

Walter Gyllenram

**RAPPORT NR 2020-61**

## **Utspädning av kylvatten från kraftvärmeverk, Storsjön**



Författare:  
Walter Gyllenram

Uppdragsgivare:  
Gemkon AB

Rapport nr:  
2020-61

Granskningsdatum:  
2020-11-11

Granskad av:  
Maria Andersson

Dnr:  
2020/296/9.5

Version:  
V1.1

---

## Utspädning av kylvatten från kraftvärmeverk, Storsjön

---

Uppdragstagare  
SMHI  
601 76 Norrköping

Projektansvarig  
Walter Gyllenram  
031-751 89 95  
[walter.gyllenram@smhi.se](mailto:walter.gyllenram@smhi.se)

---

Uppdragsgivare  
Gemkon AB  
Strandvägen 28  
830 05 Järpen

Kontaktperson  
Johan Kjellgren  
072-719 20 86  
[johan.kjellgren@gemkon.se](mailto:johan.kjellgren@gemkon.se)

---

Distribution  
Gemkon AB, Johan Kjellgren

---

Klassificering  
( ) Allmän (x) Affärssekretess

---

Nyckelord  
Kylvatten, kraftvärmeverk, utsläpp, spridning, inlagring, skiktning, Storsjön

---

Övrigt

---

## Innehåll

<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>1</b>
<b>1 BAKGRUND OCH SYFTE .....</b>	<b>1</b>
<b>2 FYSIK .....</b>	<b>2</b>
<b>3 METODIK .....</b>	<b>2</b>
<b>4 RECIPIENT- OCH KYLVATTENFÖRHÅLLANDEN .....</b>	<b>3</b>
4.1 Strömmar .....	3
4.2 Temperaturer .....	4
4.2.1 Februariförhållanden .....	4
4.2.2 Augustiförhållanden .....	4
4.3 Kylvatten .....	4
4.4 Geometriska förenklingar och antaganden .....	4
4.5 Befintlig diffusor .....	5
<b>5 RESULTAT .....</b>	<b>6</b>
5.1 Initialutspädning .....	6
5.2 Tryckfall i diffusor och utloppsledning .....	8

## Sammanfattning

Jämtkraft AB planerar att bygga ytterligare ett kraftvärmeverk. Gemkon AB är anlitate av Jämtkraft AB i arbetet med tillståndsansökan. Kylvatten till kraftvärmeverket är tänkt att tas från ett befintligt intag i Göviken, Storsjön, och uppvärmt kylvatten är tänkt att släppas ut i samma område.

SMHI har anlitats av Gemkon AB för att utreda hur stor skillnaden i påverkan blir jämfört med dagens utsläpp, samt för att beräkna tryckfall i utloppsledningen och diffusorn. Initialutspädningen och inlagringen under februari- och augustiförhållanden har studerats. Den främsta skillnaden mellan nollalternativet (dagens förhållanden) och det planerade alternativet är att kylvattenflödet kommer att bli 2-3 ggr högre.

Resultaten för februariförhållanden kan sammanfattas:

- Kylvattnet kommer mycket snabbt att sjunka mot botten och följa botten mot djupare områden
- Eftersom det snabbt sjunker mot botten bedöms risken att det påverkar isen att vara mycket liten
- Utspädningen blir omkring 15 gånger när kylvattnet nått botten, både i nollalternativet och i det planerade alternativet
- Övertemperaturen är vid 15 gångers utspädning nere på 2°C
- Förändringen jämfört med nollalternativet är liten – skiktet av uppvärmt vatten blir inte varmare, däremot tjockare
- Övertemperaturen vid botten (2°C) är inte högre än de temperaturer som kan antas förekomma naturligt vid samma botten i början av den isbelagda säsongen och strax efter islossning.

Resultaten för augustiförhållanden kan sammanfattas:

- Kylvattnet kommer i det planerade alternativet att lagra in sig på 8 m djup, något högre upp i vattenmassan än i nollalternativet
- Utspädningen i det planerade alternativet är mycket god men lägre än vid nollalternativet
- Eftersom kylvattnet lagrar in sig i en skiktad vattenmassa får det ingen övertemperatur relativt recipienten på samma djup

Diffusorns design (antal öppningar, storlek på öppningar och avstånd mellan öppningar) bedöms vara väl anpassad för de planerade kylvattenflödena.

Mätningar av temperaturprofiler utförda av Gemkon AB (mars och augusti 2020) har använts som underlag till beräkningarna, tillsammans med flödesstatistik från SMHI Vattenwebb (<https://vattenwebb.smhi.se>).

De största osäkerheterna i beräkningarna bedöms vara de grova förenklingar av Åssjöns geometri som varit nödvändiga. Sammantaget bedöms dock beräkningarna ge en god bild av kylvattnets utspädning och utbredning i Göviken och Åssjön under de förhållanden som studerats.

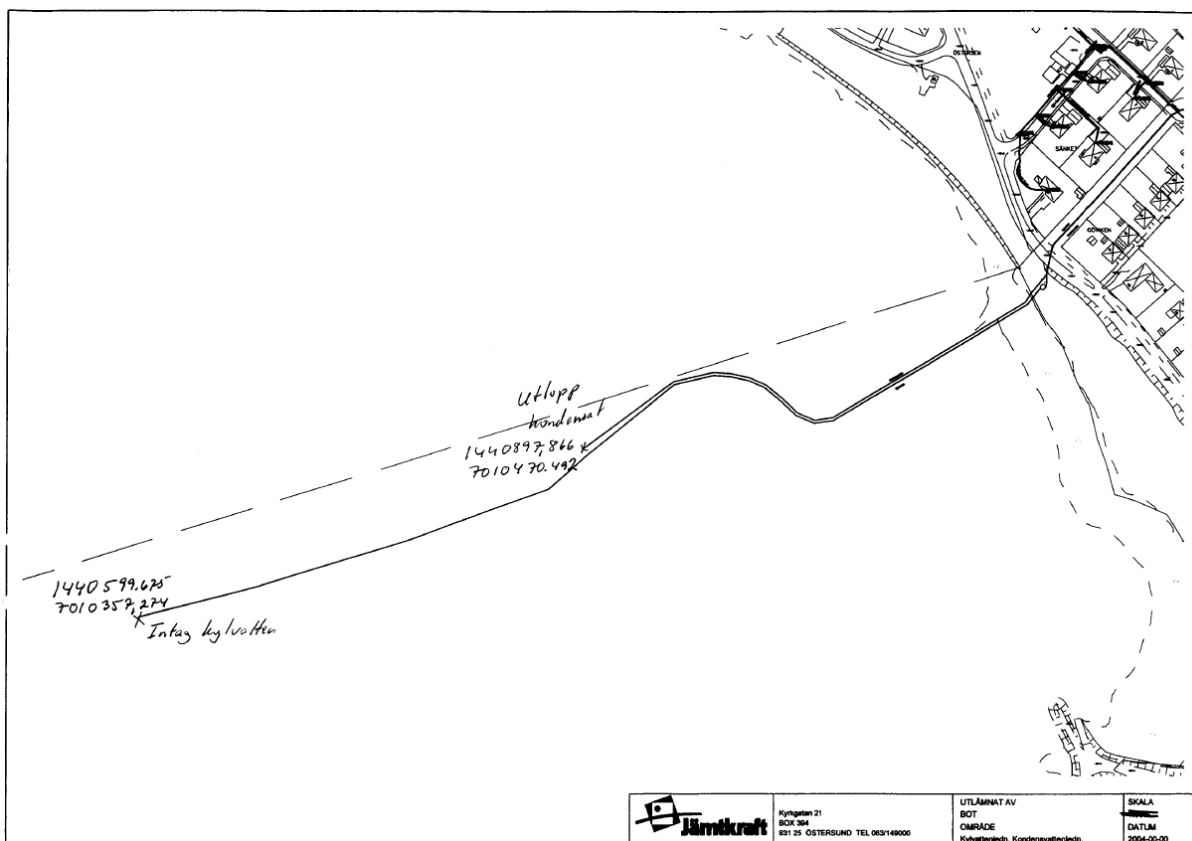
Tryckfallet i utloppsledningen inklusive diffusorn beräknas till ca 0.7 m vattenpelare vid maxflöde på 170 m<sup>3</sup>/h.

## 1 Bakgrund och syfte

Energibolaget Jämtkraft AB:s fjärrvärmeanläggning i Lugnvik utanför Östersund behöver moderniseras och kompletteras, och det finns planer på att bygga ytterligare ett kraftvärmeverk. Detta kommer att leda till ett ökat behov av kylvatten. Inför en tillståndsansökan behöver kunden underlag för att kunna visa på den fysiska påverkan på Storsjön på grund av verksamheten, exempelvis att det inte är någon stor påverkan på isen vid kylvattenutsläppet.

Gemkon AB är anlitate av Jämtkraft AB i arbetet med tillståndsansökan för anläggningen. Gemkon AB har i sin tur anlitat SMHI för att studera hur kylvattnet späds ut och sprids i Åssjön och för att beräkna tryckfall i den befintliga utloppsledningen, inklusive den befintliga diffusorn.

Kylvatten från den fjärrvärmeanläggning som drivs idag släpps ut i Göviken, en del av Åssjön, strax norr om Frösösundet. Det nya kraftvärmeverket ska använda sig av samma ledningar för kylvattnet. En skiss av ledningsdragningen visas i Figur 1.



Figur 1: Skiss över hur dagens kylvattenintags- och kylvattenutloppsledning är dragna i Göviken, tillhandahållen av Gemkon AB.

## 2 Fysik

För att förbättra utspädningen av kylvattnet har en så kallad diffusor använts. En diffusor är i princip ett rör med ett antal mindre öppningar längs sidorna.

Turbulensen kring jetstrålen är det första som skapar initialutspädningen. Hålets placering/riktning på röret bestämmer jetstrålens riktning. Under tiden som jetstrålen späds ut och blandar in sjövattnet tappar den fart och bildar istället en plym (likt röken från en skorsten) som stiger eller sjunker i sjövattnet om den fortfarande har en avvikande densitet jämfört med sjövattnet på samma nivå. Med andra ord drivs utspädningen först av rörelsemängden ut ur utloppsröret, varefter flyt- eller sjunkkrafter dominerar i allt högre grad. När plymen slutar stiga eller sjunka har den nått sin så kallade inlagringsnivå, och därefter transporteras den vidare med hjälp av bakgrundsströmmen i sjön. Med initialutspädning menas utspädningen som sker till dess plymen har nått sin inlagringsnivå.

## 3 Metodik

Beräkningsverktyget CORMIX (<http://cormix.info>) har använts för att beräkna initialutspädning och spridning av kylvattnet. CORMIX tar hänsyn till bakgrundströmmen, densitetsskillnader mellan det utsläppta vattnet och det omgivande vattnet, eventuell interaktion med atmosfären (vind och värmeutbyte), samt avståndet till närmaste strand. Modellen följer kylvattenutsläppets väg genom vattenmassan men är matematiskt sett endimensionell, vilket innebär att kraftiga förenklingar av strandlinjens geometri och djupförhållanden i området är nödvändiga.

I CorHyd beräknas strömhastigheter genom matarledningen, diffusorn och samtliga diffusorns öppningar, flödesfördelning genom de olika öppningarna samt tryckfall. Genom att variera

rördimensioner, antal öppningar, storleken och placeringen av öppningarna påverkas både den externa (utspädningen) och den interna hydrauliken.

## 4 Recipient- och kylvattenförhållanden

Recipient- och kylvattenförhållandena i februari och augusti sammanfattas i Tabell 1 och Tabell 2. Bakgrunden till valda parametervärden beskrivs i efterföljande (4) delavsnitt.

*Tabell 1: Recipient- och kylvattenförhållanden för februari. Värden markerade med stjärna (\*) är SMHI:s bedömningar. Utloppets avstånd till närmsta strand är 315 m i CorHyd-beräkningarna och 50 m i CORMIX-beräkningarna (se avsnitt 4.4).*

Parameter	Värde
Bakgrundsström	0.005 m/s
Utloppets avstånd till närmaste strand	≈315/50 m
Intagets avstånd till närmaste strand	≈630 m
Utsläppsdjup	≈12 m*
Intagsdjup	≈16 m*
Sjötemperatur @ 0 m	0.4°C
Sjötemperatur @ 16 m	0.4°C
Sjötemperatur @ 24 m	1.4°C
Kylvattenflöde (nollalternativ)	0.0182 m <sup>3</sup> /s
Kylvattenflöde (planerat alternativ)	0.0334 m <sup>3</sup> /s
Uppvärmning ΔT	25 °C

*Tabell 2: Recipient- och kylvattenförhållanden för augusti. Värden markerade med stjärna (\*) är SMHI:s bedömningar. Utloppets avstånd till närmsta strand är 315 m i CorHyd-beräkningarna och 100 m i CORMIX-beräkningarna (se avsnitt 4.4).*

Parameter	Värde
Bakgrundsström	0.01 m/s
Utloppets avstånd till närmaste strand	≈315/100 m
Intagets avstånd till närmaste strand	≈630 m
Utsläppsdjup	≈12 m*
Intagsdjup	≈16 m*
Sjötemperatur @ 0 m	16.4°C
Sjötemperatur @ 16 m	12.9°C
Sjötemperatur @ 24 m	11.2°C
Kylvattenflöde (nollalternativ)	0.0106 m <sup>3</sup> /s
Kylvattenflöde (planerat alternativ)	0.0319 m <sup>3</sup> /s
Uppvärmning ΔT	27 °C

### 4.1 Strömmar

När Storsjön är istäckt påverkas strömmarna i nordöstra Storsjön främst av tappningen vid Krokomb. Enligt data i SMHI Vattenwebb (<https://vattenwebb.smhi.se>) ligger tappningen i medeltal omkring 320 m<sup>3</sup>/s i februari. Tappningen suger vatten från båda sidor av Frösön, vilket leder till ostgående strömmar i Rödösundet och nordgående strömmar i Frösösundet. Utifrån SMHI:s erfarenheter av tidigare modellberäkningar och mätningar går vanligtvis ca 15 % av tappningen via Frösösundet, vilket då betyder att ca 40-45 m<sup>3</sup>/s passerar genom Frösösundet och genom Åssjön under normala februariförhållanden. Omräknat till strömhastigheter bedöms det röra sig om några mm/s i södra delarna av Åssjön. I beräkningarna har en medelströmshastighet på 0.005 m/s använts.

Tappningen under en augustimånad är i medeltal omkring 160 m<sup>3</sup>/s. Sannolikt drivs dock de ytliga strömmarna i Åssjön till största delen av rådande vindförhållanden. I beräkningarna uppskattas därför medelströmshastigheten i övre delen av vattenmassan till 0.01 m/s, dvs. högre än vad som använts i vinterberäkningarna.

## 4.2 Temperaturer

### 4.2.1 Februariförhållanden

När en sjö är istäckt kommer temperaturen att vara nära 0°C intill isen. Sötvatten är som tyngst vid omkring 4°C. Detta innebär att om temperaturen i hela sjön överallt är under 4°C, kommer vattentemperaturen att öka med ökande djup. Om sjön har tillflöden och avtappning kommer detta vatten att transporteras i skiktet närmast under isen, vilket i sin tur leder till att det översta skiktet blir turbulent, omblandat och får en jämnare temperaturfördelning. Den största temperaturökningen sker då istället en bit ner i vattenmassan, strax under det kalla omblandningsskiktet.

Gemkon AB uppmätte temperaturprofiler i fyra punkter i sydvästra delen av Åssjön den 17 mars 2020. Djupet på mätplatserna var 30-40 m, vilket kan jämföras med Åssjöns största djup som är ca 60 m. Medeltemperaturen av Gemkons AB:s mätningar var 0.4°C nära isen och ner till 16 m djup (dvs. ett väl blandat ytskikt), därefter linjärt ökande till 1.4°C vid 24 m djup. På djupare vatten än 24 m observerades en svagare temperaturökning.

Mätningarna i mars 2020 bedöms vara representativa även för februariförhållanden.

### 4.2.2 Augustiförhållanden

Gemkon AB uppmätte temperaturprofiler i tre punkter i sydvästra delen av Åssjön den 21 augusti 2020. På grund av blåsiga väderförhållanden stördes mätningarna något av mätfartygets avdrift. Resultaten pekar dock tydligt på en i medeltal linjärt varierande temperaturprofil, från ca 16.4°C vid vattenytan, minskande till 11.2°C vid 24 meters djup.

## 4.3 Kylvatten

Enligt kundens beräkningar är volymen av uppvärmt kylvatten en februarimånad 44050 m<sup>3</sup> idag (nollalternativet), vilket motsvarar 0.0182 m<sup>3</sup>/s. Uppvärmningen  $\Delta T$  är enligt uppgift 25°C. Det planerade alternativet kommer att innebära en ökning i kylvattenflöde till 0.0334 m<sup>3</sup>/s med samma  $\Delta T$ .

Medelflödet av uppvärmt kylvatten under en augustimånad är enligt kunden 28299 m<sup>3</sup> idag, vilket motsvarar 0.0106 m<sup>3</sup>/s. Uppvärmningen  $\Delta T$  är 27°C. Det planerade alternativet kommer att innebära en ökning i kylvattenflöde till 0.0319 m<sup>3</sup>/s med samma  $\Delta T$ .

## 4.4 Geometriska förenklingar och antaganden

Beräkningsmodellen CORMIX kräver att Åssjön beskrivs i termer av medeldjup och avstånd till närmaste strand. I beräkningarna har medeldjupet satts till 15 m. Eftersom stranden är långgrund har kortare, fiktiva ”avstånd till närmaste strand” ansatts istället för det verkliga avståndet. Syftet med dessa fiktiva avstånd är att kompensera för att kylvattnet på grund av gravitationen inte lägger sig i ett lutande plan hela vägen in till den verkliga stranden. Avståndet till närmsta strand har därför satts till endast 100 m i augustifallet för att kompensera för att stranden är långgrund vilket begränsar tillgången på spädvatten vid det djup där vattnet bedöms lagra in sig. I februarifallet har avståndet satts till 50 m eftersom detta kylvatten förväntas lagra in sig på ännu lägre djup eller vid botten. Kylvattenutsläppets placering beskrivs med ett djup (12 m) och riktning (90°) i förhållande till bakgrundsströmmen. Strömmarna bedöms följa Gövikens djupkonturer, och det antas att diffusorn är riktad vinkelrätt mot dessa.



## 4.5 Befintlig diffusor

Den befintliga utloppsledningen och diffusorn är enligt uppgift från Gemkon AB tillverkad av PE med innerdiametern 0.315 m. Diffusorn har 17 st. hål med diameter 0.05 m. Avståndet mellan hålen är 1.5 m, och de är placerade horisontellt på alternerande sidor. Avståndet mellan två öppningar på samma sida blir därmed 3.0 m. Designen sammanfattas i Tabell 3.

Tabell 3: Beskrivning av diffusorn.

Parameter	Värde
Längd [m]	24
Innerdiameter [m]	0.315
Antal öppningar [-]	17
Avstånd mellan öppningar [m]	1.5 (3.0)
Öppningsdiameter [m]	0.05
Öppningsvinkel rel. horisontalplan [°]	0

## 5 Resultat

I detta avsnitt beskrivs och diskuteras initialutspädning, inlagringsdjup, intags- och utsläppsplatser samt tryckfallet i matarledningen och diffusorn räknat från vattenytan vid övergången sjö-land som visas i Figur 1.

### 5.1 Initialutspädning

Tabell 4 sammanfattar resultaten av beräkningarna för både februari- och augustiförhållanden.

Figur 2 visar schematiskt hur kylvattenutbredningen ser ut under februariförhållanden. Både nollalternativet och det planerade alternativet uppvisar samma typ av utspädnings- och spridningsmönster. Kylvattnet lämnar utloppstuben som sammanhållna jetstrålar riktade horisontellt. Kylvattnet har inledningsvis en stark positiv flytkraft eftersom den höga utsläppstemperaturen innebär att kylvattnet har en lägre densitet än recipienten. Detta leder till att jetstrålarna snabbt tappar fart och bildar en plym som först stiger 1-2 meter i vattenmassan tills den späts ut ungefär 7 gånger och nått en temperatur på omkring 4°C. Därefter viker plymen av mot botten, eftersom flytkraften blivit negativ – sötvatten är som tyngst vid 4°C. På väg mot botten späds kylvattnet ytterligare ett par gånger, ner till en temperatur på ca 2°C. Därefter kommer kylvattnet med hjälp av gravitationen rinna mot djupare områden eftersom den fortfarande har högre densitet än recipienten. I denna fas fortsätter utspädningen, men mycket långsamt.

På grund av att kylvattnet har en övertemperatur på 2°C när det lägger sig på botten är densiteten relativt hög, vilket i sin tur innebär att det inte bara flyter iväg nedsströms utan även uppströms diffusorn och i sidled på grund av gravitationen. Uppströms diffusorn kan övertemperaturen bli något högre än 2°C.

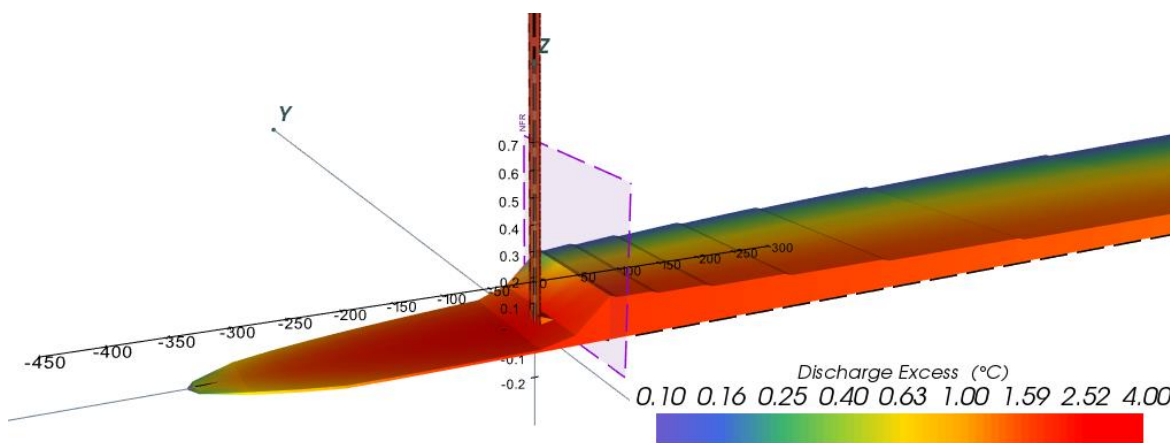
Eftersom kylvattenintaget ligger på djupare vatten än utsläppspunkten är det inte omöjligt att en del av det utsläppta kylvattnet når intagspunkten, vilket i så fall leder till att del av kylvattnet recirkulerar. Risken för recirkulation skulle minska om kylvattnet inte sögs in precis vid botten, utan exempelvis någon meter ovanför, eftersom skiktet av det utsläppta kylvatten som rinner längs botten bedöms bli mycket tunt, mindre än ett par decimeter.

*Tabell 4: Indata och resultat för de fyra beräkningsfallen. Skiktjockleken är beräknad när plymen lagrat in sig mot botten. Inlagringsdjupet är beräknat utifrån hur inlagringstemperaturen förhåller sig till den uppmätta skiktningen på djupare vatten. Antal gångers utspädning noteras vid 200 m från utsläppspunkten – ett tillräckligt stort avstånd för att plymerna ska ha lagrat in sig men inte så stort att de geometriska antagandena skall vara alltför förenklat beskrivna.*

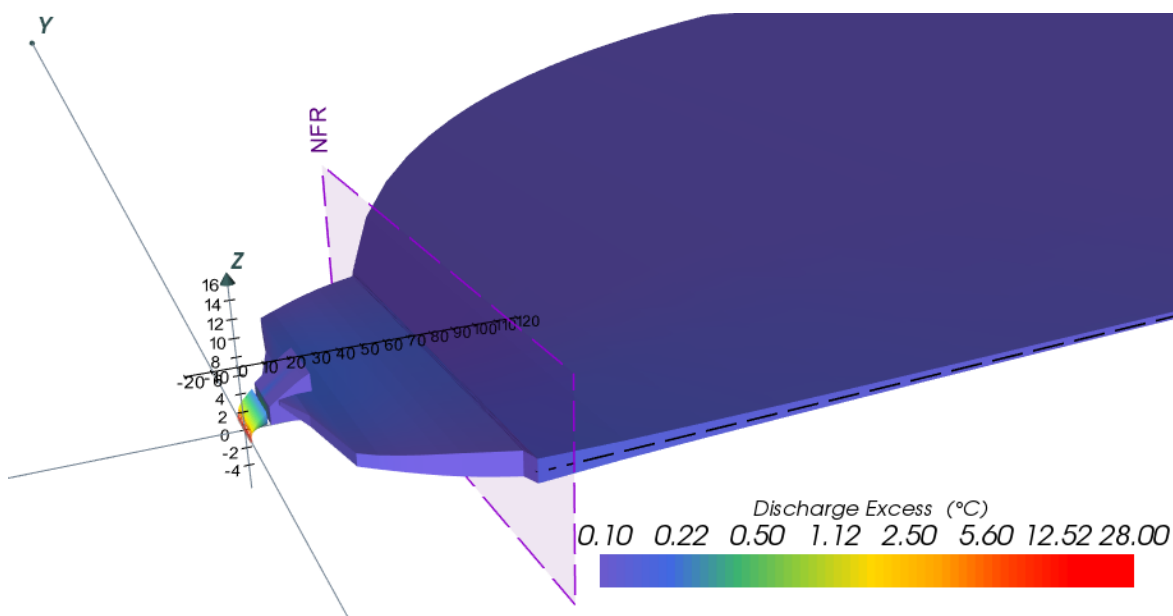
Beräkningsfall	Februari Nollalternativ	Februari Planerat alt.	Augusti Nollalternativ	Augusti Planerat alt.
Flöde [m <sup>3</sup> /s]	0.0182	0.0334	0.0106	0.0319
Intagstemp. [°C]	0.4	0.4	12.9	12.9
Utsläppstemp. [°C]	25.4	25.4	39.9	39.9
Sjötemp. @ 12 m [°C]	0.4	0.4	13.8	13.8
Bakgrundsström [m/s]	0.005	0.005	0.01	0.01
Intagsdjup [m]	16	16	16	16
Utsläppsdjup [m]	12	12	12	12
Utspäd. @ 200 m [ggr]	15	15	370	210
Inlagr.temp. [°C]	2	2	14.3	14.6
Skiktjocklek [m]	0.1	0.1-0.2	1.0	1.4
Inlagr.djup [m]	Botten	Botten	9.5	8

Figur 3 visar schematiskt hur kylvattenutbredningen ser ut under augustiförhållanden. Kylvattnet lämnar diffusorn som sammanhållna jetstrålar. Jetstrålarna tappar snabbt fart och bildar individuella plymer som sammafaller till en sammanhängande plym som i det planerade alternativet lagrar in sig ca 4 m ovanför botten. I nollalternativet sker inlagringen vid 2-3 meter ovanför botten.

Spridningshastigheten i sidled är relativ stor och plymen begränsas av att Göviken är relativt långgrund.



Figur 2: Utbredning av kylvattenplymen vid februariförhållanden. Kylvattnet stiger 1-2 meter innan det vänder nedåt mot botten. På grund av att kylvattnet har en övertemperatur på 2°C när det lägger sig på botten är densiteten relativt hög, vilket i sin tur innebär att det flyter ut även uppströms diffusorn. Uppströms diffusorn kan övertemperaturen bli något högre än 2°C. Observera att skalan i z-led skiljer sig från skalorna i x- och y-led.



Figur 3: Utbredning av kylvattenplymen under augustiförhållanden. Kylvattnet stiger först som individuella plymer innan de sammanfaller ett par meter ovanför botten. Kylvattnet fortsätter sedan att stiga som en sammanhängande plym upp till ca 4 m ovanför botten. Spridningen i sidled är relativt stor. Observera att skalan i z-led skiljer sig från skalorna i x- och y-led och att plymen "klippts av" vid ca 500 m nedströms utsläppspunkten.

## 5.2 Tryckfall i diffusor och utloppsledning

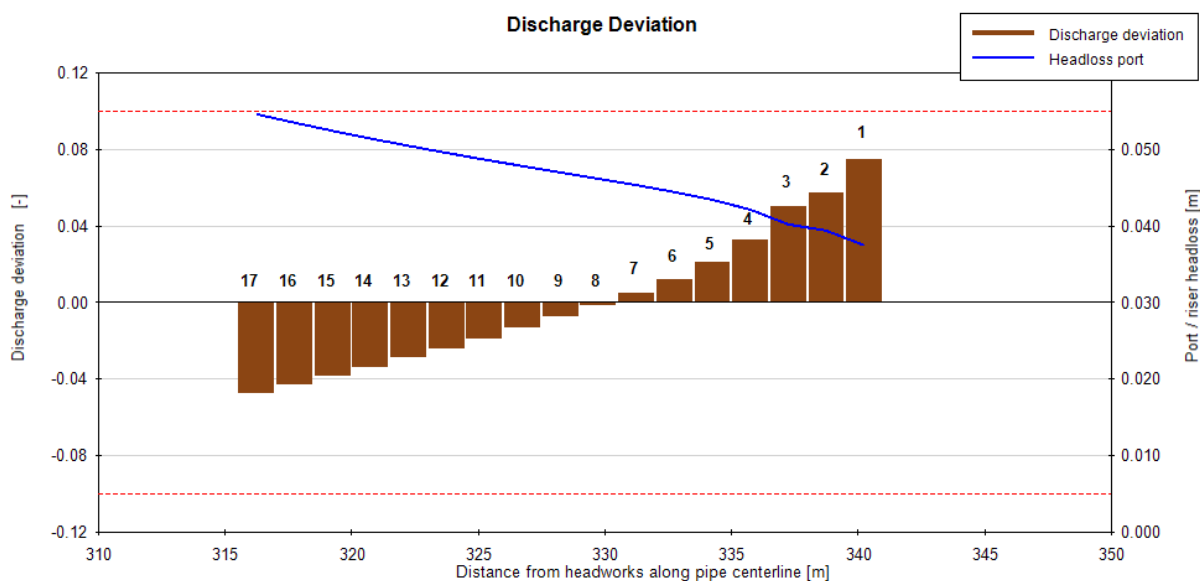
Utifrån uppdragsgivarens skiss på diffusorns position, se Figur 1, krävs en matarledning på ca 315 meter räknat närmsta vägen från strandlinjen. Enligt skissen har ledningen två krökar och den totala längden av ledningen uppskattas till 380 m.

Tryckfallet i denna del av matarledningen och diffusorn har beräknats till ca 0.7 m (vattenpelare) vid maxflödet på 0.0472 m<sup>3</sup>/s (170 m<sup>3</sup>/h). Resultatet förutsätter att djupet vid diffusorn är 12 m och att friktionskoefficienten (ekvivalenta sandråheten) är 0.0015 mm, vilket är ett ungefärligt värde för nya HDPE-rör. Om insidan av matarledningen med tiden skulle bli skrovligare på grund av avlagringar, alger och liknande, kan tryckfallet bli betydligt högre. Tabell 5 visar indata till tryckfallsberäkningarna och resultat.

Diffusorns design (antal öppningar, storlek på öppningar och avstånd mellan öppningar) bedöms vara väl anpassad för de planerade kylvattenflödena. Flödes hastigheten genom respektive utlopp är ca 1 m/s och flödet i utloppsledningen drygt 0.4 m/s i planerat februarialternativ, båda dessa värden är mycket rimliga i detta fall. Enligt ett dokument tillhandahållet av kunden (*Bilaga 2, Ansökan miljödomstolen – Jämtkraft AB, daterad 2001-07-06*) designades också diffusorn för ett flöde som ligger nära det planerade alternativet.

Tabell 5: Beräknade tryckfall för utloppsledningen från strandkanten till och med diffusorn och dess öppningar. Den totala längden av ledningen har uppskattats till 380 m. Diametern och ytråheten är satta till 0.315 m och 0.0015 mm, respektive.

Beräkningsfall	Februari	Augusti	Februari	Augusti
	Planerat alt.	Planerat alt.	Plan. maxflöde	Plan. maxflöde
Flöde [m <sup>3</sup> /s]	0.0334	0.0319	0.0472	0.0472
Temp. [°C]	25.5	39.9	25.5	39.9
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	996.9	992.3	996.9	992.3
Kin. Viskositet [m <sup>2</sup> /s]	8.84·10 <sup>-7</sup>	6.60·10 <sup>-7</sup>	8.84·10 <sup>-7</sup>	6.60·10 <sup>-7</sup>
Tryckfall [m]	0.34	0.36	0.62	0.66



Figur 4: Flödesavvikelser och tryckförluster i diffusorns samtliga öppningar vid det planerade alternativet under februariförhållanden. Alla avvikelser ligger under 10 %. Flödesavvikelsen är som minst ungefär i mitten av diffusorn.



**SMHI**

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 NORRKÖPING  
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01