af et doseringssystem bør sigte mod at opnå den krævede koncentration på den rigtige tid uden en reduktion i kølesystemets ydelse. Underdosering kan forårsage korrosion og kalkdannelse og en reduceret ydelse af kølesystemet, hvilket også kan medføre indirekte miljøpåvirkninger, og en overdosering af kemikalier kan medføre tilsmudsning af varmevekslingsoverflader, højere emissionsniveauer og højere behandlingsomkostninger. Dette kan fremstilles grafisk som i figur 4.3. I et forkert designet system er krav om en minimumskoncentration af et biocid for at sikre systemets beskyttelse mod fouling ikke taget i betragtning, så nogen fouling kan ske. Samtidig medfører overdosering sådanne koncentrationsniveauer, at mere end den maksimalt krævede koncentration er tilgængelig. På dette tidspunkt vil overskudstilsætningsstof blive udledt til miljøet.

Koncentration



Figur 4.3 Variation i koncentrationen af tilsætningsstof som resultat af ukorrekt monitoring og doseringssystem.

Målrettet dosering (figur 4.4) baseret på analyse af kølevandskvaliteten sigter mod at vedligeholde det minimalt krævede koncentrationsniveau for at give konstant beskyttelse. For høje koncentrationsniveauer undgås, og derved reduceres udledningen til miljøet, hvilket også vil reducere omkostningerne til at købe behandlingen. For dette vil korrekt designede doseringssystemer reducere den krævede mængde af tilsætningsstof og kan overvejes som et omkostningseffektivt tiltag.



Figur 4.4 Variation i koncentrationer af tilsætningsstoffer som resultat af korrekt tilrettelagt monitoring og doseringssystem.

4.4.6.1 *Dosering af kølevandstilsætningsstoffer*

Dosering af kølevandskemikalier foretages på følgende måde (se også Bilag V og XI i BREF-dokumentet):

- kontinuerligt,
 - ved afslutning af sæson
 - periodisk under sedimentering
 - lavt niveau under sedimentering
- periodisk (også kaldet i skud, serier),
- semi-kontinuerligt eller puls-skiftende,
- massiv eller chokdosering, hvor en stor mængde kemikalier tilføres kølevandet på én gang.

Kontinuerlig dosering praktiseres i kølesystemer, hvor der konstant skal være et bestemt niveau af tilsætningsstoffer. De bedre systemer tilfører kemikalier efter det volumen, der skal behandles, og det krævede kemikaliebehov. Dette anvendes stadig i systemer med ét gennemløb, hovedsageligt mod makrofouling og korrosion. Imidlertid viser erfaringen, at reduceret brug via ændret doseringspraksis kan være lige så effektiv.

Ved diskontinuerlig dosering tilføres kemikaliet ved tænd/sluk-kontrol af en kemikaliefødepumpe eller ved udledning fra en kalibreret beholder eller et målekammer. Batchdosering anvendes i kølesystemer, hvor systemvoluminet er stort i forhold til afdræningen. I disse systemer erstatter mængden af kemikalier tabt eller forbrugt materiale. Batchdosering bruges også til anlæg, som kun kræver periodisk dosering. For eksempel tilføres antimikrobielle midler sædvanligvis diskontinuerligt til kølevandssystemer. Batchdosering kan både anvendes i recirkuleringssystemer og systemer med ét gennemløb. Det kan ikke

bruges i enkelte systemer med ét gennemløb, hvor der kræves en ensartet kemikaliekoncentration.

Dosering kan også målrettes mod specifikke områder i kølesystemet, såsom indgangen til varmevekslere. En god praksis er tidsmålrettet dosering, tilpasset sæsonkarakteristikken for makrobiologisk tilvækst. Dosering vil også afhænge af typen af kølesystemet. I recirkuleringssystemer vil måden, systemet drives på, påvirke timingen og mængden af doseringen. I systemer med ét gennemløb er tidspunktet og varigheden af doseringen vigtig for at opnå den højeste effekt, da kontakttiden mellem kemikaliet og kølevandet er kort.

I små systemer foretages doseringen manuelt, men i større systemer er der typisk et automatisk apparat koblet til monitoringsystemet. Som nævnt tidligere er der en tendens til at outsource kølevandsbehandlingen til specialistvirksomheder. For store og komplekse installationer med flere kølesystemer findes specialiserede medarbejdere fra leverandører permanent på stedet for at drive disse systemer. Med mindre systemer foretages daglig kontrol, ofte af fabriksmedarbejdere, støttet med regelmæssig kontrol fra leverandøren.

Med optimering af doseringen kan der opnås en reduktion i biocidforbruget. Den måde, biocider doseres på, afhænger af biocidets virke og vedholdenhed, af typen og sæsonmønstret af fouling (makro/mikro), af tilstanden af fouling af kølesystemet, af systemets vandtemperatur og af kølevandets ernæringsstatus. Biocider doseres i form af gas, væske eller på fast form.

Dosering kan ske kontinuerligt eller i chok. I noget af litteraturen advokeres der for, at dosering bør ske kontinuerligt i systemer med ét gennemløb for at udvide de anti-mikrobielle midlers kontaktid, når doseringen er på et lavt niveau. For recirkulerende systemer er kontinuerlig dosering også mulig, men periodisk dosering er mere normal. Formålet med periodisk behandling i disse systemer er at generere en høj koncentration af anti-mikrobielle midler, som vil trænge igennem og forstyrre og til sidst få biofilmen til at gå i opløsning. I sammenligning med kontinuerlig behandling kan periodisk behandling medføre lavere gennemsnitlige årlige koncentrationer i udledningen og kan også være mere omkostningseffektiv, hvor lavere totale mængder er påkrævet. Der er imidlertid også blevet argumenteret mod dette, da det er blevet observeret, at kontinuerlig dosering kunne give en reduktion på 40% i frie oxidanter i forhold til chokdosering. Der er generelt behov for mere forskning inden for dette emne, idet kontinuerlig dosering er nemmere at foretage end chok- eller periodisk dosering fra en operatørs synsvinkel. Dette vil kræve et monitoringsystem for at bestemme det rigtige tidspunkt at sætte ind med behandlingen på. Optimering af doseringen må ske samtidig med, at der opnås en lav hyppighed af fejl.

I recirkulationssystemer kan brug af produkter bestående af synergiske aktive blandinger medføre reducerede behandlingskoncentrationer i det afdrænedede vand samt omkostningsbesparelser. Biocider med forskellige spektre kan doseres i kombination for at udvide kontrolspektret. Uden stigning i mængden af anti-mikrobielle midler, der bruges, kan blandingens effektivitet overskride den forventede effekt af et enkelt tilsætningsstof. Denne stærkt øgede effektivitet eller synergi opnås kun med bestemte tilsætningsstoffkombinationer. Tilførslen skal ikke nødvendigvis foretages samtidig, men kan gøres skiftende

med lignende resultater. En anden effekt er mindre sandsynlighed for forekomst af resistens i tilfælde af, at mere end et mikrobielt middel anvendes, da det er usandsynligt, at mikrober vil have udviklet resistens mod begge (eller alle) på samme tid. Interaktioner mellem forskellige stoffer skal overvejes for at undgå reduktion i effekten af nogle af de doserede biocider og for at undgå, at der udvikles farlige reaktionsprodukter i kølevandsudledningen.

Formålet med biocidbehandling kan være forskelligt. Afhængigt af de målte organismer og i hvilken grad der har udviklet sig bio-fouling er behandlingerne enten forebyggende eller helbredende. Et biocid, som der er blevet forsket meget i, er natriumhypoklorit. Dosering af hypoklorit i systemer med ét gennemløb viser, at kølesystemet vil fungere som en kontinuert flow-reaktor med mange komplekse reaktioner, der finder sted mellem hypoklorit og organisk stof. Som resultat af sådanne reaktioner og for en typisk lokalitet, som anvender vand fra en flodmunding eller havet, vil en hypokloritdosering ved indtaget, der varierer fra 1,5 - 3 mg Cl₂/l, resultere i en dosering på 0,25 - 0,35 mg/l TRO¹¹ ved udtaget fra varmeveksleren. Dette svarer til en reaktionstid på ca. 4 - 8 minutter. For at reducere hypokloritdoseringen væsentligt, er der anvendt puls-klorering (Bilag X og XI i BREF-dokumentet).

4.4.6.2 Doseringssystemer

Der er flere doseringssystemer på markedet. Ved valget af doseringssystem bør der skelnes mellem væske og tørre kemikalier. Til væskekemikalier bruges der pumper såsom doseringspumper, stempelpumper (højtrykspumper) og membranpumper. Til tørre kemikalier anvendes doseringssystemer såsom volumenfødere (til at dosere pulvermateriale), gravimetrisk fødere (fordeler kemikalier efter vægt) og opløsningsfødere (dosering ind i blandingstank). Hvorvidt og hvordan de forskellige doseringssystemer, der anvendes, faktisk reducerer tilsætningsstofforbruget er ikke omtalt. Det er givet, at korrekt vedligeholdelse af systemet og kalibrering vil forbedre doseringspræcisionen. Kvantiteten af og stedet og timingen for dosering kan kun kontrolleres præcist ved korrekt monitoring af vandkølesystemet.

4.4.6.3 Monitoring af kølevand

Monitoring af behovet for kemikalier til behandling af kølevand er væsentlig for at reducere forbruget af tilsætningsstoffer og emissionerne til miljøet, almindeligvis til vand. Det kan ses som en omkostningseffektiv metode, hvor behandling af det udledte vand, hvis det overhovedet er muligt, generelt er dyrere.

Der kan skelnes mellem monitoring af anvendelsen af biocider og monitoring af andre vandbehandlingskemikalier (kalkinhibitorer, korrosionsinhibitorer og dispergeringsmidler), fordi monitoring af den biologiske adfærd, der opstår i kølesystemet, er en yderligere vigtig faktor i tilfælde af makrofouling.

4.4.6.4 Monitoring af kalkinhibitorer, korrosionsinhibitorer og dispergeringsmidler

Anvendelsen af inhibitorer og optimeringen af deres brug er en meget kompleks sag, som er specifik for hver situation. I hvert tilfælde vil det være en balance mellem et antal faktorer:

¹¹ TRO - Total Residual Oxidant.

- kvaliteten af kølevandet og mulighederne for forbehandling (blødgøring, filtrering), hvilket igen afhænger af det krævede flow,
- behovet for at reducere vandkravene ved at øge antallet af cykler versus stigningen i problemer med kalkdannelse, som skyldes den øgede opkoncentrering,
- kølevandstemperaturen mod saltopløseligheden,
- interaktionen mellem additiver.

Flere metoder anvendes for at kontrollere doseringen af kølevandsinhibitorer i recirkulerende kølesystemer. I en oversigt blev der skelnet mellem følgende generelle teknikker, der anvendes i kølesystemer:

- manual afprøvning og justering,
- aktivering af dosering under afdræning,
- cykler kontrollerede ved flowmåler,
- kemiske analyser af delstrømme (mikroprocessorbaserede),
- fluorescens.

Hver metode har naturligvis sine fordele og ulemper. Princippet i det optimerede mønster, som er vist i figur 4.4, kan ikke nødvendigvis opnås. De forskellige monitoreringsteknikker afviger i deres potentiale for at dosere den rigtige mængde. Variationer i doseringen, som ikke hænger sammen med fluktuationer i kølesystemets krav, bør imidlertid undgås så vidt som muligt. Det kan føre til en under- eller overdosering af kemikalier.

Variation i doseringen kan ske af flere grunde:

- operatøren kan være utilstrækkeligt involveret,
- udstyret har lav pålidelighed,
- indirekte måling af kemikalieniveauet,
- måling af forkert variabel,
- tidsrummet mellem analyse og justering er for stort,
- repeterbarheden af analysemetoden kan være lav,
- variationer i kølebelastning og spædevandskvalitet er ikke fulgt nøje.

Erfaringen viser klart, at de mest præcise monitorings- og doseringssystemer måler koncentrationerne af kemikalier i kølevandet direkte og har en reduceret

tid mellem analyse og justering af dosering. Monitoringsystemer bør kunne følge ændringer i kølebelastningen og variationer i spædevandskvaliteten (Bilag XI i BREF-dokumentet).

4.4.6.5 *Monitering af biofouling*

Moniteringen af biofouling er baseret på monitering af den mikrobiologiske aktivitet i kølesystemet, såvel som de aktuelle mikrobiocidiske behandlingsniveauer. Nøglen til at måle effektiviteten af ethvert biocidprogram er evnen til at måle den mikrobiologiske aktivitet i kølesystemet hurtigt og præcist.

For at opnå et godt doseringssystem er følgende strategi for systemer med ét gennemløb blevet foreslået:

- lav en problemanalyse af den/de organisme(r), der skal fokuseres på,
- karakteriser sæsonmæssige forskelle i forekomsten (f.eks. muslingers formeringstid),
- tag vandtemperaturen og vandkvaliteten (fersk/salt) i betragtning,
- vælg et doseringsprogram (f.eks. lokalt pr. afsnit: kontinuerligt eller periodisk),
- bestem hvilke doseringsenheder, som vil reducere forbruget, specielt hvis de er koblet til et monitoringsystem,
- bestem hvilket monitoringsprogram, der ønskes anvendt - muslingedetektionsbeholder (bestem formeringstid) eller muslinge/østersmonitering (koncentrationsdetektion).

En lignende strategi kunne gælde for åbne recirkulerende våde systemer. Imidlertid dækker doseringsprogrammet for tilsætningsstoffer anvendt i køletårne også inhibitorer, hvilket yderligere øger kompleksiteten af behandlingen. En yderligere faktor er effekten af drift med et øget antal koncentrationscykler, hvilket på den ene side sparer på vandet, men på den anden side øger muligheden for kalkdannelse og korrosion og dermed yderligere behovet for specifikke tilsætningsstoffer. I denne situation kan mindre korrosionsfølsomme materialer være det klare valg i designfasen af nye installationer. De kunne reducere behovet for inhibitorer (se 4.4.3.2), hvilket vil muliggøre drift uden tilsætning af komplekse stoffer og samtidig spare omkostninger.

Det er vigtigt for både nye og eksisterende kølesystemer at fastlægge årsagen til biofouling (f.eks. lækage) og at karakterisere organismerne først, inden man beslutter yderligere vedrørende biocidet.

For systemer med ét gennemløb er makrofouling meget vigtig. En forudsætning for behandling med biocider er monitering af makrofouling. Dette er væsentligt for at etablere den minimalt krævede biociddosis og for biocidoptimering, da det vil give information om lejring og vækst af makrofouling organismer og om effektiviteten af biofoulingsskontrolprogrammet.

Et endnu mere målrettet doseringssystem er pulsalternerende klorering som tager variationen i opholdstider i forskellige dele af processen i betragtning. På forskellige tidspunkter og på forskellige steder doseres de krævede niveauer af klor i overensstemmelse med kølevandsflowets variation på de forskellige processtrin. Ved slutningen af processen og inden udledningen af kølevandet sker der en fortynding af flowet ved blanding af de forskellige processtrømme. Hvor kun en af delstrømmene er kloreret og den anden ikke er, kan TRO yderligere reduceres, og emissionsniveauer på $<0,1$ mg/l er opnåelige (se Bilag XI i BREF-dokumentet).

For åbne recirkulerende systemer er mikrofouling meget vigtigere end makro-fouling. Da mængden af vand brugt til spædevand er meget mindre, kan både forbehandling af vand og delstrømsfiltrering af en del af det cirkulerende vand forebygge medrivning af mikroorganismer. I tilfælde af chokdosering af biocider har recirkulerende systemer den fordel, at systemet kan lukkes midlertidigt, hvilket gør det muligt for biocidet at virke og derved fører til en reduktion i koncentrationen inden afdræning. Derudover er monitoring af kontrolprogrammet for biofouling en forudsætning for optimeringen af biocidforbruget i recirkulerende systemer.

4.5 Brugen af køleluft og luftemissioner

4.5.1 Luftkrav

Brug af luft som en ressource har ingen direkte konsekvens for miljøet og anses ikke som reelt forbrug. Luft bruges i alle systemer bortset fra systemer med ét gennemløb. I mekaniske køletårne er luftkravet relateret til den energi, der kræves til blæserdrift.

Tabel 4.4 Gennemsnitlige krav til luftstrøm til forskellige kølesystemer

Kølesystem	Luftstrøm (%)
Ét gennemløb	0
Åbent vådkøletårn	25
Åben våd/tør (hybrid) køling	38
Køletårn med lukket kredsløb	38
Våd/tør køling med lukket kredsløb,	60
Tør luftkøling med lukket kredsløb,	100

Jo højere den krævede mængde af luft er, jo højere blæserkapacitet og følgelig energiforbrug og støjemissioner. I tabel 4.4 er luftstrømskravene sammenlignet for de forskellige kølesystemer. Luftstrømmen hænger stærkt sammen med forholdet mellem sensibel og latent varmeveksling (Bilag I i BREF-dokumentet). Tør køling kræver mere luft end våd køling.

Sommetider fungerer våde køletårne som luftrensere, som vasker flere forurenende stoffer ud af luften. Dette kan påvirke kølevandsbehandlingen og potentielt kølesystemets drift, men der findes ingen data til belysning af dette.

4.5.2 Direkte og indirekte emissioner

Emissioner til luft, som skyldes driften af industrielle kølesystemer, kan være direkte eller indirekte. Indirekte emissioner sker på produktionsprocesniveau på grund af ineffektiv køling. Dette skyldes, at ineffektiv køling kræver et højere ressourceinput (såsom energi) for at kompensere for produkt- eller ydelsestab.

Betydningen af direkte luftemissioner fra våde køletårne er især relevant i direkte nærhed af byområder. I sammenligning med luftemissioner fra den industrielle proces, der skal køles, anses de for at være relativt små. Problemer, der kan opstå under drift, er:

- dråber kan indeholde vandbehandlingskemikalier,
- bakterier (legionærsyge) kan udvikle sig i tilfælde af ukorrekt biocid-behandling og manglende køletårnsvedligeholdelse (Se afsnit 4.7.3).

Åbne og lukkede recirkulerende, våde og våde/tørre køletårne kan medføre emissioner, som skyldes medrivning og fordampning, hvilket redegør for tab af vandbehandlingskemikalier og især af biocider. Det er kendt, at fordampning (også kaldet flash-off) af kemikalier stiger med temperaturen, men den mekanisme, der fører til emissioner, er kompleks med mange faktorer involveret. Kvantificering er derfor svær, og der findes ingen emissionsdata.

Dråbeeliminatorer anses for at være et vigtigt reduktionstiltag. Alle våde køletårne er i dag udstyret med dråbeeliminatorer, men en lille procentdel af den cirkulerede vandstrøm kan stadig udstødes som vanddråber. Disse dråber, som indeholder opløste partikler og kemiske tilsætningsstoffer, falder ud af afkastets luftstrøm i vindens retning fra køletårnet og kan forårsage farvning eller kalkudfældninger på bygningsoverflader.

Kvaliteten og kvantiteten af direkte luftemissioner fra køletårne vil være specifik i hver situation, afhængig af de additiver, der er brugt til kølevandsbehandling, deres koncentration i det cirkulerende vand og effektiviteten af dråbeeliminatorer. De standard-dråbeeliminatorer, der i dag bruges i våde køletårne, gør det muligt at begrænse vandtab ved medrivning til 0,01% eller endnu mindre af den totale strømhastighed. Man har forsøgt at vurdere køletårnsemissioner ved brug af en simplificeret model. Fra de fremkomne data blev det konkluderet, at emissionskoncentrationerne er lave ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), men at de ikke må negligeres, og at design og positionering af køletårnsafkast er vigtige for at undgå indtag med luftkonditioneringssystemer eller andre køleinstallationer.

Der eksisterer p.t. ingen standardiseret metode til at beregne medrivningstab (og evt. miljøkontaminering) for givne køletårnskonfigurationer. To forsøgsmetoder eksisterer til at verificere tab af strømningshastighed af givne konfigurationer (ikke trykt):

- den isokinetiske metode (IK-metode), og
- sensibiliseret overfladestrømningshastighedsmåling (SS-metode)

Begge metoder har deres fordele og ulemper. (Se BREF-dokumentet afsnit 3.5.2).

Restemissioner af asbestpartikler udgør en risiko under nedlæggelse af gamle køletårne, i hvilke der er brugt asbestcementprodukter. Da brugen af asbest og asbestholdige produkter har været forbudt i Danmark i en årrække er der ikke brugt asbest i nye eller forholdsvis nye køletårne. Asbest kan stadig findes i køletårne, der er ca. 20 år gamle og ældre.

Reduktion af luftemissioner fra køletårne er ikke beskrevet i BREF-dokumentet. I lyset af oprindelsen af den potentielle forurening og måden, den spredes på, kan følgende konkluderes:

- reduktion af luftemissioner fra køletårne hænger tæt sammen med integrerede tiltag til at reducere vandforbrug, især anvendelse af dråbeeliminatorer,
- reduktion af luftemissioner hænger tæt sammen med reduktion i behovet for kølevandsbehandling, og
- reduktion af luftemissioner fra køletårne hænger tæt sammen med optimering af kølevandsbehandlingen (optimering af systemdrift).

4.5.3 Køletårnsdampfaner

Dampfanedannelse kan forekomme i åbne eller lukkede, våde køletårne, når luft med et højt fugtighedsindhold forlader køletårnet, blander sig med atmosfæren og begynder at afkøles. Under denne proces kondenseres noget af den overskudsvanddamp, som er blevet absorberet, ud igen. Selv om dette er næsten 100% vanddamp, kan generne være betydelige i forbindelse med store tårne. Facon og omfang af den visuelle dampfane påvirkes af temperaturen, af den relative fugtighed i atmosfæren og af vinden. Jo koldere og fugtigere atmosfære, jo mere stabil og mere vedholdende vil dampfanen være. Det kan derfor anses for at være et potentielt problem hovedsagelig om vinteren.

Dampfanebekæmpelse er et teknologisk integreret tiltag, som ændrer konfigurationen af kølesystemet. Dampfanedannelse kan forebygges ved at tørre den våde afkastluft, inden den udledes, og ved at blande med varm, tør luft. Åbne, hybride (eller våd/tørre) køletårne og lukkede våde/tørre køletårne (eller efterkølere) er designet specielt til at forebygge dampfanedannelse.

Afhængigt af klimatiske forhold og de krav, processen stiller, kan tårnet drives tørt. For nordeuropæiske klimatiske forhold er der kun behov for, at 20% af den totale varmebelastning overføres til den tørre sektion, for at køletårnet kan drives uden en synlig dampfane under næsten alle vejrforhold. Under bestemte forhold, såsom ved meget lave omgivende temperaturer og lav termisk belastning, kan tårnet drives helt tørt.

4.6 Støjmissioner

4.6.1 Kilder til støj og støjniveauer

Støjmissioner fra en virksomhed stammer ofte fra en række støjgenererende kilder, og ved udarbejdelse af en miljøgodkendelse skal støjen fra kølesystemer vurderes som en integreret del af støjen fra hele virksomheden. Virksomheden bør derfor vurdere støj fra kølesystemer og investeringen i potentielle støj-dæmpningstiltag som en del af den totale støjmission fra virksomheden.

Tre hovedstøjklender ved kølesystemer er:

- ventilatorenheder (ventilator, remme og remskiver) - alle mekaniske køletårne,
- pumper - alle systemer med kølevand,
- dråber, som falder på kølevandsbassin/vand som kastes rundt inde i tårnet - kun våde køletårne.

Emissionen kan være direkte eller indirekte. Direkte emission af lyden sker igennem:

- luftindtag,
- luftafkast.

Indirekte emission af lyden sker igennem:

- blæsemotorer,
- blæser afkasthætter og køletårnsbeklædning (ved betonkonstruktioner er der intet betydeligt bidrag).

Støj fra tørre, luftkølede tårne påvirkes hovedsageligt af det mekaniske udstyr, der anvendes, og måden det drives på. I tilfælde, hvor dæmpning har resulteret i et meget lavt lydeffektniveau for udstyret, kan støj fra varmevekslere eller kondenseringsrør og rørledninger blive fremherskende.

I våde køletårne er støj kun et resultat af faldende dråber og mekanisk udstyr. Generelt dominerer udæmpet støj fra blæsere i sammenligning med støj fra vanddråber. Støjen fra det våde køletårn er uafhængig af tårnets størrelse. Når den luftrelaterede støj er reduceret ved dæmpningstiltag, kan vandrelateret støj blive dominerende, og vandstøjdæmpning kan overvejes.

Den mest relevante faktor for mekaniske køletårne er det mekaniske udstyr, der anvendes (ventilatorer, gear osv.). Den maksimale blæserhastighed (25 - 60 m/s) har en væsentlig indflydelse på det totale støjniveau. Typen af blæser, der anvendes (centrifugal eller aksial), samt antallet og typer af rotorblade er også vigtig. Brugen af gearkasser kan ligeledes have en negativ indflydelse på støjniveauet (ved samme vandstrøm og blæserhastighed), hvis blæser-

hastigheden er reduceret (f.eks. natdrift), og lyden fra gearkassen bliver mere dominerende.

I tårne med ventilatorer placeret på indtagssiden vil blæsernes bidrag til lydeffektniveauet ved luftafkastet på medium eller store køletårne generelt være mindre end bidraget fra en blæser på et induced draught tårn med blæsere ved afkastet. Denne forskel kan være op til 5 dB(A).

Støjmissioner afhænger også af konstruktionen af køletårnet. Støj fra beton-tårne udsendes udelukkende gennem luftindtag og luftudtag. For køletårne lavet af forskellige lettere materialer er det nødvendigt at tage emissionen fra kabinettet i betragtning. Derudover påvirker også modstrøms- eller krydsstrømsdesign lydudsendelsen fra et vådt køletårn, hvor modstrømsdesign er rapporteret at have mere plaskestøj end krydsstrømsdesign.

Lydeffektniveauet for forskellige køletårne viser stor variation, og hver enkelt kilde vil bidrage til totalemissionen. Dette er illustreret ved eksempler i tabel 4.5, som viser værdier for forskellige kølesystemer brugt i et raffinaderi.

Støjniveauet fra faldende vand i et vådt køletårn afhænger af vandets faldhøjde. Lavere faldhøjde i induced draught våde køletårne resulterer i et ca. 1 dB (A) lavere lydeffektniveau ved luftindtaget og i et såkaldt induced draught køletårn med flercelleindsats, 3 dB (A) lavere.

Tabel 4.5 Eksempler på kapacitet og tilsvarende ikke-dæmpet lydeffektniveau fra køleudstyr i et større raffinaderi:

Udstyr	Kapacitet ¹⁾	L _w i dB(A)
Kompressorer	490/2000 kW	108/119
Pumper	25/100/1300 kW	94/98/108
Dampturbiner	1000/2000 kW	106/108
Luftkølere	7/20/60 kW	89/93/98
Luftkøler/kondensator	170 kW	102
Luftkøler/kondensator	2,7 MW _{køl}	97
Luftkøler	14,7 MW _{køl} /18,8 kW _{el}	105
Luftkøler	1,5 MW _{køl} /7,5 kW _{el}	90
Køletårne	300 MW _{køl}	106
Køletårne	2000 m ³ /time	105
Note:		
1. Henviser til kapacitet af roterende del, motor, etc., dvs. ikke kølekapacitet.		

Tabel 4.6 Sammenligning af ikke-dæmpede lydeffektniveauer ved luftindtag og luftudtag målt ved forskellige typer af våde køletårne af konventionel konstruktion.

Våd køletårns-konstruktion	Ved luftindtag i dB(A)	Ved luftudblæsning (spredeåbning) i dB(A)
Åbent vådkøletårn	86 ± 3	80 ± 3
Åbent vådkøletårn (celletype, ventilator på indtagssiden)	88 ± 3	85 ± 3
Åbent vådkøletårn (celletype, ventilator på afkastside)	85 ± 3	88 ± 3

Til brug for sammenligning af de totale lydeffektniveauer fra forskellige typer af kølesystemer angiver tabel 4.7 de totale støjniveauer for forskellige typer kølesystemer uden støjdemning. Fra de ovennævnte variationer i niveauer kan det udledes, at intervallet spænder vidt, afhængigt af det anvendte design og udstyr.

Tabel 4.7 Støjmissioner fra forskellige kølesystemer uden støjdemning:

Kølesystem	Støjudsendelse
Køletårn med mekanisk træk	80-120
Køletårn med lukket system	80-120
Hybrid køling	80-120
Tør luftkøling	90-130

4.6.2 Støjbekæmpelse

Støjbekæmpelse bør være fokuseret på såkaldte primære tiltag, der er rettet mod ændring af selve støjildens udformning eller drift, inden man overvejer sekundære tiltag såsom støjskærme eller store barrierer.

Hvis yderligere støjreduktion er påkrævet, kan supplerende dæmpning overvejes. Støjdemning bør fretages under overvejelse af effekterne af bekæmpelsestiltagene, såsom tryktab (mere energi krævet) og andre kilder, der bliver mere dominerende. Bidraget til lydmissionsniveauet af individuelt udstyr skal ses som en del af det samlede støjmønster. Dette betyder, at nærliggende bygninger, udbredelse og efterklang blandt mange andre faktorer også skal tages i betragtning.

4.6.2.1 *Støjkontrol af faldende vand (våde køletårne)*

Følgende tiltag er foreslået og kan anvendes på medium - store mekaniske køletårne.

Primære tiltag

Følgende teknikker er blevet identificeret som primære tiltag:

- Ved at sænke niveauet af vandoverfladen ved hurtigere dræning af bassinet, kan bassinvæggen anvendes som lydbarriere,
- Ved at reducere faldhøjden af vandet er det muligt at minimere profilarealet af luftindtag, som er begrænset,
- Det er muligt at begrænse dråbernes nedslag i bassinet ved udstyr, som fanger dråberne og dræner dem til bassinet (nedslagsafleder). Effekt: 7 dB maximalt,
- Vandopsamlingsrender under køletårnsindsatsen har også en aflednings-effekt: 10 dB som maksimum. Ulempen ved opsamling er følsomhed overfor tilsmudsning af overfladerne på opsamlingsudstyr, hvilket potentielt kan forurene vandet.

Sekundære tiltag

Sekundære tiltag, som kan anvendes, er:

- lyddæmpning med støjskærme ved luftindtag: 20 dB maximal reduktion. Ulempen kan være et luftryktab på op til 10 pa. Tryktab kan kræve 20% af den installerede blæserkapacitet,
- Jordbarrierer omkring tårnets underdel: en dæmpningseffekt på 10 dB,
- Støjskærm med lydabsorberende lag yder en lyddæmpning på 20 dB. For disse konstruktioner afhænger effektiviteten af konstruktionen og af afstanden til tårnet.

Tørre køletårne

Støj fra tørre køletårne forårsages hovedsageligt af blæsere, men for medium - store tørre køletårne kan støjen fra vandet blive dominerende, når det strømmer igennem varmevekslere ved høj hastighed. I tilfælde af kondensatorer kan lyden blive tydelig, når der bruges støjdæmpende udstyr, og rørstøjen fra kondensatorrør kan nå samme størrelsesorden som blæserstøj. I disse tilfælde kan yderligere lyddæmpning blive vigtig, og isolering af forbindelsesrør skal overvejes.

4.6.2.2 Omkostninger ved støjreduktion

Omkostninger i forbindelse med dæmpningstiltag vil variere meget, afhængigt af typen af tiltag, og om det er en del af designet af en ny køleinstallation eller af et tiltag gennemført under efterfølgende montering af installationen. For en ny installation af et hybridtårn udgjorde de totale omkostninger ved støjdæmpningstiltag (blæser, bafler) ca. 20% af den totale investering.

Et rapporteret omkostningseksempel viser, at omkostningerne kan stige med stigende støjreduktion. For en aksial blæser kan forskellige design anvendes uden at reducere luftydelse og -strøm/blæsereffektivitet. I tilfælde af meget

lavtstøjende blæsere kræves der yderligere tiltag i forbindelse med transmissionen med ekstra omkostninger til følge.

Omkostninger relateret til primære tiltag såsom lavtstøjende blæsere kan samtidigt lede til betydeligt lavere driftsomkostninger på grund af lavere energiforbrug. Det kan derfor ikke utvetydigt konkluderes, at lydreduktionsniveauet ikke vil være omkostningseffektivt.

4.7 Risikoaspekter associeret med industrielle kølesystemer

4.7.1 Risiko for lækage

Kølesystemer, som bruger andre kølemidler end vand, er ikke omfattet af dette dokument, og orienteringen kommer ikke ind på risikoen fra emissioner fra disse.

Lækage kan ske både i vand- og luftkølesystemer, men oftest er lækage et problem i vandkølede systemer. Især i systemer med ét gennemløb vil en lækage påvirke det akvatiske miljø med det samme via kølevandet. I åbne og lukkede kredsløb og i våde og våde/tørre systemer vil dette ikke ske med det samme, men lækagen vil forurene kølemidlet, og kølemidlets kemi vil forstyrres, hvilket får konsekvenser for varmevekslingsprocessen. Denne effekt af lækagepåvirkning af oxiderende og ikke-oxiderende biocider er blevet klart illustreret. Herudover vil processtoffer fra lækagen udledes med afdræningen.

I direkte luftkølesystemer kan en lækage medføre forurening af køleluft, men generelt anses lækager ikke som et miljøproblem i forbindelse med tør luftkøling.

Varmevekslere bliver udsat for korrosion, erosion og andre former for slitage. Faktorer såsom valg af materialer, væskehastigheder, vægtemperaturer og trykniveauer påvirker dette. Som følge heraf kan der ske lækage af procesvæske og forurening af kølemiddel eller forurening/forstyrrelse af processen. Kølertypen kan også have indflydelse på risikoen for lækage. I praksis kan en operation, som ikke er som tilsigtet i designet, medføre vibrationer og resultere i lækage. Lækage bliver et relevant problem, når flowet, som skal køles, indeholder komponenter, der er skadelige for miljøet. Lækage fra kondensatorer på kraftværker eller kondensatorer på fordampningsanlæg anses ikke for at være et problem fra en vandkvalitetsmæssig synsvinkel, men mere fra en proces teknisk synsvinkel. På kraftværker betyder lækage et tab i vakuum i kondensatoren, hvilket vil medføre tab af ydeevne i den kraftgenerende proces.

Produkttab ved lækage i varmevekslere kan være vigtigt, når der i et korrosivt miljø (såsom saltvand) bruges relativt let korroderbart materiale (såsom kobberkondensatorer). Kobber anvendes ofte for at reducere risikoen for fouling, men i praksis er fouling også fundet i kobberkondensatorer. Kobberemissioner er uønskelige og kan forebygges med bedre materialer såsom titanium og rustfrit stål eller ved at tilføje antikorrosionsforbindelser.

Lækage tilskrives nogle gange, at kølere "sveder". Dette henviser til tilstedeværelsen af små hårfine revner eller lækager i pakningsmateriale.

De meste typiske fejl i varmevekslere, som er rapporteret fra aktuel praksis, er forårsaget af:

- korrosion som skyldes biologisk fouling, kemikalier, bakterier,
- korrosion/ erosion som skyldes punktkorrosion,
- mekanisk erosion (som skyldes revner eller vibrerende muslinger),
- vibrationer (forårsaget af flow eller resonans af eksterne pumper osv.),
- lækage, defekt pakningsmateriel,
- lækager i valsede rør-pladeforbindelser,
- løsgjorte rør-plade monteringer,
- overbelastning af materiale som skyldes ukorrekt driftstryk og/ eller temperatur,
- for høj temperatur i kølere; over 50 °C kan skabe problemer.

I systemer med ét gennemløb, som bruger store volumener, er mindre lækager svære at få øje på. I kølesystemer, som indeholder flere varmevekslere, kan der altid være et antal defekte varmevekslere, som skaber et mere eller mindre konstant forureningsniveau i kølevandet. Dette er lavt og næsten ikke påviseligt i den store vandstrøm. Højere lækageniveauer kan detekteres, men generelt betyder dette også en betydelig og væsentlig emission. I recirkulerende systemer med køletårn fjernes mulige flygtige forbindelser og lækage udledes i afdræningen. I dette tilfælde er påvisning nemmere på grund af den mindre volumen udledningsstrøm, og afdræning kan behandles om nødvendigt.

4.7.1.1 Reduktion af lækage

Varmevekslere bør designes på en sådan måde, at lækage undgås. Vedligeholdelsesmetoder bør omfatte en kombination af præventiv og korrektiv vedligeholdelse, idet præventiv vedligeholdelse alene har vist sig ikke at kunne kontrollere problemerne. Præventiv vedligeholdelse er ofte en del af et produktionsstop, som foretages en gang hver andet år. Ved korrektiv vedligeholdelse slukkes en køler, og lækagen repareres for eksempel ved at lukke et rør med lækage eller ved at udskifte et rørbundt. For varmevekslere, som ikke kan slukkes af produktionstekniske årsager, er det vigtigt, at en reservekøler er tilgængelig. Det bliver mere og mere klart, at driftssvigt og lækage primært er forårsaget af fejl i designet. I procesindustrien bliver ekstra omkostninger forbundet med dyrere konstruktion eller bedre materiale typisk afvejet af omkostninger forbundet med driftssvigt. Investeringsomkostninger er lave sammenlignet med omkostninger medført af et produktionstab. Varmevekslere bør derfor designes på basis af prognoser for opnåelig driftstid.

Følgende generelle tiltag kan anvendes til at reducere forekomst af lækage:

- udvælge materiale for udstyr til våde kølesystemer i forhold til den anvendte vandkvalitet,
- operere systemet ifølge dets design,
- hvis der er behov for kølevandsbehandling udvælge det rigtige kølevandsbehandlingsprogram,
- monitorere lækage i kølevandsudledning i recirkulerende våde kølesystemer (afdræning).

Hvis der opstår problemer i praksis, er der et antal muligheder, som er delvis afhængige af årsagen:

På komponentniveau (varmeveksler):

- undersøge årsager til erosion, korrosion,
- holde driftsforhold op mod designforhold,
- erstatte køleren med en forbedret type, undersøge konstruktion og materiale,
- dræning af forurenede flowmængder ved lækage til rensning (rensning af pågældende del-strøm),
- recirkulering af køling af vandstrøm i den pågældende køler, enten over en luftkøler og/eller indirekte vandkøling (denne mulighed løser naturligvis ikke produktionssvigt som resulterer fra driftssvigt i køleren).

På systemniveau (hele kølevandsystemet eller dele af dette):

- opretholde en så lille trykforskel som muligt mellem kølevand og procesvand eller skabe eller vedligeholde overtryk i kølevand,
- konvertere til et indirekte system eller, hvis det er teknisk muligt, konvertere til et recirkulerende system med køletårn (som tager højde for potentiel fordampning af stoffer).

Det er klart, at anvendelsen af et indirekte komplet system eller et recirkulerende system med køletårn kan kontrollere lækage næsten 100%. Kun hvis systemtrykket falder, kan forurenede vand frigives, men denne strøm er lille og kontrollerbar. Anvendelsen af begge muligheder kræver imidlertid opmærksomhed i forhold til kravet fra processen, der skal køles. Indirekte design eller anvendelse af et køletårn vil øge approach-temperaturen og hæve processtoffets minimumssluttemperatur. Hvis den proces, der skal køles, kan tolerere dette, kan processtoffernes karakteristika retfærdiggøre et indirekte design for at beskytte recipienten mod uønsket emission som følge af lækage.

Nogle virksomheder anvender bevidst et kølesystem, som er forsynet med indirekte køling i de dele, hvor der er risiko for lækage, men ikke i de dele hvor

der ikke er en risiko for lækage. Idet kontrollen af lækagen viser sig at være svær for stoffer, som prioriteres til køling, eller andre miljøfarlige stoffer, bør systemer med ét gennemløb helst ikke anvendes, specielt i lyset af de foreliggende alternativer.

For et eksisterende kølesystem er indirekte design generelt hverken teknisk eller økonomisk den mest anvendelige løsning. Praktisk erfaring med anvendelse af et solidt vedligeholdelses- og kontrolprogram til et stort kølesystem med ét gennemløb med saltvand har givet gode resultater. Nogle kølekrav var nødvendige, men 90% af driftssvigt i de forskellige varmevekslere kan reduceres ved korrekt behandling mod tilsmudsning og driftsomhu (vibrationsmonitoring, pumpehåndtering og omhu ved flowbegrænsninger). Lækagedetektering anvendes, og ved detektering de rigtige steder kan tiden mellem varmeveksler lækage og detektering gøres kortere.

Detektering af lækage i systemer med ét gennemløb er svær, men et anbefalet udgangspunkt er identifikation af varmevekslere, som har tendens til lækage og som køler skadelige stoffer. Mere selektive og præcise målinger af lækagen vil derefter være mulige. Præventiv og korrektiv vedligeholdelse er begge vigtige for at overvinde lækageproblemer, men generelt er korrekt design mest omkostningseffektiv.

4.7.1.2 Reduktion ved forebyggende vedligeholdelse

Visuel inspektion, hydrostatisk afprøvning og yderligere undersøgelser af udtrukne rør er eksempler på tidligere inspektionsmetoder. Disse metoders begrænsninger var, at inspektion koncentrerede sig om de direkte synlige dele af rørene. Snavs skjuler ofte de tidlige stadier af defekter, og ensartet korrosion er svært at se med det blotte øje. Hydroafprøvning detekterer kun rør med lækage. Spørgsmålet er hvordan man udvælger et repræsentativt rør til yderligere undersøgelse. Som en konsekvens kunne de tidligere inspektionsmetoder som beskrevet ovenfor ikke forebygge mod miljøforurening, som skyldtes uventet lækage, driftsstop, reduktion i kapacitet og/eller tilstedeværelse af produkter, som lå uden for specifikationerne. På den anden side skulle et stort antal rør ligge på lager i tilfælde af uventet udskiftning af rør.

Erfaringer med en ny type undersøgelser af varmeveksler-rør (ved hvirvelstrømundersøgelser) har vist, at varmeveksler-rørs pålidelighed kan øges væsentligt, og at emissioner, som skyldes lækage, kan reduceres. Da denne metode kan bruges til at afprøve et enkelt rør og give en prognose for fejl i et enkelt rør, vil inspektionsfrekvens være baseret på fakta. Følgelig kan inspektionsmetoder, som kan forudse risikoen for fejl af individuelle rør i en varmeveksler, føre til reduktion i rørforbrug, bedre lagerstyring og viden om korrosionsadfærd på de tidlige stadier. Dette vil føre til en reduktion i uventede driftsstop på grund af rørlækage og dermed en miljøfordel i form af en reduktion i emissioner via kølevand.

Anvendelsen af denne metode på kemiske anlæg har resulteret i en reduktion på mere end 90% af rørudskiftning, siden metoden blev introduceret i 1990. Den har også resulteret i en reduktion i årlige omkostninger. De gennemsnitlige årlige besparelser, som skyldes reduktion i antallet af rør som skulle udskiftes, er ca. 5 gange så høj som inspektionsomkostningerne. Antallet af uventede

procesdriftsstop, som skyldes rørlækage, er blevet reduceret med 90% over de sidste 10 år.

4.7.2 Opbevaring og håndtering af kemikalier

Oplagring og håndtering af kemikalier er potentielt et miljøproblem for våde kølesystemer. Dosering af tilsætningsstoffer til kølesystemet kan være kontinuert eller diskontinuerlig, og kemikalierne kan fodres opløst eller ublandet. Kemikaliets mængde og karakteristika varierer enormt og afhænger af en række af faktorer (f.eks. vandkemi og varmevekslingsmateriale); risikoen som skyldes oplagring og håndtering vil variere derefter.

Koncentreret svovlsyre bruges for eksempel til pH-kontrol og oplagres typisk i lette ståltanke. Det anbefales at bruge snavssamlere på tryksiden af syrepumper for at fjerne rester af korrosionsprodukter eller andre faste stoffer, som kan være til stede i oplagringstanken.

Additiver kan tilføres af operatøren manuelt eller ved hjælp af sofistikerede computerkontrollerede systemer eller kan outsources til specialiserede firmaer, typisk til leverandøren af tilsætningsstoffer. Manuel tilførsel indebærer en højere risiko for spild, og af miljømæssige og sundhedsmæssige årsager bør sikre håndteringsprocedurer anvendes. Automatiserede systemer risikerer at blive negligeret, men kræver regelmæssigt inspektion.

BAT-tiltag for oplagring af farlige stoffer er beskrevet i et særskilt BREF-dokument vedrørende emissioner fra oplagring.

4.7.3 Mikrobiologisk risiko

Forekomst af mikrober

Mikrobiologiske risici forbundet med kølesystemer relaterer sig til forekomst af forskellige arter af patogener i kølevand eller i de dele af systemet, som er i kontakt med kølevand, såsom biofilm i varmevekslere og indsats i køletårne. Disse risici er ikke et problem i tørre kølesystemer.

De væsentlige termofile patogener, som findes i våde kølesystemer, der anvender flodvand, er bakterien *Legionella pneumophila (Lp)* og amøben *Nagleria fowleri (Nf)*. I havvand kan nogle *halophilic vibrios* arter, som er patogener for fisk og mennesker, udvikle sig i kølesystemer med ét gennemløb. De nævnte arter findes i naturen, generelt i små og skadefri koncentrationer. På grund af den høvede temperatur kan der i kølesystemer være et favorabelt klima, der øger udviklingen af disse bakterier, som kan udgøre en helbredsrisiko. Udviklingen af *Legionella* er forøget ved fouling, tilstedeværelse af amøber, ciliater og alger og spredes gennem aerosoler. Efter et antal større udbrud er der forsket omfattende i forekomst og karakteristika af legionærsyge (LD) og udvikling af Lp fra en medicinsk/biologisk synsvinkel. Men mange punkter, som relaterer sig til kemisk- og proces teknologi, er stadig uklare.

Fremkomst af Lp i røgfanen fra industrielle mekaniske træk køletårne er blevet rapporteret i flere omgange, men en klar årsag og effektrelation mellem køletårne og et LD udbrud kunne ikke etableres. Hvor en relation mellem kølesy-

stemer og et udbrud af LD kunne påvises, var det altid i forbindelse med dårligt vedligeholdte systemer.

Typiske forhold i våde køletårne, som understøtter udviklingen af *Legionella*, er:

- vandtemperatur i køletårn mellem 25 og 50 °C,
- pH mellem 6 og 8,
- tilstedeværelse af fouling.

Der er fundet mindre information om forekomst og behandling af andre patogener såsom *Nf*. Det er iagttaget, at udvikling af *Nf* er hæmmet af messing og understøttet ved rustfrit stål. Amøber er også mere udbredte i åbne recirkulerende kølesystemer end i systemer med ét gennemløb. Forskning blev udført om behandling af *Nf* efter stigende niveauer kølevand (3000 l⁻¹) i anlæg efter erstatning af kondensatorer i et fransk kraftværk. Kontinuerlig klorering med et maksimalt frit resterende klorniveau i intervallet 0,3 - 0,5 mg/l reducerede koncentrationer af *Nf* med det samme, og niveauer blev under 4 patogener/l.

Måling af bakterier

Lp-bakterier måles i "kolonidannede enheder" eller CFU (Colony Forming Units) pr. liter og er rapporteret til at variere i koncentration i køletårne fra meget lavt (ned til 10 CFU/l) til meget højt (10⁵-10⁶ CFU/l). I biofilm er *Lp* fundet i koncentrationer op til 10⁶ CFU/cm².

En standardiseret tilgang til måling af *Lp*-bakterier findes i DS 329:2001.

Teknikker til at reducere mikrobiologiske risici

Hændelsesforløb der skaber et udbrud af *Legionella* involverer:

- udvikling af en virulent stamme af bakterier i kølesystemet,
- forhold som understøtter reproduktion af bakterier,
- kontamineret vand udledt til atmosfæren som aerosoler,
- tilstrækkelige dråber inhaleret dybt af følsomme personer.

Forebyggelse af *Legionella* bør derfor være baseret på forebyggelse af udvikling og reproduktion af bakterier i kølesystemet.

Følgende tiltag bør anvendes til forebyggelse mod dannelse af *Lp*-bakterier (og andre) i køletårne:

- bruge rent vand og forbehandlet kølevand hvis muligt,
- undgå proceslækage i kølesystem,
- undgå stillestående zoner,

- forebygge dannelse ved reduktion af lysenergi i køletårne for at undgå algedannelse; åbne vandbassiner skal undgås,
- let adgang for regelmæssig rengøring bør muliggøres,
- bruge dråbeeliminatorer, som let kan rengøres eller udskiftes,
- holde koldt vandstemperaturen så lav som muligt (små approach-temperaturer),
- undgå kalkdannelse og korrosion,
- optimering af konstruktion for at understøtte korrekt vandhastighed og lufthastighed,
- det er umuligt at angive en minimalafstand, som et køletårn skal have fra befolkede områder, men der bør tages hensyn til at undgå, at dampfanen når jordniveau eller befolkede områder, hvis pladshensyn gør det muligt,
- minimering af dampfanedannelse kan begrænse spredning.

Miljøstyrelsen har opsummeret eksisterende viden og vejledning vedr. **Legionella** i en rapport fra 2004, (Miljøprojekt nr. 897, Miljøstyrelsen, 2004) hvor anbefalinger fra EWGLI¹² bl.a. er refereret. Disse omfatter brug af desinfektion (f.eks. kloring) enten kontinuert eller med så korte intervaller, at opformering af **Legionella** undgås (fx ugentlig kloring). Desuden nævnes vigtigheden af, at køletårne holdes i konstant drift. Såfremt dette ikke kan lade sig gøre, er det afgørende, at de desinficeres før brug. I rapporten henvises der endvidere til vejledende hyppigheder for prøvetagning såvel som reaktionsniveauer og forslag til aktioner for forskellige indhold af **Legionella** i vand fra køletårne.

Med hensyn til køletårnets beliggenhed er der blevet foreslået en klassificering af den mikrobiologiske risiko forbundet med et køletårn, baseret på værtbestanden og værtens potentielle følsomhed. Klassificeringskategorierne er:

- Kategori 1: Højeste risiko - køletårne som betjener eller ligger i nærheden af (<200 m) et sygehus, plejehjem eller andre facilitet inden for sundhedssektoren, hvor patienter kan have immunologiske handicaps,
- Kategori 2: Køletårne som betjener eller ligger i nærheden af (>200m) ældreboliger, hoteller eller andre bygninger som bebos af et stort antal mennesker,
- Kategori 3: Køletårne i et beboelses- eller industriområde,
- Kategori 4: Laveste risiko - køletårne isoleret fra beboelsesområde (>600 m fra et beboelsesområde).

¹² The European Working Group for Legionella Infections

Baseret på denne klassificering varierer tilstedeværelse af *Legionella* fra månedlig (højeste risiko), månedlig til kvartalsvis (Kat. 2), kvartalsvis til årligt (Kat. 3) til en gang om året efter sommer (Kat. 4).

Følgende tiltag anbefales til operatører af køletårne:

- omhu skal vises i tilfælde af processtop og opstart, specielt hvis kølecirkulationssystemer er nede i mere end 4 dage,
- operatører, der går ind i køletårne, bør undgå at inhalere luft og bør bruge mund- og næsebeskyttelse (P3-maske er påvist),
- hvis et kølesystem er rengjort, efter at *Lp* er blevet detekteret, bør rengøring bestå af en kombination af mekanisk rengøring og en chok-dosering af et biocid.

Der kan knyttes en række yderligere kommentarer til disse anbefalinger. Efter en længere nedlukning er det meget vigtigt at behandle kølesystemer med et biocid (klor). Hvis der er bevis på et tilsmudset eller kontamineret system, inklusiv tilbehør såsom lyddæmpning, skal det rengøres og udsættes for biocid chokbehandling inden opstart. En sådan behandling bør udføres af en kompetent vandbehandlingsvirksomhed. Der kan være behov for desinfektion af systemet, hvis det er kraftigt kontamineret.

Erfaringer har vist, at kemisk behandling hovedsagelig behandler bakterier i vandet. For at kontrollere og rengøre kølesystemet grundigere skal man være opmærksom på sedimenter og fouling af kølesystemets overflade; deraf vigtigheden af mekaniske rengøring.

Niveauet af fri klor på 50 mg/l nævnt i litteraturen er naturligvis et chokdoseringsniveau, som er blevet anvendt efter et udbrud af LD. På grund af den store mængde af hypoklorit er denne behandling naturligvis ikke passende som vedligeholdelsesniveau i et køletårn. Under alle omstændigheder vil afgiftning af det behandlede kølevand være nødvendig efter chokdosering inden udledning, og behandling med bisulfat er ofte blevet anvendt.

Et højt vedligeholdelsesniveau for at forebygge mod *Lp*-udvikling er så vidt muligt at foretrække. Generelt foretrækkes oxiderende biocider til at dræbe *Legionella* i vandet. Langsommere virkende stoffer er krævet for at angribe bakterier i biofilm. Dette vil derefter kræve behandling med ikke-oxiderende biocider. Af disse har kvaternære ammonium-forbindelser vist bedre resultater end isothiazolin.

En nyere hollandsk rapport viste, at et klart minimumskoncentrationsniveau af biocider endnu ikke er fastsat. Det blev konkluderet, at høje niveauer af biocid var krævet for at reducere CFU-niveauet, men der sås kun en midlertidig effekt. Bivirkningen af forhøjede niveauer af toksiske biprodukter må erkendes. Lavere vandtemperatur viste sig at være mere effektiv end anvendelsen af biocider, men dette er ikke nødvendigvis anvendeligt i alle tilfælde. Undersøgelser af effekten af behandling af protozoa afslører, at meget høje koncentrationer kræves for at dræbe protozoa og at cyster næsten ikke er følsomme overfor de anvendte ikke-oxiderende biocider.

4.8 Affald fra kølesystemdrift

Der er kun få oplysninger i BREF-dokumentet om affald eller rester fra kølesystemdrift. For alle kølesystemer kan nedtagning af dele eller hele systemet blive et problem på et eller andet tidspunkt. Renovering og udskiftning af dele af anlægget samt driftsmetoder resulterer i følgende affald, som skal bortskaffes:

- slam fra forbehandling af indtagsvand (f.eks. afkarbonisering), behandling af kølevand eller afdræning fra drift af recirkulerende våde køletårne (se Bilag XI 3.4 i BREF-dokumentet),
- farligt affald (f.eks. små beholdere, spild) forbundet med kemisk behandling af kølevand i våde kølesystemer samt asbestholdigt affald,
- spildevand fra rengøringsoperationer,
- affald fra renovering, reparation eller nedtagning af installationen.

4.8.1 Dannelse af slam og bortskaffelse

Slamdannelse kan ske i opsamlingsbassiner af våde kølesystemer. I kvantitative termer opstår der mere slam fra dekarboniseringsproces, hvis dette anvendes på anlægget. Der er ikke rapporteret særlige tiltag vedrørende reduktion af slamdannelse.

Slam og mudder, som bundfældes i vandbassiner i køletårne, kan indeholde sporer eller resistente former for patogene bakterier og protozoa (3.7.3.3). Patogene amøber og *Legionella pneumophila* er fundet i meget høje koncentrationer i slam samlet fra kondensatorrør under nedetid. Sporer af *Lp* er også fundet i kalklaget på indsatsen. Følgelig anbefales det, at den hygiejniske kvalitet af denne type rester undersøges inden bortskaffelse eller genanvendelse af indsatsen. Der kan være behov for særlig håndtering og genanvendelse af disse affaldstyper, hvis de udgør en væsentlig helbredsrisiko.

Alt slam skal bortskaffes efter anvisning fra virksomhedens beliggenhedskommune.

4.8.2 Rester fra kølevandsbehandling og rengøringsoperationer

Behandling af kølevand (specielt fra større systemer) foregår som oftest automatisk i dag, og i mange tilfælde bliver stofferne opbevaret i beholdere og tanke og tilsættes, oplagres, transporteres og håndteres af leverandøren.

Det samme gælder spildevand, som følge af rengøringsoperationer. Flere og flere specialiserede virksomheder bliver også her kontraheret til at udføre arbejdet.

Generering og bortskaffelse af denne type affald er imidlertid ikke typisk for industrielle kølesystemer. Hvor stort et miljøproblem det udgør er tæt relateret til måden kølesystemet drives på, hvordan indtagsvand behandles og virkeev-

nen af kølevandsbehandling. Der er ikke anført generel information om dette miljøproblem i BREF-dokumentet.

4.8.3 Rester fra eftermontering, udskiftning og nedtagning af installationen

Generelt er kølesystemer designet og bygget til en lang levetid (op til 20 år og mere). Jo bedre de opereres og vedligeholdes, jo længere er deres driftslevetid, men de bør også designes og bygges specielt til deres anvendelse. Specielle materialer bør også vurderes i relation til miljøpåvirkningen ved anvendelse, afvikling eller udskiftning af dele af kølesystemet. Følgende eksempler er rapporteret.

Brug af plast

Forskellige typer plast, såsom polyvinylchlorid, polypropylen, polyethylen og glasfiber, anvendes i stigende grad til konstruktion af køletårne. Deres karakteristika gør dem velegnede til anvendelse i det ofte korrosive, meget krævende miljø i et køletårn. Aktuelle eksempler er beskrevet i en teknisk forskrift af den tyske organisation for kraftværkoperatører. Brugen af plast kan muliggøre affaldsreduktion, hvis der er mulighed for genbrug efter erstatning af plastelementer. Der er ikke rapporteret erfaringer, som kan illustrere dette.

Behandling af træ brugt til konstruktion af våde køletårne

Træ er blevet brugt og bruges til køletårne, men skal behandles for at sikre en lang levetid. Træ, der anvendes i køletårne til både beklædning og bærende konstruktioner, kan behandles kemisk. Behandling var også i Danmark indtil for få år siden baseret på trykimprægnering med CCA (kobbersulfat, kaliumdikromat og arsenpentoxid) på grund af dets evne til at binde sig til træet. Det hævdes, at kun 10 vægt% af CCA udvaskes af træet i dets levetid.

Omfanget af emissioner fra CCA-behandlet træ i det akvatiske miljø kan ikke fastslås. Det er kendt, at behandlet træ stadig har betydelige mængder kemikalier på træoverfladen, selvom det har tid til at dræne. De kan vaskes af i det første vand skyl i køletårnet og vil før eller senere udledes til det modtagende vand.

Anvendelsen af CCA-baseret træimprægnering er ikke længere tilladt i Danmark, og i forbindelse med nedtagning og bortskaffelse af CCA-behandlede materialer skal disse håndteres som farligt affald og deponeres i specialdepot. Alternative behandlinger til beskyttelse af træet er allerede indført. Det forventes derfor, at emissioner til vand, som resulterer fra CCA, gradvis vil reduceres.

Indsats til våde køletårne

Så snart køletårnsindsatse skal udskiftes, skal disse bortskaffes. Indsats er lavet af forskellige materialer, som afgør måden, det skal behandles på. Ingen data om forureningsgraden af indsats er rapporteret.

Asbest er muligvis tidligere blevet brugt til forskellige formål som fx konstruktion af køletårne eller køletårnsindsatse. Idet faren ved brugen af asbest er indiskutabel, bruges det ikke længere i køletårne. I ældre køletårne kan man stadig finde asbest, og det kræver særlige tiltag at fjerne det.

5 Bedste tilgængelige teknikker for industrielle kølesystemer

Kapitel 5 identificerer de teknikker, som anses for at være BAT med hensyn til de centrale miljømæssige problemstillinger forbundet med køling. Industrielle kølesystemer er en integreret del af den industriproces, som skal nedkøles. De kølesystemer, der er omfattet af orienteringen, anvendes i mange industrielle sektorer. På grund af bla. den store variation af systemer, teknikker og driftsmetoder er det svært at sammenligne teknikkerne og uddrage generelle konklusioner om BAT. Det synes dog muligt at identificere en generel, forebyggende tilgang, den såkaldte primære BAT-tilgang, baseret på praktisk erfaring med reduktion af udledning fra kølesystemer.

Ved den primære BAT-tilgang skal opmærksomheden først og fremmest rettes mod den proces, der skal køles. Udformningen og konstruktionen af kølesystemet er et vigtigt næste trin, især for nye installationer. Endelig vil ændringer i udstyret og den måde, kølesystemet skal drives på, være relevant i forhold til nye installationer, men er særligt vigtig i forhold til eksisterende udstyr, hvor de tekniske muligheder ofte er temmelig begrænsede og omkostnings-tunge. Omhyggelige afvejninger må foretages i hvert enkelt tilfælde.

Tabel 1.1 i orienteringens indledning kan bruges som indgangsnøgle til dette kapitel.

5.1 Integreret varmestyring

5.1.1 Industriel køling = varmestyring

Køling af industrielle processer kan anses for at være varmestyring og er en del af den totale energistyring på fabrikken. Mængden og niveauet af varmen, der skal spredes, kræver et vist ydelsesniveau af kølesystemet. Dette ydelsesniveau vil igen påvirke systemkonfiguration, design og drift og efterfølgende kølesystemets påvirkning af miljøet (direkte påvirkning). Omvendt vil køleydel-sen også påvirke industriprocessens overordnede effektivitet (indirekte påvirkning). Begge påvirkninger (direkte og indirekte) skal afvejes, idet man tager alle variable i betragtning. Hver ændring i kølesystemet skal opvejes mod de konsekvenser, den kan have for balancen mellem disse påvirkninger.

Dette koncept kan bruges som udgangspunkt til at formulere det første princip om BAT for kølesystemer. BAT for alle installationer er en integreret tilgang til at reducere industrielle kølesystemers miljøpåvirkning, hvor balancen mellem de direkte og indirekte påvirkninger vedligeholdes. Med andre ord skal effekten af en emissionsreduktion opvejes mod den potentielle ændring i den overordnede energivirkningsgrad. Der er på nuværende tidspunkt intet minimumsforhold med hensyn til miljøfordele og det mulige tab i den overordnede energivirkningsgrad, som kan bruges til at identificere teknikker, som kan anses for at være BAT. Alligevel kan dette koncept bruges til at sammenligne alternativer (afsnit 3.2 og Bilag II i BREF-dokumentet).

5.1.2 Reduktion i niveauet af varmeudledning ved optimering af internt/eksternt varmegenbrug

En forebyggende tilgang bør tage udgangspunkt i den industrielle proces, som kræver varmeafgivelse, og sigte mod at reducere behovet for varmeafgivelse i første omgang. Udledning af varme er jo at spilde energi og er således ikke BAT. Varmegenbrug inden for processen bør altid være det første skridt i en vurdering af kølebehov. Behandling af procesintegrerede energitiltag ligger uden for dette dokument, men der henvises til andre BREF-dokumenter, der beskriver mulighederne for energitiltag.

I en nyetableringssituation kan en vurdering af den krævede varmekapacitet kun være BAT, hvis det er et resultat af maksimal brug af de muligheder for genbrug af overskudsvarme, der er tilgængelige og anvendelige internt og eksternt.

I en eksisterende installation skal en optimering af internt og eksternt genbrug samt en reduktion af mængden og temperaturen af den varme, der skal udledes, gå forud for ændringer i den potentielle kapacitet i det anvendte kølesystem. En øgning af det eksisterende systems effektivitet ved at forbedre systemdriften skal evalueres mod en stigning i virkeevne ved teknologiske tiltag gennem modifikation eller teknologisk ændring. Generelt og for store eksisterende kølesystemer anses forbedringen i systemdrift for at være mere omkostningseffektiv end anvendelsen af ny eller forbedret teknologi og kan derfor anses for at være BAT.

5.1.3 Kølesystem og proceskrav

Når niveauet og mængden af spildevarme genereret af processen er fastslået, og der ikke kan opnås yderligere spildvarmereduktion, kan en indledende udvælgelse af et kølesystem foretages i lyset af de proceskrav, som diskuteres i kapitel 2. Hver proces har sin unikke kombination af krav, hvor processens kontrolniveau, pålidelighed og sikkerhed spiller en vigtig rolle. Dette gør det umuligt i denne fase at lave en første karakterisering af BAT, men følgende konklusioner kan drages med hensyn til et antal proceskarakteristika.

Anvendelsen af omgivende temperaturniveauer er baseret på erfaringer fra Europa om anvendelse af kølesystemer under forskellige klimatiske forhold. Generelt kan luft ikke anvendes til køling af lavtemperaturvarme. I stedet foretrækkes vådkøling. I områder med lav gennemsnitlig tørlufttemperatur anvendes tør luftkøling imidlertid til at nedkøle til lavere procestemperaturer (efter

at mulighederne for genbrug er blevet undersøgt). Våd eller køling kan, hvis tilstrækkeligt vand er tilgængeligt, derefter fjerne den resterende mængde spildvarme. Farlige processtoffer, som involverer en høj miljørisiko for vandmiljøet i tilfælde af lækage, bør køles med indirekte kølesystemer for at forhindre en ukontrollabel situation.

Udvælgelse af en kølekonfiguration bør baseres på en sammenligning mellem forskellige gennemførlige alternativer i overensstemmelse med proceskravene. Proceskrav er fx kontrol af kemiske reaktioner, pålidelighed af procesydelsen og vedligeholdelse af krævede sikkerhedsniveauer. Formålet er at minimere den indirekte miljøpåvirkning fra det udvalgte alternativ. For hvert alternativ kan miljødelser bedst sammenlignes, hvis de er udtrykt i direkte og indirekte brug af energi (kW_{el}) pr. enhed af udledt energi (kW_{kol}). En anden måde at sammenligne konfigurationer på er at udtrykke ændringen i kølesystemets indirekte brug af energi (kW_{el}) og ændringen i processens produktionsniveau i tons, begge pr. enhed af udledt energi (kW_{kol}).

En ændring i køleteknologi for at reducere miljøpåvirkningen kan kun anses for at være BAT, hvis kølingens effektivitet opretholdes på samme niveau eller helst på et øget niveau.

Tabel 5.1 Eksempler på proceskrav og BAT

Proces-karakteristika	Kriterier	Primære BAT tilgang	Bemærkninger	Henvisning
Spild varmeniveau høj (>60°C)	Reducer vandforbrug og forøg energieffektivitet	(For-)køling med tør luft	Energieffektivitet og kølesystemets størrelse er begrænsende faktorer	Afsnit 1.1/1.3
Spild varmeniveau middel (25-60°C)	Forøg energieffektivitet	Ikke klart	Anlægsbestemt	Afsnit 1.1/1.3
Spild varmeniveau lav (<25°C)	Forøg energieffektivitet	Vandkøling	Valg af anlægssted	Afsnit 1.1/1.3
Lavt og middel varmeniveau og kapacitet	Optimal energieffektivitet med vandbesparelse og synlig dampfanereduktion	Våd- og hybrid køling	Tørkøling mindre egnet pga. pladskrav og tab af energieffektivitet	Afsnit 1.4
Nedkøling af farlige stoffer med høj miljørisiko	Nedsat lækagefare	Indirekte kølesystemer	Tillad øget approach-temperatur	Afsnit 1.4 og bilag VI i BREF dokumentet

5.1.4 Kølesystem og lokaliseringskrav

De begrænsninger, der er pålagt lokaliteten, gælder især for nye installationer, hvor der stadig skal vælges kølesystem. Hvis den krævede varmeudledningskapacitet er kendt, kan det påvirke valget af en passende lokalitet. For temperaturfølsomme processer er det BAT at vælge en lokalitet med den krævede tilgængelighed til kølevand.

Af mange grunde er nye installationer ikke altid etableret på en lokalitet, som er ideel ud fra en køleteknologisk synsvinkel. De vigtigste termodynamiske karakteristika for lokaliteten er de årlige klimatiske ændringer, som vil fremgå af de temperaturer, der kan måles med tørre og våde termometre.

Tabel 5.2 Eksempler på lokalitetskarakteristika og BAT

Lokalitets-karakteristika	Kriterier	Primære BAT tilgang	Bemærkninger	Henvisning
Klima	Nødvendig design-temperatur	Analyser variation i våd og tør luft temperatur	Ved høj tør temperatur er tørluftkøling normalt mindre energieffektiv	Afsnit 1.4.3
Plads	Begrænset areal på lokaliteten	(Præfabrikeret) tag type anlæg	Begrænsning i kølesystemets størrelse og vægt	Afsnit 1.4.2
Adgang til overfladevand	Begrænset tilgængelighed	Recirkulerede systemer	Våd, tør eller hybrid kan praktiseres	Afsnit 2.3 og 3.3
Recipientens følsomhed over for varmebelastning	Overhold kapacitet for at tilpasse varmebelastning	Optimer varmegenvinding Brug recirkulerede systemer Valg af lokaliseringssted (nyt kølesystem)		Afsnit 1.1
Indskrænket adgang til grundvand	Minimering af grundvandsforbrug	Luftkøling hvis ingen egnet alternativ vandåre	Tillad energistraff	Afsnit 3.3
Kystnære områder	Stor kapacitet >10 MW _{køl}	Systemer med ét gennemløb	Undgå at blande varm fane nær indtag, f.eks. ved anvendelse af dybtvandsindtag under blandingszonen og brug af temperatur-stratificering	Afsnit 1.2.1/ Afsnit 3.2/ Bilag IX.3 i BREF dokumentet
Særlige lokalitetskrav	Ved krav om reduktion af dampfane og tårnhøjde	Brug hybridt kølesystem	Tillad energistraff	Kapitel 2

Andre identificerede karakteristika er plads, adgang til vand til køling og udledning og de omgivende, følsomme områder (by- og industrielle). Med hensyn til grundvand kan det være BAT at anvende et tørt kølesystem, som følger princippet om at minimere brugen af grundvand især i de områder, hvor udtømning af vandåre ikke kan udelukkes.

I tabel 5.2 er vist nogle BAT-eksempler for enkelte udvalgte lokaliteter.

5.1.5 Anvendelse af BAT i industrielle kølesystemer

I kapitel 2 blev skitsen af en forebyggende tilgang præsenteret. Denne viser, hvordan en trinvis vurdering af alle begrænsninger kan føre til det, der kaldes

"bedst tilgængelige køleteknik". Inden for denne tilgangsramme diskuterer kapitel 2 og kapitel 3 og de relaterede bilag i BREF-dokumentet faktorerne og foreslår teknikker, som kan bruges til identifikation af potentielle BAT for væsentlige kølekonfigurationer, som bruger vand og/eller luft. Optimeringen af et kølesystem for at reducere dets miljøpåvirkning er en kompleks opgave og ikke en præcis matematisk sammenligning. Med andre ord fører en kombination af teknikker udvalgt fra BAT-tabeller ikke til et BAT-kølesystem. Den endelige BAT-løsning vil være en sted-specifik løsning.

I kapitel 4 blev mulighederne for at reducere emissionerne til miljøet præsenteret. For hvert miljøproblem og for hver relevant kølekonfiguration er der lavet forsøg på at identificere en generel tilgang og finde frem til BAT. Nogle teknikker er beskrevet i flere detaljer i bilagene. Vægtningen er klart på de vandrelaterede problemer med fokus på en reduktion af anvendelsen af biocider og sortlistede stoffer.

De foreslåede teknikker er anvendte teknikker. De har vist sig at være effektive, men dog er kvantificering svær, og om det er hensigtsmæssigt at anvende dem er afhængig af de lokale forhold som nævnt i kapitel 2. Det kan antages, at alle de foreslåede tiltag er BAT og de, der ikke udelukkende er afhængige af de lokale forhold, kan overvejes for nye systemer. Med hensyn til eksisterende installationer skal der vises omhu, idet vurderingen er sværere, hvor mulighederne er begrænsede og afhænger af mangfoldigheden af (proces)faktorer. Der synes ikke at være mange forhindringer for implementering af operationelle tiltag i eksisterende kølesystemer undtagen i de tilfælde, hvor det teknologiske design begrænser antallet af muligheder for modifikation.

I tabel 5.3 - 5.11 præsenteres teknikker, som anses for at være BAT, og som følger den primære BAT-tilgang for:

- reduktion af energiforbrug,
- reduktion af brug af vand,
- reduktion af medrivning af akvatiske organismer,
- reduktion af emissioner til vand,
- reduktion af emissioner til luft,
- reduktion af støjemissioner,
- reduktion af lækagerisiko,
- reduktion af biologiske risici.

Der er ingen klar BAT for reduktion af affald eller teknikker til at håndtere affald, så man undgår miljøproblemer såsom forurening af jord og vand, eller luft i tilfælde af forbrænding.

Konsekvenserne for andre områder ved at anvende en reducerende teknik er blevet identificeret for hvert miljøproblem. Generelt skal hver ændring i et kølesystem omhyggeligt afbalanceres mod de relaterede effekter, og i denne betydning er optimeringen af industriel køling et tværgående emne.

For nogle tiltag er BAT-værdier blevet identificeret. Imidlertid er brugen af klare, relaterede niveauer ikke mulig, når man beskæftiger sig med anvendelsen af forskellige køleteknikker i en mangfoldighed af varierende procesforhold. I disse tilfælde er der udarbejdet en kvalitativ beskrivelse.

For **nye køleinstallationer** er det BAT at begynde at identificere reducerende tiltag i designfasen, hvor der anvendes udstyr med lavt energikrav, samt at vælge det passende materiale til udstyr, der er i kontakt med processtoffet og/eller kølevandet. I denne sammenhæng er følgende citat illustrativt: "***i praksis har hensyn til design, layout og vedligehold af kølevandssystemer relativ lav prioritet i sammenligning med miljøkonsekvenserne af et dårligt designet og/eller drevet kølevandssystem. Hvor der kun er taget lidt hensyn til designfaktorer, skal behandlinger ofte opveje dårligt design, og de skal derfor vælges på en måde, så de minimerer risikoen for fouling. Få ændringer i denne attitude forventes, så længe der er et lavt niveau af bevidsthed om langtidsomkostningerne ved at drive og vedligeholde dårligt designede kølevandssystemer***".

Hvis tørluftskølesystemer er den foretrukne mulighed, er tiltagene primært relateret til reduktion af det direkte energiforbrug, støjemissioner og optimering af størrelsen med hensyn til den krævede køleoverflade.

For **eksisterende installationer** kan teknologiske tiltag være BAT under visse omstændigheder. Generelt er en ændring i teknologi omkostningsintensiv, når den overordnede virkeevne skal vedligeholdes. En evaluering af omkostningerne bør derfor sammenligne investeringsomkostningerne ved en ændring versus ændring i driftsomkostningerne og validere reduktionseffekten versus andre miljøkonsekvenser. For eksempel vil det kræve en sammenligning mellem miljøeffekten af at recirkulere kølevand - som kræver anvendelse af biocidvandbehandling - og et system med ét gennemløb uden biocider, men med en stor emission til vandmiljøet.

I tilfælde af fabrikssamlede standardkøletårne synes en ændring i teknologi at være gennemførlig både teknisk og økonomisk. Ingen kompatible data er blevet fremlagt til at understøtte dette, men leverandørerfaringen er, at det er relativt let at ændre små køletårne, for eksempel fra et lukket, recirkulerende, vådt til et lukket, recirkulerende, hybridt eller vådt/tør konfiguration. Dette vil ikke kræve store procesmodifikationer eller konstruktionsarbejde. For store specialdesignede tårne, som monteres "on site", er det ikke nemt at lave teknologiske ændringer. En ny teknologi betyder generelt et helt nyt køletårn.

For eksisterende våde køletårne, hvor fokus hovedsageligt er på miljøtiltag, der skal reducere vandbruget og emissionerne af kemikalier til vand, er BAT ikke så meget af teknologisk karakter, men mere af driftsmæssig karakter. Monitoring, drift og vedligehold er nøgleemner her.

5.2 Reduktion af energiforbrug

Det er BAT i designfasen af et kølesystem:

- at reducere modstanden i vand og luftstrøm,
- at anvende højeffektivt/lavenergi-udstyr,
- at reducere mængden af energikrævende udstyr (Bilag XI.8.1 i BREF-dokumentet),
- at anvende optimeret kølevandsbehandling i systemer med ét gennemløb og våde køletårne for at holde overflader rene og undgå afskalning, fouling og korrosion.

I hvert tilfælde bør en kombination af de ovennævnte faktorer føre til det lavest opnåelige energiforbrug for at drive et kølesystem. Med hensyn til BAT er et antal teknikker/tilgange blevet identificeret.

I en integreret tilgang til køling af en industriel proces tages både den direkte og indirekte brug af energi i betragtning. Med hensyn til den overordnede energivirkningsgrad af en installation er brugen af systemer med ét gennemløb BAT, især for processer, som kræver store kølekapaciteter (fx. $>10 \text{ MW}_{\text{kol}}$). Ved kystnære placeringer kan systemer med ét gennemløb accepteres hvis:

- udbredelse af varmtvandsfaner i overfladevandet stadig giver plads til, at fisk kan passere,
- kølevandsindtag er designet således, at fiskemedrivning reduceres,
- varmebelastningen ikke forstyrrer andre brugere af det modtagende vand.

Tabel 5.3 BAT for øget energieffektivitet

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Stor kølekapacitet	Energieffektivitet	Vælg lokalitet for system med ét gennemløb	Se tekst over tabel	Afsnit 3.2
Alle systemer	Energieffektivitet	Anvend variabel drift	Identificer det nødvendige køleinterval	Afsnit 1.4
Alle systemer	Variabel drift	Tilpasning af luft/vandstrøm	Undgå ustabiliserende slitage i system (korrosion og nedbrydning)	
Alle våde systemer	Rent kredsløb/veksleroverflader	Optimer vandbehandling af røroverflader	Kræver passende overvågning	Afsnit 3.4
Systemer med et gennemløb	Fasthold køleeffektivitet	Minimer recirkulering af varmt vands fane ved havområder		Bilag XII i BREF-dokumentet
Alle køletårne	Nedsæt specifikt	Brug blæsere med		

	energiforbrug	nedsat energiforbrug		
--	---------------	----------------------	--	--

5.3 Reduktion af vandkrav

For nye systemer kan følgende siges:

- i lyset af den totale energibalance er køling med vand mest effektiv,
- for nye installationer bør en anlægsgrund vælges ud fra tilgængeligheden af tilstrækkelige mængder af (overflade) vand i tilfælde af store kølevandskrav,
- kølekrav bør reduceres ved optimeret varmegenbrug,
- for nye installationer bør en anlægsgrund vælges for tilgængeligheden af tilstrækkeligt recipientvand, især i tilfælde af store kølevandsudledninger,
- hvor vandtilgængeligheden er begrænset, bør der vælges en teknologi, som muliggør forskellige driftsformer, som kræver mindre vand for at opnå den krævede kølekapacitet på alle tidspunkter,
- i alle tilfælde er recirkulerende køling en mulighed, men dette kræver omhyggelig afbalancering med andre faktorer, såsom de krævede vandforhold og en lavere total energivirkningsgrad.

For eksisterende vandkølesystemer kan et øget varmegenbrug og forbedret systemdrift reducere den krævede mængde kølevand.

For kraftværker med store kølekapaciteter anses dette generelt for at være en omkostningsintensiv opgave, som kræver ny konstruktion. Pladskrav skal tages i betragtning.

Tabel 5.4 BAT for reduktion af vandkrav

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Alle vådkølesystemer	Nedsat kølebehov	Optimering af varmegenbrug		Kapitel 1
	Nedsat brug af begrænsede ressourcer	Anvendelse af grundvand er ikke BAT ¹	Anlægsspecifik især for eksisterende systemer	Kapitel 2
	Reduceret vandforbrug	Benyt recirkulerede systemer	Forskelligt behov for vandbehandling	Kap. 2, afsnit 3.3.
	Reduceret vandforbrug, hvor der er påbud om dampfanereduktion og lavere tårnhøjde	Anvend hybrid kølesystem	Tillad øget energiforbrug	Afsnit 2.6/3.3.1.2

	Hvor der ikke er adgang til (spæde)-vand under (dele af) procestiden	Anvend tørkøling	Tillad øget energiforbrug	Afsnit 3.2 og 3.3, Bilag XII.6 i BREF-dokumentet
Alle recirkulerede våd- og våd-/tørkølesystemer	Reduceret vandforbrug	Optimering af koncentrations-cykler	Øget behov for vandbehandling som brug af blødgjort spædevand	Afsnit 3.2 og bilag XI i BREF-dokumentet

¹Det afhænger af grundvandskvaliteten for "sekundært" grundvand jf. afsnit 4.3.

Anvendelse af tør luftkøling er ofte blevet foreslået. Hvis den totale energivirkning tages i betragtning, er tør luftkøling mindre attraktiv end våd køling. Det betyder ikke, at tør teknologi er diskvalificeret. For kortere levetidsperioder er det beregnet, at forskelle i omkostninger mellem tør og våd luftkøling bliver mindre end for længere levetidsperioder. Når omkostningerne til vand og vandbehandling tages i betragtning, bliver forskellene også mindre. Tør køling kan anbefales i visse tilfælde og til for-køling ved højere temperaturniveauer, hvor store vandmængder er krævet.

5.4 Reduktion af medrivning af organismer

Modifikation af vandindtagsudstyr for at reducere medrivning af fisk og andre organismer er meget kompleks og stedspecifik. Det er muligt, men omkostningsfuldt at lave ændringer i et eksisterende vandindtag. Af de anvendte eller afprøvede fiskebelyttelses- eller -frastødningsteknikker kan ingen specielle teknikker identificeres som BAT. Den lokale situation vil afgøre, hvilke fiskebelyttelses- eller frastødningsteknikker, der vil være BAT. Visse anvendte strategier for design og position af indtag kan anses for at være BAT, men de er specielt gyldige for nye systemer.

Med hensyn til anvendelsen af sier bør det noteres, at bortskaffelsesomkostningerne for det resulterende organiske affald fra sier er betydelige.

Tabel 5.5 BAT for reduktion af medrivning

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Alle systemer med ét gennemløb og kølesystemer med indtag af overfladevand	Egnet placering og dimensionering af vandindtag samt valg af beskyttelsesteknik	Analyse af biotop i overfladevand	Også kritiske områder som yngle-, vandre- og opdrætspladser	Afsnit 3.3.3 og Bilag XII.3.3 i BREF-dokumentet
	Opførelse af kanaler til vandindtag	Optimer vandets hastighed i indtagskanalerne for at begrænse bundfældning. Pas på sæsonbettinget makrofouling		Afsnit 3.3.3

5.5 Reduktion af emissioner til vand

5.5.1 Generel BAT tilgang til at reducere varmeemissioner

Hvorvidt varmeemissioner til vand vil have en miljøpåvirkning er stærkt afhængig af lokale forhold. Sådanne lokale forhold er nævnt i BREF-dokumentet, men fører ikke til en konklusion om BAT i generelle termer.

Hvor det var praktisk muligt at begrænse varmeudledningen, var løsningen at skifte fra teknologi med ét gennemløb til åben, recirkulerende køling (åbne, våde køletårne). Ud fra de tilgængelige oplysninger, og når alle mulige aspekter overvejes, skal der udvises forsigtighed med at konkludere, at dette kan kvalificeres som BAT. Det vil kræve, at man afvejer den totale energivirkningsgrad af det anvendte våde køletårn (afsnit 4.2) mod effekten af den reducerede miljøpåvirkning fra den reducerede varmeudledning.

Hvor tiltagene generelt sigter mod at reducere ΔT af det udledte kølevand, kan der drages nogle få konklusioner om BAT. For-køling (Bilag XII i BREF-dokumentet) er blevet anvendt til store kraftværker, hvor den specifikke situation kræver dette, f.eks. for at undgå øget temperatur af indtagsvandet.

Der henvises til afsnit 4.3.3.2 for de lovmæssige krav vedrørende varmeemissioner.

5.5.2 Generel BAT tilgang til at reducere kemiske emissioner til vand

Forebyggelse og kontrol af kemiske emissioner fra kølesystemer bør have første prioritet, og næst efter varmeudledning anses det stadig for at være det vigtigste emne i køling.

Da 80% af miljøpåvirkningen bestemmes på tegnebordet, bør der gøres tiltag i designfasen for våde kølesystemer, hvor følgende rækkefølge i tilgangen bruges:

- identificere procesforhold (tryk, temperatur, stof, korrosionsevne),
- identificere kemiske karakteristika af kølevandskilden,
- vælge det passende materiale for varmeveksling, hvor både procesforhold og kølevandskarakteristika kombineres,
- vælge det passende materiale til andre dele af kølesystemet,
- identificere driftskrav til kølesystemet,
- vælge passende kølevandsbehandling (den kemiske sammensætning), hvor mindre farlige kemikalier eller kemikalier, som har en potentielt lavere påvirkning på miljøet, bruges (afsnit 4.4.5, Bilag VI og VIII i BREF-dokumentet),
- anvende skemaet vedr. designprincipper, som sigter imod reduktion af biocidanvendelse (kapitel 4, figur 4.2), og

- optimere doseringssystemet ved at monitere kølevand og systemforhold.

Denne tilgang har som det første til hensigt at reducere behovet for kølevandsbehandling. For eksisterende systemer er det svært og generelt omkostningsintensivt at lave teknologiske ændringer eller ændringer af udstyret. Fokus bør derfor være på driften af de systemer, som bruger monitoring koblet til optimeret dosering.

Efter at kølesystemets følsomhed overfor fouling og korrosion er blevet reduceret i designfasen, kan der stadig være behov for behandling for at vedligeholde en effektiv varmeveksling. Det næste skridt er derefter at vælge kølevandstilsætningsstoffer, som er mindre skadelige over for det akvatiske miljø, og at anvende dem på den mest effektive måde.

Med hensyn til kemikalievalg er det konkluderet, at en klassificering af behandlinger og de kemikalier, de består af, er svært om ikke umuligt at udføre på en generel måde, og det vil være usandsynligt, at det vil føre til BAT-konklusioner. På grund af stor variation i forhold og behandlinger vil kun vurderinger fra sag til sag føre til en passende løsning.

En sådan vurdering kunne repræsentere en mulig BAT tilgang.

Denne tilgang er præsenteret i BREF-dokumentet og består af et værktøj, der kan hjælpe med en første klassering af udvalgte kemikalier og en tilgang til at vurdere biocider, som kobler kravene til kølesystemet sammen med kravene til det modtagende akvatiske økosystem (Bilag VIII i BREF dokumentet). Tilgangen sigter mod at minimere påvirkningen fra kølevandstilsætningsstoffer og i særdeleshed fra biocider.

Med hensyn til anvendelsen af specifikke stoffer er meget erfaring blevet hentet fra systemer med ét gennemløb med klorafledte komponenter (især hypochlorit, chloramin) og klor/brom-kombinationer, sammen med anvendelse af reducerede koncentrationsniveauer.

Det samme gælder brugen af biocider for konditionering af recirkulerende systemer. Behandlingsmidlerne for disse systemer er ofte multistoffer. Det er klart, at nogle komponenter eller stoffer kan identificeres som ikke-BAT eller ikke bør anvendes overhovedet. En generel tilgang til at vælge det passende biocid vil inkludere lokale aspekter såsom vandkvalitetsmålsætninger af det modtagende vand.

5.5.3 Identificerede reduktionsteknikker inden for BAT tilgangen

5.5.3.1 Forebyggelse ved design og vedligeholdelse

Tabel 5.6 BAT for reduktion af kemiske emissioner til vand ved dimensionering og vedligeholdelse

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
----------	-----------	--------------------	--------------	------------

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Alle vådkølesystemer	Anvend mindre korrosionsfølsomme materialer	Analyse af processtoffers korrosivitet og af kølevand for at vælge rette materiale		afsnit 3.4
	Reduktion af tilsmudsning og korrosion	Konstruer kølesystemet så stillestående zoner undgås		Bilag XI 3.3.2.1 i BREF-dokumentet
Rørvarmeveksler	Konstrueres så rengøring er let	Kølevandsflow indvendigt i rør og kraftig smuds fjerner på rørside	Afhængigt af design, proces Temperatur og tryk	Bilag III.1 i BREF-dokumentet
Kondensator på kraftværker	Reducer korrosionsfølsomhed	Brug af Titanium i kondensatorer med havvand eller brakvand		Bilag XII i BREF-dokumentet
	Reducer korrosionsfølsomhed	Brug af korrosionsbestandige legeringer (rustfrit stål med høj grubetæringsindeks eller kobbernikkel)	Skift til korrosionsbestandige legeringer kan påvirke dannelsen af patogener	Bilag XII.5.1 i BREF-dokumentet
	Mekanisk rengøring	Brug af automatiske rengøringssystemer med skumbolde eller børster	Desuden kan mekanisk rengøring og højt vandtryk være nødvendig	Bilag XII.5.1 i BREF-dokumentet
Kondensatorer og varmevekslere	Reducer udfældning (tilsmudsning) i kondensatorer	Vandhastighed > 1,8 m/sek. for nyt udstyr og 1,5 m/sek. ved ombygning af rørbundt	Afhængigt af materialets korrosionsfølsomhed, vandkvalitet og overfladebehandling	Bilag XII.5.1 i BREF-dokumentet
	Reducer udfældning (tilsmudsning) i varmevekslere	Vandhastighed > 0,8 m/sek.	Afhængigt af materialets korrosionsfølsomhed, vandkvalitet og overfladebehandling	Bilag XII.3.2 i BREF-dokumentet
	Undgå tilstopning	Anvend partikelfilter for at beskytte varmevekslere, hvor der er risiko for tilstopning		Bilag XII i BREF-dokumentet
Systemer med ét gennemløb	Reducer korrosionsfølsomhed	Anvend kulstofstål i kølevandssystemer hvis korrosionstillæg kan overholdes	Ikke i brakvand	Bilag IV.1 i BREF-dokumentet
	Reducer korrosionsfølsomhed	Anvend armerede glasfiberkunststoffer, coated armeret beton eller coated kulstofstål ved undergrundsledninger		Bilag IV.2 i BREF-dokumentet
	Reducer korrosionsfølsomhed	Brug Titanium til rør i røredelvarmeveksler i stærkt korroderende omgivelser eller rustfrit stål af høj kvalitet med lignende egenskaber	Brug ikke Titanium i reducerende miljø; Evt. behov for optimeret biofouling beskyttelse	Bilag IV.2 i BREF-dokumentet

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvi sning
Åbne vådkøletårne	Reducer tilsmudsning ved saltvandsdrift	Brug køletårnsindsats med åben konstruktion og høj kapacitet		Bilag IV.4 i BREF-dokumentet
	Undgå farlige stoffer i anti-fouling behandling			Afsnit 3.4 Bilag IV.4 i BREF-dokumentet

5.5.3.2 *Kontrol ved optimeret kølevandsbehandling*

Tabel 5.7 BAT for reduktion af kemiske emissioner til vand ved optimeret kølevandsbehandling

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tilgang	Bemærkninger	Henvi sning
Alle våde systemer	Reducere anvendelse af tilsætningsstoffer	Monitering og kontrol af kølevand kemi		Afsnit 3.4 og Bilag XI 7.3 i BREF-dokumentet
	Brug af mindre farlige kemikalier	Det er ikke BAT at bruge: <ul style="list-style-type: none"> - kromforbindelser - kviksølv forbindelser (f.eks. organotin forbindelser) - mercaptobenzothiazole - Chok systemer med andre biocid forbindelser end klor, bromid, ozon og H₂O₂ 	Lokal vurdering nødvendig (byområder, trafik)	Afsnit 3.4/ Bilag VI i BREF-dokumentet
Kølesystemer med et gennemløb og åbne våde køletårne	Mål for biocid dosering	Monitere makrofouling for at optimere biocid dosering		Bilag XI 3.3.1.1 i BREF-dokumentet
Kølesystemer med et gennemløb	Begrænse biocid tilsætning	Ingen brug af biocider ved havvands-temperatur under 10-12°C	I nogle områder kan der være behov for vinter behandling (havne)	Bilag V i BREF-dokumentet
	Reduktion af FO ¹³ emissioner	Brug af varierende opholdstider og vand hastigheder med en associeret FO eller ¹⁴ FRO niveau af 0,1 mg/l ved udledning	Ikke anvendeligt for kondensatorer	Afsnit 3.4 Bilag XI 3.2.2 i BREF-dokumentet
	Emissioner af frie (resterende) oxidanter	FO eller FRO ≤ 0,2 mg/l ved udledning for kontinuerligt klorering af havvand	Daglig (24t) gennemsnitsværdi	Bilag XI 3.3.2 i BREF-dokumentet
	Emissioner af frie (resterende) oxidanter	FO eller FRO ≤ 0,2 mg/l ved udledning for uregelmæssigt og chok klorering af havvand	Daglig (24t) gennemsnitsværdi	Bilag XI 3.3.2 i BREF-dokumentet
	Emissioner af frie (resterende) oxidanter	FO eller FRO ≤ 0,5 mg/l ved udledning for uregelmæssigt og chok klorering af havvand	Gennemsnitsværdi per time indenfor et døgn brugt til proceskontrol krav	Bilag XI 3.3.2 i BREF-dokumentet
	Reducere mængden af forbindelser i ferskvand, der danner organiske halogener (OX)	Kontinuerligt klorinering i ferskvand er ikke BAT		

¹³ FO = Frie oxidanter

¹⁴ FRO= Frie residual oxidanter

I Danmark reguleres direkte udledninger til havet ikke på baggrund af samleparametre som FO eller FRO men på baggrund af kvalitetskrav for enkeltstoffer i overensstemmelse med bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet¹⁵. Det betyder at emissionsgrænseværdier fastsættes fra sag til sag med udgangspunkt i de anvendte enkeltstoffer.

5.6 Reduktion af emissioner til luft

Til sammenligning er luftemissioner fra køletårne ikke blevet givet så meget opmærksomhed, bortset fra effekterne af dampfanedannelse. Fra nogle rapporterede data er det konkluderet, at niveauerne generelt er lave, men at disse emissioner ikke bør negligeres.

En sænkning af koncentrationsniveauerne i det cirkulerende kølevand vil klart påvirke den potentielle emission af stoffer i dampfanen. Der kan gives nogle generelle anbefalinger, som har BAT-karakter.

Tabel 5.8 BAT til reduktion af emissioner til luft

Relevans	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Alle vådkøletårne	Undgå at dampfane når jordhøjde	Dampfane-udledning i tilstrækkelig højde og med minimal hastighed af luftudledning fra tårnet		Afsnit 3.5.3
	Undgå dannelse af dampfane	Anvend hybrid teknik eller anden fanebegrænsende teknik såsom genopvarmning af luft	Lokal vurdering nødvendig (byområder, trafik)	Afsnit 3.5.3
Alle vådkøletårne	Brug mindre farlige materialer			Afsnit 3.8.3
	Undgå påvirkning af luftkvaliteten indenørs	Dimensionering og placering af tårnåbning så ind sugning af luft til luftkonditionering undgås		Afsnit 3.5
Alle vådkøletårne	Reduceret tab af vand ved dråbe-medrivning	Brug af dråbe-medrivnings-eliminatorer med et tab <0,01% af total recirkuleret strøm	Lav modstand mod luftstrøm skal oprettholdes	Afsnit 3.5 og bilag XI.5.1 i BREF-dokumentet

5.7 Reduktion af støjmissioner

Støjmissioner har en lokal påvirkning. Støjmissioner fra køleinstallationer er en del af de samlede støjmissioner fra anlægsområdet. Der er identificeret et antal primære og sekundære tiltag, som kan anvendes til at reducere støjemis-

¹⁵ Bekendtgørelse nr. 1669 af 14. december 2006.

sioner hvor nødvendigt. De primære tiltag ændrer kildens lydeffektniveau, hvorimod de sekundære tiltag reducerer det emitterede støjniveau.

De sekundære tiltag vil især føre til tryktab, hvilket skal kompenseres ved ekstra energiinput, der reducerer kølesystemets totale energivirkeevne. Det ultimative valg af støjdæmpningsteknik vil være en individuel sag, ligesom det deraf resulterende støjniveau. Følgende tiltag og minimumsreduktionsniveauer anses for at være BAT.

Tabel 5.9 BAT for reduktion af støjemissioner

Kølesystem	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Tilhørende reduktionsniveau	Henvisning
Køletårne med mekanisk ventilation	Reduktion af blæserstøj	Brug lavtstøjende blæser med f.eks.: Vinger med stor diameter Nedsat hastighed ved vingespids (≤ 40 m/sek.)	> 5 dB(A)	Afsnit 3.6
	Optimeret design af afkasthætter	Tilstrækkelig højde eller installation af støjdæmpere	Variabel	Afsnit 3.6
	Støjnedsættelse	Støjdæmning ved indtag og afkast	≥ 10 dB(A)	Afsnit 3.6

5.8 Reduktion af lækagerisiko

For at reducere lækagerisikoen skal man være opmærksom på designet af varmeveksleren, farligheden af processtoffer og kølekonfigurationen. Følgende generelle tiltag til at reducere forekomsten af lækager kan anvendes:

- vælge materiale til udstyr af våde kølesystemer i overensstemmelse med kvaliteten af det anvendte vand,
- drive systemet i overensstemmelse med designet,
- vælge det korrekte kølevandbehandlingsprogram, hvis der er behov for kølevandsbehandling,
- monitere for lækager i kølevandsudledningen fra recirkulerende, våde kølesystemer ved at analysere afdræningen.

Tabel 5.10 BAT for reduktion af lækagerisiko

Relevans ¹⁾	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Alle varmevekslere	Undgå smårevner	ΔT over varmeveksler $\leq 50^\circ\text{C}$	Teknisk løsning for højere ΔT identificere-	Bilag III i BREF-dokumentet

Relevans ¹⁾	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
			res fra sag til sag	
Rørvarmeveksler	Drives inden for dimensioneringsgrænser	Overvåg procesdrift		Bilag III.1 i BREF-dokumentet
	Rør/rør-plade konstruktionsstyrke	Brug svejseteknologi	Svejsning kan ikke altid udføres	Bilag III.3 i BREF-dokumentet
Udstyr	Reducer korrosion	T for metal på kølevandssiden <60°C	Temp. påvirker anti-korrosionsmidler	Bilav IV.1 i BREF-dokumentet
Systemer med et gennemløb	Køling af farlige stoffer	Altid overvågning af kølevand		Bilag VII i BREF-dokumentet
	Anvend forebyggende vedligeholdelsesstrategi	Tilsyn ved hjælp af hvirvelstrøm	Andre ikke-destruktive inspektionsteknikker findes	
Recirkulerede kølesystemer	Køling af farlige stoffer	Konstant overvågning af afdræning		

¹⁾ Tabellen gælder ikke for kondensatorer

5.9 Reduktion af biologisk risiko

For at reducere den biologiske risiko, som skyldes kølesystemets drift, er det vigtigt at kontrollere temperaturen, vedligeholde systemet på regelmæssig basis og undgå kalkdannelse og korrosion. Alle tiltag ligger mere eller mindre inden for den gode vedligeholdelsespraksis, som gælder generelt for et recirkulerende, vådt kølesystem. De mest kritiske tidspunkter er opstartsperioder, hvor systemets drift ikke er optimal, og stilstand for reparation eller vedligehold. For nye tårne skal design og position overvejes med hensyn til omgivende følsomme objekter, såsom hospitaler, skoler og beboelse for ældre mennesker.

Tabel 5.11 BAT til reduktion af biologisk vækst

Kølesystem	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
Alle recirkulerede vådkølesystemer	Reduktion af algevækst	Formindsk mængden af lysenergi, der når kølevandet		Afsnit 3.7.3
	Reduktion af biologisk vækst	Undgå stillestående områder (konstruktion) og optimer kemisk behandling		
	Rengøring efter udbrud	Kombination af mekanisk og kemisk rensning		Afsnit 3.7.3
	Styring af patogener	Jævnlig overvågning af patogener i kølesystemerne		Afsnit 3.7.3
Åbne våd-køletårne	Reduktion af infektionsfare	Operatører bør anvende åndedrætsværn (P3-maske), når	Hvis sprøjteudstyr er i gang eller under højtryksrensning	Afsnit 3.7.3

Kølesystem	Kriterium	Primære BAT-tiltag	Bemærkninger	Henvisning
		de går ind i et vådkø- letårn		

Bilag 1 - Ordliste

Den terminologi der anvendes ved forskellige aspekter af industrielle kølesystemer varierer betydeligt, og samme begreb benævnes ofte forskelligt. For at undgå forveksling og forklarende gentagelser i dokumentet, angives herunder en række definitioner på begreber og forkortelser.

Engelske og danske betegnelser for køleanlæg	
Betegnelse i BREF dokumentet	Betegnelse anvendt i Danmark
Direct once-through cooling system	Direkte kølesystemer med ét gennemløb
Indirect once-through cooling system	Indirekte kølesystemer med ét gennemløb
Open recirculating cooling system	Åbne recirkulerende (fordampnings) kølesystemer
Forced draught wet cooling towers	Åbne, våde køletårne med blæsere
Induced draught wet cooling towers	Åbne, våde køletårne med sugetræk
Closed circuit cooling systems	Kølesystemer med lukket kredsløb
Air-cooled cooling systems	Tørre, luftkølede kølesystemer
Air cooled liquid cooling systems	Tørre, luftkølede væskekølere
Air-cooled steam condensers	Tørluftkølede dampkondensatorer
Closed circuit wet cooling systems	Våde luftkølede kølesystemer med lukket kredsløb
Closed circuit dry air cooling system	Lukket kredsløb, tør luft køling
Mechanical draught wet closed circuit cooling system	Våde luftkølede kølesystemer med lukket kredsløb og mekanisk træk
Combined wet/dry cooling systems	Kombinerede våde/tørre kølesystemer
Open wet/dry (hybrid) cooling towers	Åbne våde/tørre (hybride) køletårne
Closed circuit hybrid cooling systems	Hybride kølesystemer med lukket kredsløb
Sprayed (finned) coils	Oversprøjtede spiraler med påmonterede ribber
Adiabatic coolers	Adiabatiske kølere
Recirculating cooling systems	Recirkulerende kølesystemer
Direct recirculating cooling systems	Direkte recirkulerende kølesystemer

Termodynamiske definitioner og forklaringer

- Approach temperatur (1) i varmevekslere, som overfører energi ved varmeledning, er det temperaturforskellen mellem procesmediet, som løber ud af varmeveksleren og kølemidlet, som løber ind i varmeveksleren.
- (2) i et fordampningssystem (f.eks. vådkøletårn) er det forskellen i temperatur mellem procesmediet, som løber ud af kølesystemet og luftens våde temperatur ved indtagningen i køletårnet eller fordampningskølesystemet.
- Kapacitet Mængden af varme, som kan fjernes med et kølesystem, målt i kW eller MW, angives som $kW_{køl}$ hhv $MW_{køl}$.

Latent varmeoverførsel	<p>Varmeoverførsel via fordampning af vand til luften.</p> <p>Varmeoverførselskapaciteten ved fordampning af vand er langt større end varmeoverførselskapaciteten af luft. I luftkølere vil det ofte forekomme, at overfladetemperaturen over en del af kølefladen ligger under luftens dugpunkt. Der vil da udfældes vand på overfladen, hvorved der frigøres latent varme (fordampningsvarmen) i tillæg til den sensible varme, der hidrører fra luftens nedkøling.</p>
Sensibel varmeoverførsel	Varmeoverførsel via ledning og konvektion kaldes <i>sensibel varmeoverførsel</i> .
Terminal difference	Temperaturforskellen i en kondensator. Svarer til temperaturforskellen mellem den damp, der løber ind i kondensatoren (eller kondenseret damp, der løber ud af kondensatoren) og kølemidlet (vand), der løber ud af kondensatoren. Terminal-differencen varierer mellem 3 og 5 K.
Overskudsvarme	Overskudsvarme er den uønskede varmemængde, der ikke kan genvindes, og som skal fjernes fra industrielle eller fremstillingsprocesser og overføres til omgivelserne.

Andre definitioner og forklaringer

Afdrænet mængde (BD, kg/sek.)	Den forsætlige dræning af et kølesystem for at udligne den stigende koncentration af faste stoffer i systemet. I praksis er det vand, der skal fjernes fra et fordampningskølesystem for at styre koncentrationscyklussen. Den afdrænedede mængde beregnes som $BD = E \cdot 1 / (x - 1)$, hvor E = fordampningstabet og x er opkoncentrationsfaktoren. Ved beregning af den afdrænedede mængde indgår også ikke-fordampet tab som afdrift, medrivning og lækager.
BAT-tiltag	Den metodik, der præsenteres i dette dokument for at nå frem til en definition af BAT (Bedste Tilgængelige Teknik) for industrielle kølesystemer og identificere teknikker inden for denne definition.
Biocider	Kemikalier som dræber eller begrænser væksten af uønskede organismer. I et kølevandssystem dræber eller hæmmer biociden dannelsen af makro- og mikro-organismer, som er årsag til tilsmudsning og fouling, og minimerer dermed den organiske forurening i kølesystemet. De vigtigste biocider er klor, natriumhypochlorit, ozon, kvaternær ammoniak og organisk bromid.
Biofilm	Biofilm er defineret som den bakterieholdige film som dannes på alt substrat, der nedsænkes i vand. Biofilmen består af alger og stilkløse mikrobielle organismer, som indeholder slimproducerende bakterier og anaerobe, sulfatreducerende bakterier. Mikro-fouling fremmer udfældningen af makro-fouling.
Dampfane	Den synlige genkondensering af fordampet vand i udblæsningsluften fra et køletårn.
Dispergeringsmidler	Kemikalier som forhindrer vækst og aflejring af partikler i vandet ved at øge den elektriske ladning som følge af absorptionen. Dermed frastøder partiklerne hinanden og forbliver svævende i væsken.

Farlige stoffer	Stoffer eller grupper af stoffer med en eller flere farlige egenskaber, såsom giftige, persistente, biologisk akkumulerbare, eller er klassificeret som farlige for mennesker eller miljø i henhold til Direktiv 67/548 (Direktiv om Farlige Stoffer).
Fordampningstab (E, kg/sek.)	Mængden af kølevand som fordamper pr. tidsenhed i et fordampningskølesystem.
Hydraulisk halveringstid	Defineret som den tid, der kræves for at reducere den oprindelige koncentration af en kemisk forbindelse til 50% af dens oprindelige koncentration.
Hårdhedsstabilisatorer	Kemiske stoffer, som når de tilsættes vand, kan forhindre aflejringen af hårde salte; krystalliseringsprocessen hæmmes ved absorption af kernernes kimdannelse. På denne måde fremmes væksten af ukrystalliserede krystaller, som er relativt lette at bevare opløste og dermed ikke danner aflejringer.
Ikke-oxiderende biocider	For det meste organiske stoffer, der benyttes til behandling af kølevand, især i recirkulerede kølesystemer. Deres funktion er mere specifik end de oxiderende biocider, der ilter nogle arter mere effektivt end andre. De udøver deres virkning på mikroorganismer via reaktion med bestemte cellebestanddele eller ved reaktion via strenge i cellen.
Koncentrationscykler	Er en sammenligning mellem indholdet af opløste faste stoffer i den afdrænede mængde med det tilsvarende indhold i spædevandet. Derfor defineres det som kvotienten af saltkoncentrationen i den afdrænede mængde og saltindholdet i spædevandet.
Kondensator	Køler brugt til kondensering af en gasstrøm (eller damp). Kondensering stiller øgede krav til varmeveksleren: Der skal være plads til dampvolumenen. Kondensatorer til kraftværker er derfor ekstremt store og er specialdesignede.
Korrosion	Nedbrydning af et metal via (elektro-)kemisk reaktion med omgivelserne.
Korrosionsinhibitorer	Kemiske stoffer som kan forsinke nedbrydningsprocessen under vand. Disse er afluftende stoffer, passiverende inhibitorer, (f.eks. chromat, nitrit, molybdat og orthofosfat), bundfældningsinhibitorer (zinkfosfat, calciumcarbonat og calcium orthofosfat), samt adsorptionsinhibitorer (glycinderivater, aliphatiske sulfonater og natriumsilikat).
Krydsstrøm	Det princip hvor luften strømmer vinkelret på procesmediet i varmeveksleren. I krydsstrømstårne bevæger luften sig vandret på tværs af kølevandets nedadgående strøm.
Kølemiddel	Synonym for kølemedium. Ofte er kølemidlet vand eller luft, men kan også bestå af vand iblandet et frostbeskyttelsesmiddel eller det kan være olie eller gas.
Lydeffektniveau (L_w)	Mål for mængden af lydenergi, som <u>udstråles</u> (udsendes) fra en lydkilde. Lydeffektniveauet måles i dB per frekvensområde eller A vægtet som dB(A). Skalaen er logaritmisk, det vil sige at en fordobling af lydeffektniveauet svarer til en 3 dB(A) forøgelse.

Lydtryksniveau (L_p)	Mål for <u>emission</u> af lyd – mængden af lyd i en bestemt retning og afstand fra lydkilden. Lydtrykket måles i dB per frekvensbånd eller A vægget som dB(A). Skalaen er logaritmisk, det vil sige at en fordobling af lydtrykket svarer til en 6 dB(A) forøgelse.
Makrofouling	Uønskede organismer i kølevandskredsløb, som er synlige med det blotte øje. Makrofouling består som oftest af muslinger, andemad og serpulid polychaetes som med deres kalkholdige huse danner belægning på rørenes vægge, trådformede organismer som hydroider samt andre organismer som svampe, bryozoa og tunucates.
Mekanisk ventilerede køletårne	Køletårn forsynet med blæsere, som presser køleluften gennem tårnet, eller som trækker køleluften gennem tårnet.
Mikrofouling	Eller biofilm er den bakterieholdige film, som dannes på alt substrat, der nedsænkes i vand. Biofilmen består af alger og stilkløse mikrobielle organismer, der indeholder slimproducerende bakterier og anaerobe, sulfatnedsættende bakterier. Mikro fouling fremmer udfældningen af makrofouling.
Modstrøm	Det princip hvor luften strømmer i modsatte retning i varmeveksleren. I modstrømtårne bevæger luften sig opad modsat kølevandets nedadgående strøm. Denne konstruktion yder god varmeveksling, fordi den koldeste luft kommer i kontakt med det koldeste vand. Der anvendes samlerør og sprøjte-dyser til at fordele vandet.
Naturligt ventilerede køletårne	Store køletårne uden blæsere, der er konstrueret til at udnytte densitetsforskellen mellem den indgående luft og den varmere luft inden i tårnet, så der skabes en strøm af køleluft.
Opkoncentrationsfaktor (CR)	Opkoncentrationsfaktoren er forholdet mellem koncentrationen af et specifikt opløst stof i det recirkulerede kølevand i forhold til spædevandet. Opkoncentrationsfaktoren beregnes som $CR = MU/BD$, hvor MU er spædevandsmængden og BD er afdrænet mængde.
Overfladebehandling	Materiale påført overflader enten for at få en glat overflade, så friktionsskabt pumpetab begrænses, eller et beskyttende lag for at hindre erosion, rust eller belægninger.
Oxiderende biocider	For det meste uorganiske stoffer, som især anvendes mod forurening i åbne systemer med ét gennemløb. De angriber organismene uspecifikt ved at ilte cellevæggen eller ved at trænge ind i cellen og ilte cellebestanddelene. Disse biocider er hurtigtvirkende og på grund af deres ikke-specifikke virkemåde, har de et bredere spektrum end ikke-oxiderende biocider.
Procesmediet	Procesmediet henviser altid til det medie, der skal nedkøles.
Scaling	Udfældningsprocessen i kølevandssystemer, som finder sted, når koncentrationen af salte i vandfilmen ved varmeveksleren overskrider opløseligheden.