



DEPARTMENT OF WATER RESOURCES ENGINEERING
Lund University

2010-05-17

Utredning av temperaturhöjning i Kävlingeån till följd av planerat utsläpp av renat rökgaskondensat från Eslöv Lund Kraftvärme AB

Översänder enligt överenskommelse rubricerade utredning. Om några ytterligare frågor föreligger beträffande utredningen står jag gärna till tjänst.

Med vänliga hälsningar,


Magnus Larson, Professor
Teknisk Vattenresurslära

Magnus Larson, Professor
P.O. Box 118
S-221 00 Lund
SWEDEN

Visiting address:
John Ericssons väg 1
Lund, Sweden

Telephone:
+46-46-222 0000 (operator)
+46-46-222 8729 (direct)
Fax: +46-46-222 4435

Email: magnus.larson@tvrl.lth.se

Temperaturhöjning i Kävlingeån till följd av planerat utsläpp av renat rökgaskondensat från Eslöv Lund Kraftvärme AB

Magnus Larson, Teknisk Vattenresurslära, LTH/Lunds Universitet

1. Bakgrund och Syfte

I samband med utnyttjande av rökgaskondensering i det planerade kraftvärmeverket i Örtofta kommer renat kondensat att produceras med en temperatur på $T_o = 55 \text{ °C}$ omfattande ett flöde på $Q_o = 30 \text{ m}^3/\text{hr}$ ($= 0.083 \text{ m}^3/\text{s}$). Avsikten är att släppa ut kondensatet i Kävlingeån, vilket medför en höjning av vattentemperaturen i ån med möjliga konsekvenser för det akvatiska livet. Utsläppen kommer att göras under perioden oktober till april.

Föreliggande undersökning syftar till att uppskatta temperaturhöjningen i Kävlingeån till följd av det planerade utsläppet av renat rökgaskondensat från kraftvärmeverket, båda i närzonen och i fjärrzonen (definieras nedan). I det följande ges först en kort beskrivning av hur omblandning och transport av utsläppt vatten sker i en recipient. Därefter redovisas de använda beräkningsmetoderna, förutsättningarna för beräkningarna och resultatet för de båda zonerna. Slutligen ges några sammanfattande kommentarer till det erhållna resultatet.

2. Kylvattenutsläpp i Recipienter

2.1 Processer

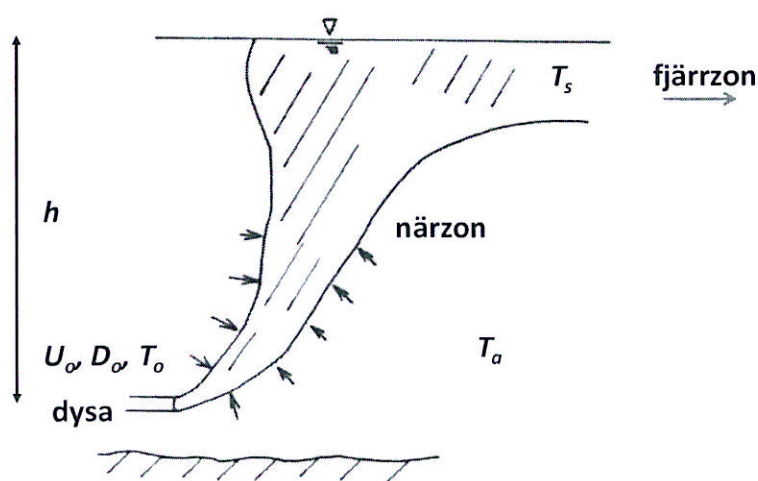
Kylvatten och dylikt som avbördas till en recipient har en högre temperatur (T_o) än det omgivande vattnets temperatur (T_a), vilket innebär att densiteten hos det utsläppta vattnet (ρ_o) är lägre än recipientens densitet (ρ_a). Följaktligen påverkas det utsläppta vattnet av en lyftkraft som beror av densitetsskillnaden mellan recipientvattnet och vattnet ($\Delta\rho = \rho_a - \rho_o$). Utsläpp till recipienter sker ofta i form av strålar med en viss initial rörelsemängd (eller kinetisk energi) som beror av strålens initiala hastighet (U_o) och diameter (D_o). Denna rörelsemängd driver strålen framåt och tillsammans med lyftkraften till följd av densitetsskillnaden skapas en stråle som beskriver en krökt bana på sin väg mot vattenytan (se Figur 1).

När strålen rör sig från utsläppspunkten till vattenytan expanderar den på grund av att recipientvattnet tränger in i strålen. Strålens volymflöde ökar, innebärande att koncentrationen av utsläppta ämnen i strålen minskar. Vid beskrivning av uppvärmt vattens påverkan i en recipient kan ofta övertemperaturen (skillnaden mellan temperaturen i strålen och recipientvattnets temperatur: $\Delta T_m = T_m - T_a$, där T_m är temperaturen i centrum på strålen på ett visst avstånd från utsläppspunkten) betraktas som en koncentration i beräkningsmodellerna. Utspädningen i strålen på en viss nivå ges av $S_m = \Delta T_o / \Delta T_m$, där $\Delta T_o = T_o - T_a$.

När strålen når vattenytan sker en viss extra omblandning varefter strålvattnet sprids längs ytan beroende på strömningsförhållandena i vattendraget och den kvarvarande skillnaden i

temperatur (*i.e.*, densitet) mellan strålvattnet och recipientvattnet. För att karakterisera denna extra omblandning används ofta en faktor 1.4 (Jönsson, 1980). Utspädningen efter omblandningen blir då $1.4S_m$. Den omblandning som sker när strålen rör sig från utsläppspunkten till vattenytan inträffar i det område som benämns *närzonen*, medan omblandning som förekommer efter strålen inlagrats i recipienten och de allmänna strömningsförhållandena är avgörande sker i *fjärrzonen*. Emellan dessa zoner finns en *övergångszon* där både utsläppets initiala egenskaper och strömningsförhållandena i vattendraget är av betydelse.

I en flod eller å blir normalt det utsläppta vattnet jämnt blandat över tvärsnittet i fjärrzonen efter en viss sträcka nedströms utsläppet. Omblandning sker dock i regel snabbare i lateral led (tvärs ån) i ytskiktet än över djupet (Harleman och Stolzenbach, 1972). Den temperaturökning som inträffar vid ett kylvattenutsläpp avklingar med avståndet från utsläppspunkten på grund av värmeavgivning från vattenytan till atmosfären.



Figur 1. Definitionsfigur för utsläpp av kylvatten i en recipient.

2.2 Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna effekten av ett uppvärmt vattenutsläpp i en recipient är normalt olika för närzonen och fjärrzonen. I närzonen används ekvationerna som beskriver utbredning av en stråle, medan i fjärrzonen tillämpas normalt olika formuleringar av allmänna spridningsekvationen (advektion-dispersionsekvationen). I båda dessa typer av modeller ingår koefficienter som företrädesvis bestäms genom jämförelser med fältdata, men generellt är det lättare att ange koefficientvärden i strålekvationerna än i den allmänna spridningsekvationen. I den senare ekvationen ingår dispersionskoefficienter och utbyteskoefficienter som är svåra att uppskatta. Dock kan man ganska enkelt göra en konservativ uppskattning av temperaturhöjningen i fjärrzonen baserat på en energibalans som inte tar hänsyn till utvecklingen i tiden.

De ekvationer som styr hur en stråle breder ut sig i närzonen omfattar:

- Kontinuitetsekvationen för vatten

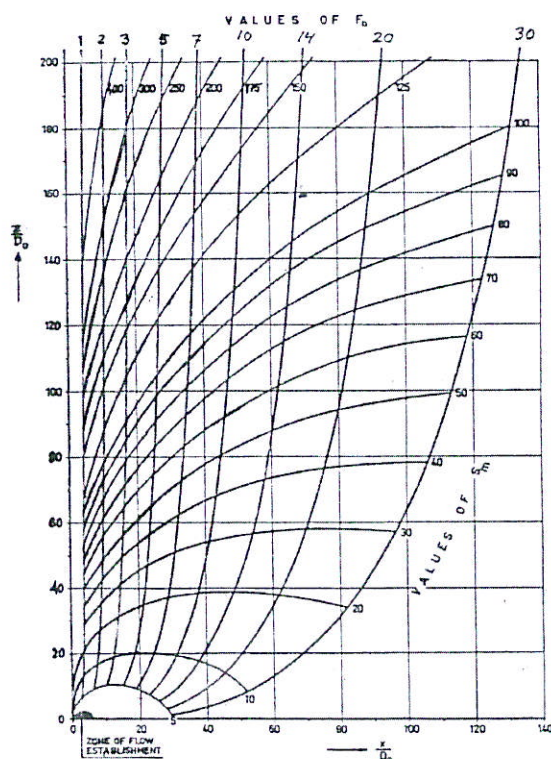
- Kontinuitetsekvationen för utsläppt ämne (*i.e.*, övertemperaturen)
- Rörelsemängdsekvationen i horisontell led
- Rörelsemängdsekvationen i vertikal led

Normalt måste dessa ekvationer lösas numeriskt, beroende på begynnelse- och randvillkorens utseende. För vissa enkla fall där antalet styrande parametrar är begränsat kan resultaten presenteras i diagramform för snabb och enkel användning. För en horisontell stråle som släpps ut i en stillastående recipient med högre densitet än strålen och där densiteten i recipienten är konstant är det fyra dimensionlösa storheter som beskriver strålens utbredning, nämligen: x/D_o , z/D_o , Fr_d och S_m , där x och z är den horisontella respektive vertikala koordinaten från utsläppspunkten och Fr_d Froudes densimetriska tal definierat som:

$$Fr_d = \frac{U_o}{\sqrt{g \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} D_o}} \quad (1)$$

Detta tal kvantifierar den relativa betydelsen av initial rörelsemängd och densitetsskillnad för strålens utbredning.

Figur 2 illustrerar lösningen till ekvationssystemet som beskriver strålutbredningen i stillastående recipient med högre densitet än strålen i termer av de fyra dimensionlösa storheterna (strålen avbördas horisontellt). Med kännedom om Fr_d och h/D kan följaktligen S_m bestämmas och övertemperaturen vid vattenytan uppskattas från Figur 2.



Figur 2. Dimensionslöst diagram som beskriver strålutbredningen i en stillastående vattenmassa med högre densitet än det utsläppta vattnet i termer av x/D_o , z/D_o , Fr_d och S_m (från Jönsson, 1980).

Cederwall (1966) utvecklade approximativa ekvationer för utspädningen S_m som med god noggrannhet beskriver kurvorna i Figur 2:

$$S_m = 0.54Fr_d \left(\frac{z}{D_o Fr_d} \right)^{7/16} \quad \frac{z}{D_o} < 0.5Fr_d \quad (2)$$

$$S_m = 0.54Fr_d \left(0.38 \frac{z}{D_o Fr_d} + 0.66 \right)^{5/3} \quad \frac{z}{D_o} \geq 0.5Fr_d$$

Genom att sätta $z = h$ kan man erhålla utspädningen vid vattenytan från Ekvation 2 för givna utsläppsförhållanden.

3. Beräkning av Temperaturhöjning i Kävlingeån

3.1 Närzonen

Ekvation 2 användes för att beräkna temperaturhöjningen vid vattenytan i närzonen för en rad olika alternativ vad gäller utsläppsförhållandena. Som en konservativ uppskattning antogs att temperaturen i Kävlingeån var 4 °C, eftersom vattnets densitet är högst då (= 1000 kg/m³) och den största lyfkraften är att förvänta (leder till den minsta omblandningen och den största temperaturhöjningen i ytan). Ekvationerna diskuterade ovan gäller för en stillastående recipient. Vid vattenrörelser i recipienten, vilket är att förvänta i Kävlingeån, kommer omblandningen att öka, och att försumma dessa rörelser i beräkningarna är också konservativt.

Inga djupmätningar fanns att tillgå från Kävlingeån för att använda i föreliggande beräkningar. Muntliga uppgifter angav emellertid att djupet i Kävlingeån vid Örtofta är 2-4 m i djupfåran (Eklöv, 2010; Persson, 2010). Beräkningar genomfördes därför för en rad vattendjup: 0.5, 1, 2, 3 och 4 m, där det lägsta vattendjupet är att betrakta som ett extremvärde. För att erhålla största möjliga utspädning och minsta temperaturhöjning bör utsläppspunkten förläggas till de djupare delarna av Kävlingeån.

En viktig parameter för utspädningen är den initiella hastigheten hos strålen (U_o) som normalt ligger i intervallet 1 – 3 m/s. För ett bestämt flöde ger ett visst U_o en diameter (D_o), under antagande att dysan (*i.e.*, utsläppsmunstycket) har ett cirkulärt tvärsnitt. Ofta är det fördelaktigt att dela upp flödet på mer än en utloppspunkt eftersom utspädningen då ökar. Beräkningar gjordes för $U_o = 2$ och 3 m/s och för en och två dysor. Kontinuitetsekvationen ($Q_o = U_o A_o$) ger att de diametrar som är aktuella för de fyra fallen är 0.073 m, 0.059 m, 0.051 m och 0.042 m, vilka korresponderar mot en dysa och 2 m/s, en dysa och 3 m/s, två dysor och 2 m/s, samt två dysor och 3 m/s.

Det utsläppta vattnet har en initiell temperatur på 55 °C, men om denna temperatur kan sänkas genom olika åtgärder minskar temperaturhöjningen i recipienten. Beräkningar genomfördes också för två andra utsläppstemperaturer, nämligen 45 °C och 35 °C, för att kvantifiera inverkan från en sådan sänkning.