

Klimatförändringarnas effekt på röding och siklöja

Examensarbete inom Tillämpad Klimatstrategi, 30 hp
Frida Moberg
2014

Handledare:

Lars Anders Hansson
Biologiska institutionen, Aquatic Ecology
Lunds universitet

Måns Lindell
Länsstyrelsen Jönköpings Län, Vattenenheten

Sammanfattning

I föreliggande examensarbete har en riskanalysbaserad metod utvecklats som medger bedömning av fiskfaunas respons till ett förändrat framtida klimat såsom modellerat av IPCC, här kallat klimatinducerat påverkanstryck. Metoden har använts på två fiskarter, röding och siklöja inom deras utbredningsområde inom Jönköpings län. Fiskarterna valdes primärt för att de är kallvattenarter och förutspås vara mest känsliga för klimatförändring men även för god vattenkemisk datatillgång. Rödingen i Vättern utgör landets största enskilda bestånd av ”storröding” och är en viktig symbolart såväl som för både fritids- som yrkesfiske. Röding förekommer inom länet i 4 sjöar, och siklöja i 76 sjöar.

Den indata som använts är mätvärden för temperatur och syre i respektive lokal där röding och siklöja är kända. Fyra olika temperaturparametrar har använts: yt-temperatur, temperatur under språngskiktet, isförekomst och vattenfärg/absorbans. Två parametrar avseende syre har använts: syre under språngskiktet samt näring (fosfor). Tre scenarier beskrivs: bästa scenariot, medelscenario och värsta scenariot.

Resultaten antyder att fiskfaunan kan komma att förändras i Jönköpings län till år 2100. Metoden visar för medelscenario att rödingen år 2100 troligen endast förekommer i Vättern (25% av lokalerna i dagsläget), och att siklöja endast förekommer i tre sjöar (4% av lokalerna i dagsläget). För att behålla dessa arter i länet krävs en förvaltning som tar hänsyn till det negativa påverkanstryck som klimatförändringen medför.

Nyckelord: Klimatinducerat påverkanstryck, klimatförändring, röding *Salvelinus umbla*, siklöja *Coregonus albula*, Jönköpings län

Keywords: Climate induces impact pressure, climate change, great Arctic Charr *Salvelinus umbla*, vendace *Coregonus albula*, Jönköping county

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 PROBLEMBESKRIVNING	1
1.2 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING	2
1.3 AVGRÄNSNINGAR	3
1.4 DEFINITIONER.....	4
1.5 MATERIAL OCH METOD	4
2. TEORETISK BAKGRUND	6
2.1 JÖNKÖPINGS LÄNS SJÖAR	6
2.2 VALDA FISKARTER.....	7
2.2.1 Rödning (<i>Salvelinus umbla</i>).....	7
2.2.2 Siklöja (<i>Coregonus albula</i>).....	10
2.3 KLIMATETS FÖRÄNDRING.....	11
2.3.1 Temperaturökning.....	11
2.3.2 Nederbörd.....	12
2.3.3 Vinter.....	13
2.3.4 Sommar.....	15
2.3.5 Höst	15
3. RESULTAT	16
3.1 METODENS UPPBYGGNAD	16
3.1.1 Vattentemperatur.....	16
3.1.2 Syre.....	18
3.1.3 Klimatinducerat påverkanstryck.....	19
3.2 METODENS ANVÄNDNING	21
3.2.1 Indata för röding	21
3.2.2 Metodens resultat för röding.....	22
3.2.2 Indata för siklöja.....	23
3.2.3 Metodens resultat för siklöja	24
4. DISKUSSION	25
5. SLUTSATSER	30
6. REFERENSER	31
BILAGOR	36

Tabell 1 Rödningens temperaturoptima vid olika utvecklingsstadier.....	8
Tabell 2 Sammanfattning av preferenser för röding.....	9
Tabell 3 Sammanfattning av preferenser för siklöja.....	10
Tabell 4 Rödningförekomster i Jönköpings län, med karaktäristiska data..	21
Figur 1 Rödning.	7
Figur 2 Rödningfångster i standardiserat provfiske i Vättern	7
Figur 3 Siklöja. Länsstyrelsens arkiv.	10
Figur 4 Lokal tillrinning under 30- årsperioden 2021-2050 för Jönköpings län.	12
Figur 5 Beräknad förändring av isperiod för Vättern Södra för år 1960 till 2100..	14
Figur 6 Antalet dagar med snö.....	14
Figur 7 Medeltillrinning i Nissan vid länsgränsen.....	15
Figur 8 Riskanalys för respektive parameter.	18
Figur 9 Uppbyggnad av klimatinducerat påverkanstryck.....	19
Figur 10 Klimatinducerat påverkanstryck i en riskanalys	20
Figur 11 Klimatinducerat påverkanstryck för röding i Jönköping län.	22
Figur 12 Klimatinducerat påverkanstryck år 2100 för siklöja	24

1. Inledning

1.1 Problembeskrivning

I IPCCs femte rapport (2013) konstateras att människans påverkan på klimatet är påtaglig, vilket ger konsekvenser på samhällets och naturens olika delar och ekosystem globalt, regionalt och lokalt (Rummukainen et al, 2011; Blenckner et al, 2004). På grund av den ökade andelen växthusgaser i atmosfären förändras klimatsystemet och ger bland annat varmare lufttemperatur, varmare hav och sjöar, höjda havsnivåer, förändrade nederbördsmonster och minskad andel snö och is (IPCC, 2013, Rummukainen et al, 2011). Det är i sin tur en av de mest bidragande orsakerna till att den biologiska mångfalden globalt sett minskar (Lennartsson & Simonsson, 2007). Enligt *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) har klimatförändringens effekter särskilt stor påverkan på sötvatten. Redan idag förekommer fysiska, kemiska och biologiska förändringar, till följd av klimatförändringar (Nickus et al, 2010).

Klimatförändringen, framförallt förändrade nederbördsmonster och ökad temperatur, blir en stressfaktor för organismerna i ytvatten (Verdonschot et al, 2010). Arter som trivs i varmare temperaturer kommer troligtvis att förflytta sig till platser de inte har funnits på förut (Moss et al, 2009; Nickus et al, 2010), och de arter som är beroende av kallt vatten för sin överlevnad och reproduktion förutspås få ett begränsat livsutrymme (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Fiskeriverket, 2007) eller till och med försvinna (Jeppesen, 2012). Även Sverige kommer att påverkas av ett förändrat klimat och effekterna väntas bli allvarliga på både terrestra och akvatiska ekosystem (SOU 2007:60, 2007).

1.2 Syfte och frågeställning

Föreliggande examensarbete är utfört vid Lunds Universitet inom den Miljövetenskapliga Institutionen. Arbetet är ett led i den tvååriga masterutbildningen Tillämpad Klimatstrategi och är på 30 hp.

Examensarbetet utgör dessutom ett underlag inom Länsstyrelsen i Jönköpings läns klimatanpassningsarbete. Klimatanpassningsarbetet i länet leds av Länsstyrelsen, kommuner och landstinget, och genomförs dels i den egna organisationen och dels med hjälp av samarbeten, konferenser och projekt, exempelvis *Klimatrådet*, projektet *Hållbar upphandling* samt tidningen *+E*. Länsstyrelsen har en länsövergripande klimatstrategi och åtgärdsplan för klimatanpassning, där remissversionen är daterad februari 2014. Den fastställda versionen skall gälla åren 2015-2019 (Länsstyrelsen Jönköpings län, 2014). Examensarbetet ingår som en utpekad åtgärd för fiskeenheten i åtgärdsplanen för klimatanpassning (Länsstyrelsen Jönköpings län, 2014, a). Föreliggande studie om klimatförändringarnas regionala effekter på fiskfaunan är underlag till att långsiktigt kunna

- anpassa förvaltningen av fiskbestånd,
- hantera utsättningsärenden av fisk samt
- prioritera och planera åtgärder i vatten med bäring på ekologi.

Syftet med examensarbetet är att ta fram en riskanalysbaserad metod och använda den så att det går att bedöma vattnekosystemens resistens mot klimatförändring, framförallt för att kunna hysa *de arter som finns i länet idag och som bedöms som tänkbart hotade av klimatförändringen*. Valda arter är röding och siklöja med utbredning inom Jönköpings län.

Frågeställningarna är:

- Hur kan en generell och standardiserad riskanalysbaserad metod (för scenariot ett förändrat klimat och för olika arter) kunna se ut?
- På vilket sätt påverkas de sjöar i Jönköpings län som i dag hyser bestånd av röding och siklöja av klimatförändringen?
- Klarar röding och siklöja i Jönköpings län förväntade klimatförändringarna utifrån de klimatscenarier som finns?

Hypoteserna är:

- De förutsättningar som krävs för att Jönköpings län ska kunna hysa ekosystem beroende av kallt vatten kommer att minska, och därmed begränsa livsutrymmet för röding och siklöja. Utifrån tillgänglig litteratur har följande parametrar valts ut, vilka anses ha en negativ effekt på röding och siklöja:
 - Ökning av näringshalten
 - Ökning av färgtalet
 - Minskad syrehaltsamt att sjön får en:
 - ökad temperatur och
 - minskad vattenföring under vissa perioder på året.
- Ekosystemen förändras i kallvattensjöar genom att:
 - Generell temperaturökning och längre period av skiktning medför lägre syrehalt, begränsar livsutrymmet i det tidigare kalla bottenvattnet samt även reproduktionen och överlevnaden för röding och siklöja.
 - Vattnets färg ökar successivt, vilket ger ett försämrat ljusklimat och lägre syrehalter, och därmed begränsar livsutrymmet för röding och siklöja. Även sikten försämras i vattnet vid t ex födosök.

1.3 Avgränsningar

Studien avgränsas till att endast omfatta två kallvattenarter, röding och siklöja samt dess utbredning inom Jönköpings län. Potentiell påverkan från till exempel nya arter och smittor tas ej hänsyn till i analysen, inte heller varmvattenarters eventuella förändring, arter som kan vara potentiella vinnare i ett varmare klimat. En ytterligare avgränsning är biologiska parametrar, föreliggande rapport konstaterar exempelvis endast att alger kan vara en orsak till att vatten blir grumligare men går ej in på vilka typer av alger eller bakterier som orsakar det. Komplexa födovävsinteraktioner behandlas inte heller. Vidare är rapporten avgränsad till att inte beröra hur den omgivande marken används, och inte heller de näringar som kan omge sjön eller vattendraget (jord- och skogsbruk), trots att markanvändningen har påverkan på sjöar och vattendrag och kan ändras på grund av ett förändrat klimat.

1.4 Definitioner

Kallvattenekosystem: Ett uttalat ekosystem med karaktärsarter för högre latituder, och därmed en lägre preferenstemperatur), exempelvis röding, lake, nors, siklöja, sik, harr, lax och öring (Olsson & Andersson, 2012 & Fiskeriverket, 2007). Dessa arter trivs endast inom ett snävt temperaturintervall, till exempel är temperaturoptimum för harr mellan 8-14 grader, och för öring och röding mellan 5-10 grader (Hjorth, 2002 & Christensen, 1981).

Årstiderna benämns i enlighet med meteorologisk standard (Länsstyrelsen Jönköpings Län & SMHI, 2012):

- **Vinter:** december, januari, februari
- **Vår:** mars, april, maj,
- **Sommar:** juni, juli, augusti
- **Höst:** september, oktober, november

Hypolimnion: den del av vattnet i en sjö som ligger *under* språngskiktet då ett sådant finns, till skillnad mot epilimnion som är den del av vattnet i en sjö som är *ovanför* språngskiktet.

Resistens: Motståndskraft, (till skillnad mot resiliens som är förmågan att *återgå* till föregående tillstånd efter en störning).

1.5 Material och metod

Den riskanalysbaserade metoden har tagits fram i föreliggande examensarbete, med en workshop som avstamp. Workshopen genomfördes i slutet av augusti 2014, med deltagande från Länsstyrelsen i Jönköpings län och SMHI. Riskanalysmetoden har döpts till *klimatinducerat påverkanstryck*. Ingående beskrivning finns i avsnitt 3.1.

Relevant information har sökts i fyra databaser inom Länsstyrelsens regi, *Fiskregistret*, *Vattenkemiregistret*, *Nätprovfiskeregistret* och *Sjöregistret*. En ytterligare metod som använts är litteraturstudie. Bedömning har gjorts, baserad på synpunkter från ett flertal sakkunniga inom området på Länsstyrelsen i Jönköpings län.

- *Nätprovfiskedatabasen* innehåller data från provfiskade sjöar i länet, samt strödata från andra län. Sjöarna provfiskas i olika intervall, exempelvis var tredje, femte eller

tionde år, och data från dessa provfisker finns i denna databas. Här finns även uppgifter om vem som utfört provfisket och vilket datum det genomfördes. Fiskarnas längd och vikt kopplas till den sjö där de provfiskades. Det första inmatade provfisket är från år 1970. I föreliggande examensarbete är nätprovfiskedatabasen använt i syfte att ta reda på när de sjöar som röding och siklöja är kända i har provfiskats.

- *Fiskregistret* innehåller data över förekomsten av fisk och kräftor i länets sjöar, vattendrag och dammar. Datan kommer bland annat från provfiske och intervjuer. I föreliggande examensarbete är fiskregistret använt i syfte att ta reda på i vilka sjöar röding och siklöja lever i. Uppgifterna i databasen sträcker sig från 1700-talet till nutid, med sammanlagt ca 50 arter och den innehåller uppgifter på arter som finns idag, men även tidigare förekommande arter. Till varje lokal samlas uppgifter över påträffad art, vem som samlade in uppgiften och på vilket sätt samt en bedömning på hur vanligt förekommande arten är.
- *Vattenkemiregistret* innehåller data över länets sjöar och vattendrag, avseende försurningsparametrar, joner, närsalter, metaller, temperatur och syre. Här finns data angående olika miljöproblem till exempel försurning, övergödning, metaller med mera och den innehåller ca 4000 unika provtagningslokaler (en sjö kan ha flera provpunkter), varav ca 1200 är vattendrag. I detta examensarbete är Vattenkemiregistret använt för att få en bild över de olika parametrarnas variation i de lokaler där de undersökta bestånden lever. Sjöar fördelar sig på följande sätt avseende medeldjup, omsättningstid, höjd över havet, vattenfärg och turbiditet:
 - Medeldjupet växlar från 0,4 m till 13,9 m (Vättern 40 m)
 - Omsättningstiden varierar från 1 dag till 9,56 år, (60 år för Vättern).
 - Höjd över havet varierar från 88 meter till 345 m
 - Färgtalet varierar från 0 till 2300 mg Pt/l
 - Turbiditeten växlar från 0 till 150 FNU.
- *Sjöregistret* innehåller data över länets sjöar, bland annat avrinningsområdets storlek, sjöyta och djup. I detta examensarbete är sjöregistret använt för att skapa överblick över de sjöar i länet som idag hyser bestånd av röding respektive siklöja. I länet finns 1882 sjöar (sjöar delvis utanför länet medräknade), varav
 - 3 st är större än 100 km²,
 - 14 st är mellan 10 och 100 km²
 - 129 är mellan 1 och 10 km²
 - 556 är mellan 0,1- 1 km²

- 1180 är mellan 0,01 och 0,1 km²

2. Teoretisk bakgrund

De klimatscenarier som SMHI presenterar bottenar i 16 klimatmodeller, varav 12 sträcker sig till år 2100. Referensperioden är 1961-1990 (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012). Även om siffrorna i vissa fall kan tolkas som precisa är klimatscenarier alltid kantade av osäkerhet.

2.1 Jönköpings läns sjöar

Jönköpings län har åtta avrinningsområden (Motala Ström, Emån, Mörrumsån, Helge å, Lagan, Nissan, Ätran och Göta Älv). Tre av dem (Lagan, Motala Ström och Emån) täcker tillsammans ca 80 % av länets yta (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012). Eftersom Jönköpings läns landskap karaktäriseras av Sydsvenska höglandet, påverkas länets östra och västra delar olika av klimatsystemet. Östra delen har idag ett torrare klimat än den västra, vilket beror på att vädersystem från Atlanten hävs över höglandet och släpper ifrån sig nederbörd i väster (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012).

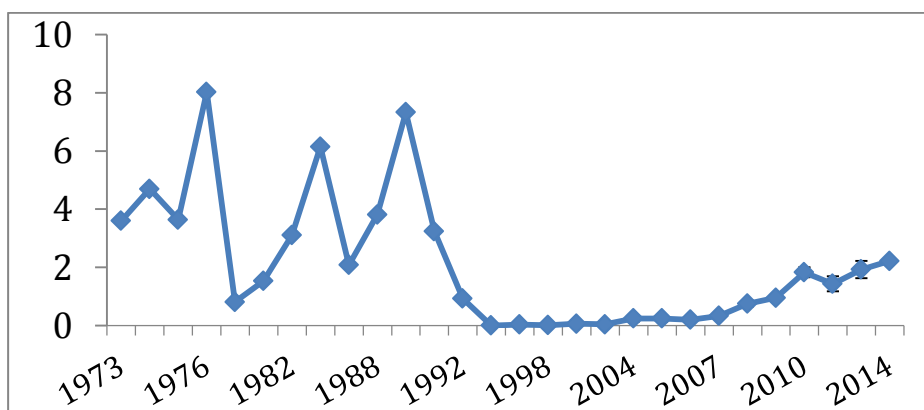
2.2 Valda fiskarter

2.2.1 Röding (*Salvelinus umbla*)



Figur 1 Röding. Fotograf: Jens Mattson th och Klas Balkhed tv.

Storrödingen (*Salvelinus umbla*) förekommer i kallt vatten med god syretillgång (Hjorth, 2002 & Christensen, 1981). Rödingen bedöms vara Akut hotad (CR) enligt Artdatabanken. Den finns i 14 kända lokaler i Sverige i nuläget, vilka sträcker sig i ett brett band omkring Dalälven (Artdatabanken, 2010). I Jönköpings län är den känd i fyra lokaler med naturligt bestånd, där Vättern är den sydligaste sjön i Sverige med ett storrödingbestånd som reproducerar sig naturligt, men även här har beståndet under en lång tid minskat, delvis på grund av en ökad medelvattentemperatur (Länsstyrelsen Jönköpings län, 2011, arbetsmaterial, & Jeppesen et al, 2012). År 2005 infördes ytterligare fiskerestriktioner i Vättern, för att säkerställa beståndet, bland annat infördes minimimått och fiskefria områden (ca 15 % av Vätterns yta). Sedan dessa åtgärder implementerades har rödingbeståndet ökat något, Figur 2 (Vätternvårdsförbundet, 2013).



Figur 2 Rödingfångster i standardiserat provfiske i Vättern, mätt i kg/nät, mellan åren 1973 och 2014. Källa: Vätternvårdsförbundet, 2013.

Elliott och Elliott (2010) har studerat temperaturoptima för fjällrödningens (*Salvelinus alpinus*) utvecklingsstadier (rom, romkorn med gulesäck, stirr och smolt, samt tillväxt). ”Incipient lethal temperature” (ILT) innebär den temperatur då endast hälften av populationen överlever, med både ett nedre och övre gränsvärde, medan ”Ultimate lethal temperature” (ULT) står för den temperatur som fisken överlever maximalt 10 minuter i (Tabell 1). Den nedre temperaturgränsen har ingen relevans i ett förändrat klimat då endast ökade temperaturer förutspås, men den övre temperaturgränsen har desto större relevans. Rödningen leker under senhösten/ tidig vinter, då romstadiet har temperturoptimum 1-5 grader. Rommen läggs på 1-5 meters djup (Vätternvårdsförbundet, 2008), där syrehalten behöver vara minst 9 mg/l vid 5 grader. Överstiger temperaturen 5 grader överlever endast ett fåtal romkorn (Elliott & Elliott, 2010). Romstadiet uppges vara det mest känsliga stadiet, framförallt för höjda vattentemperaturer, då romkornen kläcks tidigare vilket gör att ynglen riskerar att kläckas innan tillräckligt med föda finns tillgänglig, s.k. mis-match mellan konsument och resurs (Cushing, 1990). För det utvecklingsstadiet då rödningen (*Salvelinus alpinus*) endast lever på sin gulesäck är den övre ILT-gränsen 19-21 grader, medan den ökar något till 22-23 grader vid nästkommande utvecklingsstadier (se Tabell 1). Över dessa temperaturer stressas fisken, och om det inte finns några refuger för den att ta sig till är det sannolikt att den inte klarar sig (Elliott och Elliott, 2010). Vad gäller tillväxt för rödningen (*Salvelinus alpinus*) i Sverige är temperaturoptimumet 15.2- 17.2 grader (Elliott & Elliott, 2010).

Forskning i Vättern visar att storrödningens (*Salvelinus umbla*) utvecklingsstadier (tills gulesäcken är förbrukad) de senaste åren successivt har krävt färre dagar än på 1980-talet (Setzer, 2012).

Tabell 1 Rödningens temperaturoptima vid olika utvecklingsstadier. ”Incipient lethal temperature” (ILT) innebär den temperatur då endast hälften av populationen överlever, med både ett nedre och övre gränsvärde, medan ”Ultimate lethal temperature” (ULT) står för den temperatur som fisken överlever maximalt 10 minuter i. Källa: Elliott & Elliott (2010).

Salvelinus alpinus	Nedre temperaturgräns (° C)	Övre temperaturgräns (° C)
Romkorn	0	8
Gulesäckstadie		
<i>Incipient (ILT)</i>	0-0.3	19-21
<i>Ultimate (ULT)</i>	0-0,2	23-27
Stirr och Smolt		
<i>Incipient (ILT)</i>	0-1	22-23
<i>Ultimate (ULT)</i>	-1.0	26-27
<i>Föda</i>	0.2	21-22

Ytvattentemperaturen är direkt beroende av lufttemperaturen och solinstrålning. En ökning av lufttemperaturen får till följd att ytvattentemperaturen ökar. I djupa sjöar är det inte troligt att vattentemperaturen blir kritisk genom hela vattenmassan, vilket innebär att när ytvattentemperaturen stiger till ca 22-23 grader, har rödingen möjlighet att söka sig till djupare och kallare vatten (Elliott & Elliott, 2010). Studier har visat att på grund av höjda ytvattentemperaturer undviker rödingen de översta 10 metrarna, samt det bottenlager där syrehalten understiger 2.3- 3.1 mg/l. Vidare gynnas rödingen troligen av kalla vintrar med isläggning, för reproduktionens skull, vilket i ett förändrat klimat med ökad temperatur och färre isvintrar därför bör missgynna arten (Länsstyrelsen Jönköpings län, 2011; Setzer, 2012 & Fiskeriverket, 2007). Isen fyller en vindskyddande funktion. Rommens överlevnad försvåras då de utsätts för den fysiska störning av bland annat vind och vattenomrörning som isen i normala fall förhindrar. Rödingens kritiska perioder i ett förändrat klimat bör därför vara senhösten (höga yt- och bottenvattentemperaturer under rommens utveckling) och vinter (minskat istäcke).

Det finns i nuläget inga studier som påvisar bevis för att rödingen anpassar sig till högre vattentemperaturer, i takt med ett förändrat klimat, avseende tillväxt, överlevnad och föda (Elliott & Elliott, 2010). Jeppesen et al (2012) visar i sin studie att bestånden av storröding minskar, framförallt i de grunda sjöarna. En orsak kan vara just ökande vattentemperaturer (Setzer, 2012 & Jeppesen et al, 2012). Se Tabell 2 för sammanfattning.

Tabell 2 Sammanfattning av preferenser för röding. Studier visar att den kritiska perioden för röding är senhöst och vinter, då lekperioden infinner sig. Källa: *Salvelinus umbla*: Jeppesen et al (2012), Fiskeriverket (2007), Setzer (2012) och för *Salvelinus alpinus* Elliott & Elliott (2010).

Art	Kritisk period	Motivering
Röding	Senhöst och vinter	<ul style="list-style-type: none"> • Mindre isläggning ger mindre reproduktion • Varmare vatten ger tidigare kläckning, passar ej med planktonproduktion • Ökad temperatur i vattnet på hösten ger längre tid av skiktning och därför en missgynnad reproduktion • Romstadiet känsligast

2.2.2 Siklöja (*Coregonus albula*)



Figur 3 Siklöja. Länsstyrelsens arkiv.

Siklöja finns som två ekotyper inom arten, höstlekande (*Coregonus albula*) och vårlekande (*Coregonus trybomi*) (Nygren, 2014, b). Siklöja har i princip samma preferenser som röding vad gäller temperatur och syretillgång, därför menar flera forskare att de slutstatser som gäller för röding även gäller för siklöja och tvärtom (Jeppesen et al, 2012; Elliott & Bell, 2011). Några detaljskillnader redovisas dock: Temperaturen +18 °C används som den övre temperaturgränsen, och syrehalten 2 mg/l som den nedre syregränsen för siklöja (Elliott och Bell, 2011). Siklöjans vuxenstadium verkar vara det mest känsliga stadiet för låga syrekoncentrationer och höga temperaturer, medan romstadiet klarar vattentemperaturer upp till +7.2- 8.5 °C och larvstadiet upp till +20- 22 °C (Elliott och Bell, 2011). Siklöja missgynnas av en ökad brunifiering, ett syrefattigt bottenskikt under sommaren, samt predation från gös (Länsstyrelsen Jönköpings Län, 2014, b), vilka alla tre sannolikt ökar till år 2100. Siklöja anses ha en nyckelroll i stora sjöar, exempelvis Vättern, då de är en viktig födokälla för rovfisk (Jeppesen et al, 2012; Fiskeriverket, 2007). De senaste 20 åren har bestånden av siklöja uppvisat en nedgång i södra Sverige, orsaken anses vara klimatförändringen (Elliott och Bell, 2011 och Jeppesen et al, 2012). Siklöjans rekrytering ökar då det varit isvinter (Fiskeriverket, 2007), vilka i ett förändrat klimat sannolikt kommer att minska i antal och kanske till och med helt försvinna, bland annat i Vättern (Länsstyrelsen Jönköpings Län, 2012). Se Tabell 3 för sammanfattning.

Tabell 3 Sammanfattning av preferenser för siklöja. Studier visar att siklöjans kritiska perioder är sommar och vinter på grund av den missgynnas av varmare vatten och mindre isläggning. Källa: Fiskeriverket (2007), Jeppesen et al (2012), Länsstyrelsen Jönköpings län (2014, b) och Elliott & Bell (2011)

Art	Kritisk period	Motivering
Siklöja (höstlekande)	Vinter och sommar	<ul style="list-style-type: none">• Missgynnas av varmare vatten• Rekryteringen missgynnas av färre isvintrar• Vuxna individer känsligast• Kläckningen passar ej med planktonproduktionen på våren

2.3 Klimatets förändring

I detta avsnitt redogörs för de parametrar och för de kritiska perioder för respektive fiskart som har relevans i ett förändrat klimat. Därför redovisas endast parametrarna temperatur och nederbörd, samt årstiderna vinter, sommar och höst.

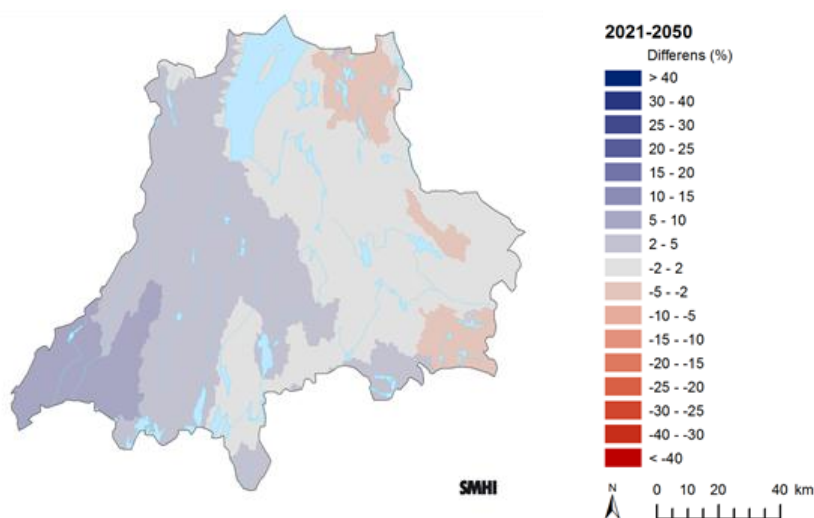
2.3.1 Temperaturökning

På grund av en generellt ökad temperatur i luften ökar vattentemperaturen i sjöar och vattendrag, både vid ytan och i det djupa vattnet (Nickus et al, 2010; Gitay et al, 2002; Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012; Klimatanpassningsportalen, 2013).

Globalt spås luftmedeltemperaturen sannolikt öka med 2-7 grader och i Jönköpings län i medel öka med ca 4°C, från dagens +5,6 °C till +9- 10°C år 2100. De senaste årtionden har lufttemperaturen ökat globalt sett med 0,15- 0,3°C per årtionde (Jeppesen et al, 2014). När lufttemperaturen ökar, ökar även vattentemperaturen. Framförallt ökar medeltemperaturen över året i ytvattnet, vilket medför en brantare temperaturgradient genom vattenmassan (Janowski, 2006). Ökade vattentemperaturer leder troligtvis till sämre förutsättningar för kallvattenarter (Moss et al, 2009) som exempelvis röding och siklöja (Fiskeriverket, 2007; Nickus et al, 2010).

2.3.2 Nederbörd

Klimatscenarioer visar att Sverige i framtiden kommer att få mer *extrem nederbörd*, vilket ger en ökad avrinning. I Jönköpings län förutspås de kraftiga regnovädren öka med ca 30 % och årsmedelnederbörden med 10-30 % (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012). På grund av bland annat mer extrem nederbörd beräknas vattenflödena att öka, framförallt under vintern, samt bli lägre under sommaren. Länets landskapsskillnad, med en idag torrare östra del och en något blötare västra, kommer sannolikt att behållas i ett förändrat framtida klimat. Klimatscenarioer visar att exempelvis den lokala tillrinningen i väster *ökar* med 2-10%, medan den i öster *minskar* med 2-20% (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012) (se Figur 4).



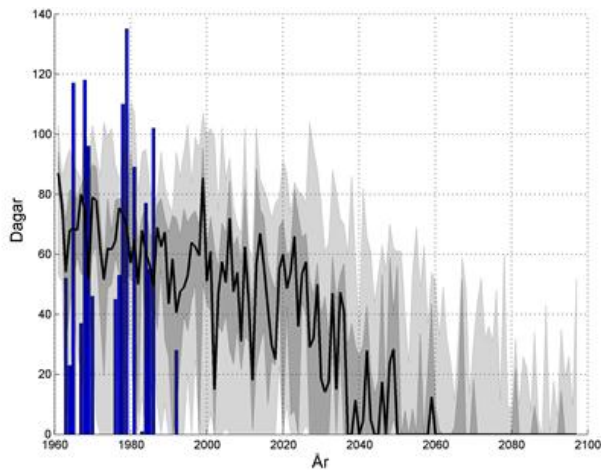
Figur 4 Lokal tillrinning under 30-årsperioden 2021-2050 för Jönköpings län, med referensperioden 1960-1990. Källa: Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI (2012).

2.3.3 Vinter

Ett varmare vinterklimat förutspås i Jönköpings län innebära att medeltemperaturen ökar med ca 5 °C, från -3 till ca +2°C till år 2100. Jämfört med årets alla årstider beräknas temperaturskillnaden bli störst under vintern (Länsstyrelsen Jönköpings Län & SMHI, 2012).

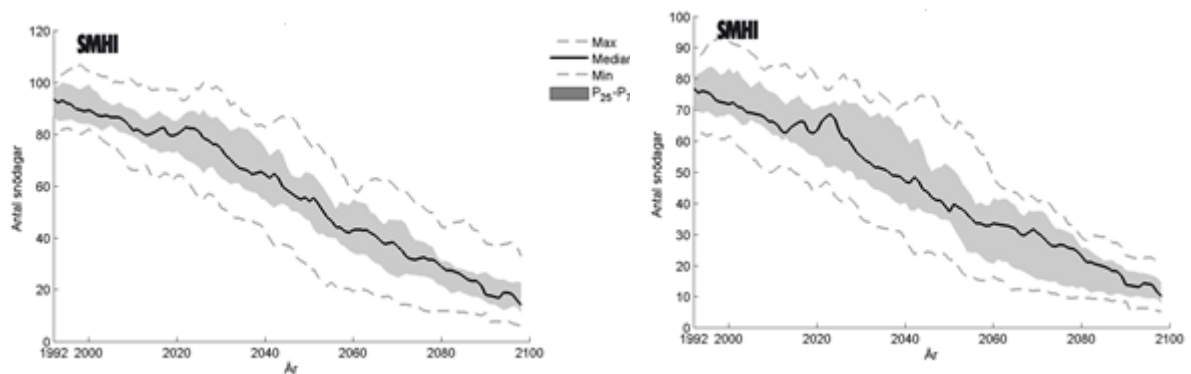
Varmare vintrar får också till följd att isen lägger sig senare och går upp tidigare, om den alls lägger sig (Moss et al, 2009; Arvola, 2010; Gitay et al, 2010, Austin & Colman, 2007), vilket påverkar ekosystemen i sötvatten kraftigt (Nickus et al, 2010). Islossningen äger rum tidigare och tidigare på året, den trenden är tydligare i södra Sverige än i norra (Weyhenmeyer, 2007). Till år 2100 beräknas istäckningen ha minskat med 1-2 månader i norra Europa (Bleckner et al, 2010), vilket sannolikt får konsekvenser i form av en ökning av halten närsalter och ökade mängder av cyanobakterier och kiselalger (Weyhenmeyer, 2007; Bleckner et al, 2010), på grund av cirkulation i vattenmassan under hela året med minskad sedimentation som följd. Konsekvensen kan bli ekosystemförändringar och möjligen påföljande fiskdöd (Bleckner, et al, 2010; Arvola et al, 2010). Flertalet studier berör en förkortad islägningsperiod, framförallt i norra Europa (Moss et al, 2009; Weyhenmeyer, 2007; Bleckner et al, 2010; Leppäranta, 2010, Austin & Colman, 2007).

I Jönköpings län kommer istäcket helt att saknas år 2100, dock kommer det att variera mellan sjöarna. Beräkningar visar att en (1) grads höjning av luftmedeltemperaturen, medför upp till 35 dagars förändring av istäcket (Weyhenmeyer, 2007). De sjöar som islägningsperioden år 2100 är genomförd på i Jönköpings län är Bolmen, Sommen, Vidöstern och Vättern. I Sommen förutspås istäcket endast förekomma några enstaka år vid sekelskiftets slut. I Vättern förutspås det, enligt medianvärdet, saknas helt år 2100 (se Figur 5) (Länsstyrelsen Jönköpings Län & SMHI, 2012).



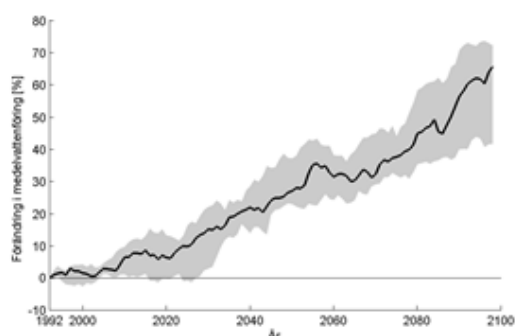
Figur 5 Beräknad förändring av isperiod för Vättern Södra för år 1960 till 2100. De blå staplarna är observerade värden, den svarta heldragna linjen motsvarar medelscenariot, och de grå mörkare fälten visar 25:e respektive 75:e percentilen och de ljusgrå fälten visar det största och minsta värde som klimatberäkningarna fått fram. Källa: Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, s 98, 2012.

Även snötäcket minskar på grund av varmare vintrar (Bleckner et al, 2010). I Jönköpings län förutspås antalet dagar med snö minska kraftigt, både i öster och väster (se Figur 6). Medianvärdet över länet visar en skillnad (jämfört med referensperioden) på 1-3 månader (Länsstyrelsen Jönköpings Län & SMHI, 2012).



Figur 6 Antalet dagar med snö. Emån till vänster och Lagan till höger. Svarta linjen motsvarar medianvärdet, de ljusgrå fälten visar 25:e respektive 75:e percentilen och den streckade linjen visar det största och minsta värdet som klimatberäkningarna fått fram. Källa: Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI (2012).

Vidare förutspås medeltillrinningen i länet under vintern att öka år 2100, se Figur 7. Tendensen med högre flöden på vintern är tydlig (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012). Förutom en ökning av flödet på vintern är bland annat beräknas även en ökning av vattenfärgen (Weyhenmayer, 2007).



Figur 7 Medeltillrinning i Nissan vid länsgränsen, mellan åren 1992 och 2100 under vintern, mätt i m^3/s . Den svarta linjen visar medianvärdet och det grå fältet visar den 25:e respektive 75:e percentilen. Källa: Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI (2012).

2.3.4 Sommar

En *varmare sommarperiod* förutspås innebära högre medeltemperatur, minskade nederbördsmängder och ökad avdunstning. I Jönköpings län beräknas vattenflödena bli lägre år 2100 än under referensperioden. Sommaren är den period då vattenflödena normalt sett är lägst, och kan då i ett framtida klimat komma att bli ännu lägre. I vissa provpunkter beräknas flödet minska med ca 30% (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012)..

Vidare kommer luftmedeltemperaturen troligtvis att öka från dagens $+14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$, vilket innebär en ökning med ca $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dessutom kommer antalet dagar med dygnsmedeltemperaturer på över $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sannolikt att öka med 15 dagar per år jämfört med referensperioden (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012). Medeltillrinningen kan också komma att minska, på grund av bland annat minskade nederbördsmängder, även den jämfört med referensperioden (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012).

2.3.5 Höst

Medeltemperaturen under *hösten* beräknas i Jönköpings län att öka från ca $+6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ under referensperioden till ca $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ år 2100. Det innebär en ökning i medeltal med $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Länsstyrelsen Jönköpings län & SMHI, 2012).

3. Resultat

3.1 Metodens uppbyggnad

För att analysera klimatförändringens effekter på fiskfauna används ett antal parametrar. Parametrarna används i syfte att beskriva de sjöar där bestånden av siklöja och röding finns idag, men också hur de kan komma att påverkas av ett förändrat klimat och därigenom hur arternas resistens gentemot klimatförändringens effekter kan komma att bli. Metoden beskrivs steg för steg i bilaga 8. Följande parametrar har använts:

- Vattentemperatur
 - Isförekomst
 - Vattenfärg
 - Vattentemperatur under språngskiktet
 - Yttemperatur (taget på 0,5 meters djup)
- Syrgas
 - Näring (mätt som totalfosfor och dess påverkan på syrgashalten)
 - Syrgashalten under språngskiktet

3.1.1 Vattentemperatur

Vattentemperaturen har fyra underparametrar: *isförekomst*, *vattenfärg*, *temperatur under språngskiktet* och *yttemperatur*. Vattentemperaturen påverkas av dessa fyra på olika sätt.

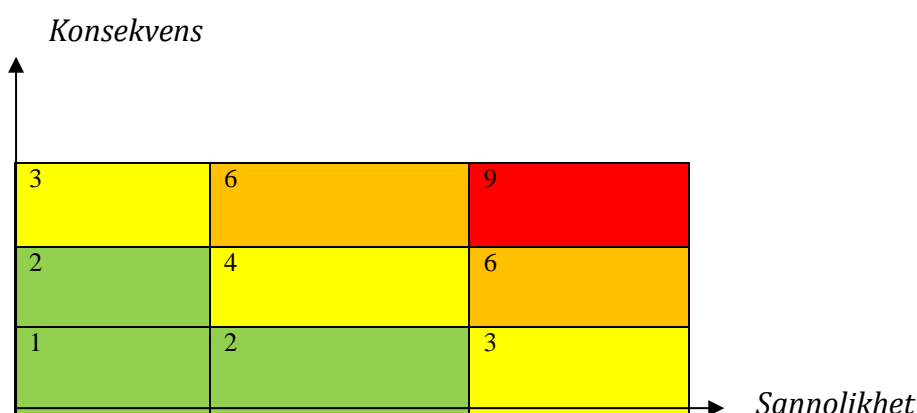
Is och *islossning* har den idag snabbaste förändringstakten, som konsekvens av klimatförändringen (Weyhenmeyer, 2007). Det innebär i Jönköpings län att merparten av sjöarna beräknas sakna istäcke år 2100, i synnerhet de större. Det får konsekvenser på vattentemperaturen då vattnet absorberar solinstrålning på grund av ändrad reflexionsförmåga (albedo). Avsaknad av istäcke påverkar även de fiskarter som leker på grunda partier i sjön, exempelvis röding, och där isen fyller en vindskyddande funktion. Rommens överlevnad försvåras då de utsätts för den fysiska störning av bland annat vind och vattenomrörning som isen i normala fall förhindrar. I Vättern beräknas istäcket helt komma att försvinna till år 2100 (Länsstyrelsen i Jönköpings län & SMHI, 2012).

Vattenfärg valdes därför att även den är starkt sammankopplad till klimatförändringen. *Vattenfärgen* har i genomsnitt ökat med +10 % per år i södra Sverige (+3 % generellt för hela Sverige) sedan 1984. Islossning och vattenfärg samvarierar (Weyhenmeyer, 2007). Det verkar inte rimligt att vattenfärgens ökade utveckling fortgår linjärt till år 2100, en mer rimlig bedömning kan vara att takten avstannar inom viss framtid (ca 20-30 år) (M. Lindell, personlig kommentar). Därför görs analysen på förändringstakt på 10 % i 20 år framöver från och med 2014 (10 % ökning i 20 år, summan räknas som värdet för år 2100). En ökad vattenfärg bidrar, i kombination med flera andra faktorer såsom solinstrålning och värmedistribution i sjön, till att solinstrålning absorberas och vattentemperaturen stiger, därför återfinns den som en parameter under *temperatur*.

Temperaturen under språngskikten är av avgörande betydelse för vissa fiskarter då de lever i dessa djupa vatten där temperaturen, på grund av språngskiktet, är lägre än vid ytan. Då ytvattnet värms upp på sommaren tar sig exempelvis rödingen ner till vattenmassan under språngskiktet, hypolimnion, för att där är temperaturen med större sannolikhet inom rödingens temperaturoptima. Analysen är gjord på temperaturen som är uppmätt i augusti mellan botten och språngskiktet (ca 50 % av hypolimnion). *Sjödjupet* har alltså betydelse, då det i grunda sjöar oftast inte bildas något språngskikt. Ytvattentemperaturen påverkas direkt av lufttemperaturen, och för vissa av de utvalda arterna, exempelvis röding, är ytvattentemperaturen på hösten en kritisk faktor att ta hänsyn till. På senhösten infaller exempelvis rödingens reproduktionsperiod och för romstadiet är maxtemperaturen +5 °C, därför är bedömningsklasserna satta utifrån det (se bilaga 8). För siklöja gäller däremot den kritiska gränsen +18 °C i ytvattnet på sommaren (se bilaga 8). Det finns inget enkelt samband mellan varken vattentemperaturen under språngskiktet idag och år 2100, eller lufttemperatur och vattentemperatur i ett förändrat klimat.

Indexet över temperaturparametrarna för röding återfinns i bilaga 5 och för siklöja i bilaga 2.

De fyra temperaturparametrarna sätts var för sig in i en riskanalys, enligt Figur 8. Varje parameter bedöms således med en sannolikhet och en konsekvens, och får en poäng i riskanalysen mellan 1 och 9. Med andra ord är index en sammansatt risk.



Figur 8 Riskanalys för respektive parameter. Y-axeln visar *konsekvens*, och x-axeln *sannolikhet* med tre steg var (1-3).

3.1.2 Syre

Parametern *syre* har två underparametrar, *näring (totalfosfor)* och *syre under språngskiktet*. I detta fall avser *näring* halten totalfosfor då fosfor oftast är den begränsande faktorn i limniska system. Läckaget av fosfor beräknas att öka med ca 1 % per år till år 2100, då mer extrem nederbörd faller över länet. Därmed påverkas syrehalten, som i sin tur kan komma att minska. I riskanalysmetoden beräknas syrehalten minska med 1 % per år till år 2100.

Syre under språngskiktet är relevant att ha med i analysen, då de arter som gärna befinner sig under språngskiktet är beroende av en syrehalt som generellt behöver vara över 2-3 mg/l.

Analysen är gjord på temperaturen som är uppmätt mellan botten och språngskiktet (ca 50 % av hypolimnion) för att undvika missvisande bottenprov, samt ett medelvärde de tre senaste åren (2011-2013). Där data saknas för 2013 används istället 2010-2012). Inte heller här finns något enkelt samband att arbeta utifrån. Data som beskriver hur syrehalten under språngskiktet varierar från år till år, men det finns inga data till författarens kännedom varken i litteratur eller hos forskningsinstitutioner som beskriver hur den förutspås att förändras i ett förändrat klimat till år 2100, förutom att syret under språngskiktet beräknas att minska.

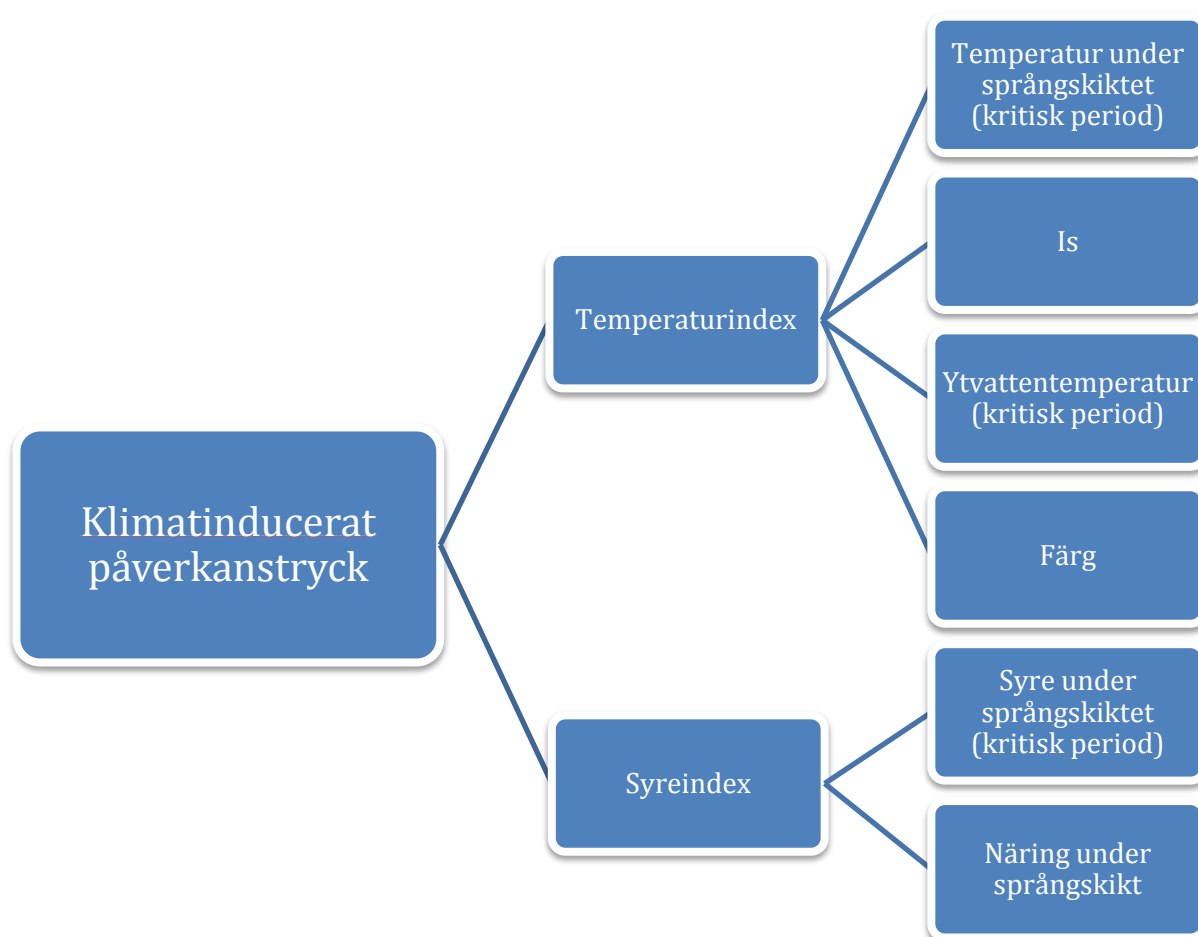
Indexet över syreparametrarna för röding återfinns i bilaga 6, och för siklöja i bilaga 2. Alla bedömningsklasser redovisas i bilaga 8.

De två syreparametrarna sätts in i en riskanalys på samma sätt som temperaturparametrarna.

3.1.3 Klimatinducerat påverkanstryck

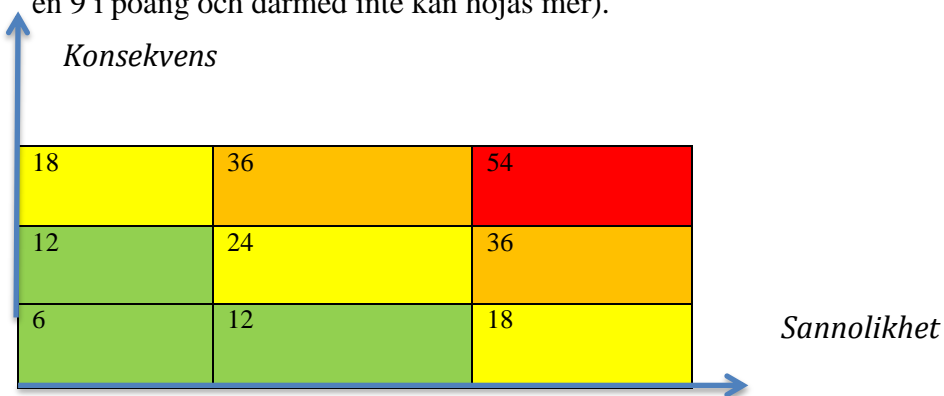
Riskanalysens fyra temperaturparametrar (is, färg, språngskikt och yttemperatur) adderas till ett temperaturindex och de två syreparametrarna (näring och syre under språngskiktet) adderas till ett syreindex, vilka sedan adderas ihop till en totalsumma. Alla parametrar är därmed lika värda, och har även olika enheter men då de sedan adderas ihop förlorar enheterna sin relevans. Syre och färg har klassindelats baserat på Naturvårdsverkets bedömningsgrunder, övriga grundar sig på bedömning.

Totalsumman benämns som klimatinducerat påverkanstryck för respektive art (Figur 9).



Figur 9 Uppbyggnad av klimatinducerat påverkanstryck. Det klimatinducerade påverkanstrycket består av två huvudparametrar, temperaturindex och syreindex. De förgrenar sig vidare, där temperaturindexet är uppbyggt av fyra underparametrar, och syreindexet av två underparametrar.

Summan av varje parameter sätts in i en riskanalys, med färgkoder (se Figur 8) där varje enskild parameter kan ha ett värde mellan 1 och 9. Eftersom det totalt är sex parametrar, kan totalsumman då bli ett intervall mellan 6 (6 parametrar*1 poäng) och 54 (6 parametrar*9 poäng), enligt Figur 10. Poängintervallet omsätts till färger, där en totalsumma över 37 (rött) innebär att arten kommer få svårigheter att överleva (kritisk risknivå), orange motsvarar index 25-36 poäng (hög risknivå), gul 13-24 poäng (medium risknivå) och grön 6-12 poäng (låg risknivå) (Figur 10). I de sammanfattande diagrammen (avsnitt 3.2) visas nivåerna genom färgade horisontella streck. Det klimatinducerade påverkanstrycket visas genom blåa diamanter. För att utöka känsligheten på metoden och påvisa felmarginial har även ett värsta scenario och bästa scenario tagits fram. *Värsta scenariot* (rött plus) definieras av att alla parametrar på medelscenario höjts ett steg i riskanalysen, och *bästa scenariot* (grönt plus) av att alla parametrar sänkts ett steg. Det får till följd att medelscenario i vissa fall ligger mycket nära *värsta* -scenario (eftersom många parametrar redan i medelscenario har bedömts med en 9 i poäng och därmed inte kan höjas mer).



Figur 10 Klimatinducerat påverkanstryck i en riskanalys, där y-axeln representerar konsekvens och x-axeln sannolikhet. Siffrorna motsvarar de sammanlagda poängen av sex parametrar i var sin riskanalys. Röd motsvarar en kritisk risknivå, orange en hög risknivå, gul en medel risknivå och grönt en låg risknivå.

I vissa sjöar saknas en eller flera data, exempelvis vattenfärg eller temperatur under språngskiktet. Dessa sjöar har en stjärna strax efter sitt namn (se till exempel Bilaga 1-8). I de sammanfattande diagrammen har dessa lokaler tagits bort (avsnitt 3.2).

3.2 Metodens användning

3.2.1 Indata för röding

Storrödingen är känd i fyra sjöar i länet, Vättern, Mycklaflon, Sommen och Ören. Av dessa fyra sjöar reproducerar den sig i dagsläget inte i Mycklaflon (Tabell 4). Generellt varierar *maxdjupet* i dessa sjöar mellan 36 och 50 meter, med Vättern som undantag på 128 meter. Enligt vattenkemiregistret och provfiskeregistret är *vattentemperaturen vid ytan* mellan 20,4°C och 22,7°C i augusti, medan *temperaturen under språngskiktet* varierar mellan 7,9°C och 10°C i de fyra sjöarna (Tabell 4). Mellan 2010 och 2012 är *ytvattentemperaturer* uppmätta som överstiger den kritiska maxgränsen för röding (t ex i Ören). *Syrehalten under språngskiktet* i rödingsjöarna i länet varierar mellan 6,9 och 10,2 mg/l.

Tabell 4 Rödingförekomster i Jönköpings län, med karaktäristiska data. Data mellan åren 2010 och 2012, enligt vattenkemiregistret och provfiskedatabasen på Länsstyrelsen i Jönköping. * betyder att datan är äldre än 2010.

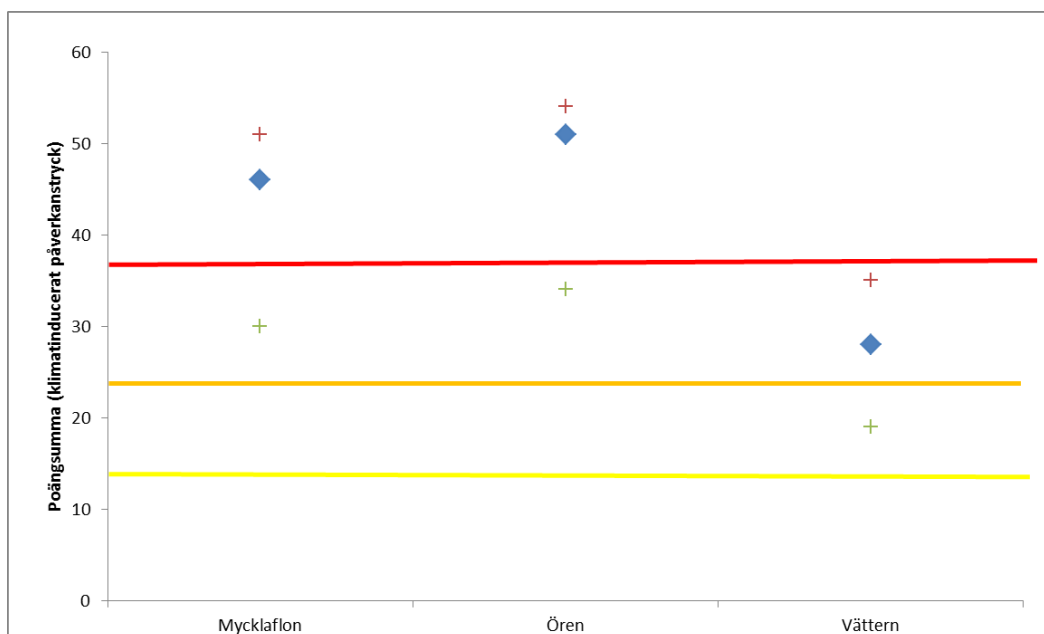
RÖDING	Syre under språngskiktet (mg/l)	Maxdjup (m)	Färgtal mg Pt/l	Temperatur (yta, botten)	Beståndstatus
Mycklaflon	6,44	40,5	25	21,7 9,75	Ingen naturlig reproduktion. Tendens: beståndet minskar
Ören	6,93	35,8	21	22,7 7,94	Mycket svagt, minskade
Vättern	10,2	128	7	20,4 10	Tendens: beståndet ökar
Sommen	3,45*	53	Databrist	11,33*	Svagt, men livskraftigt

3.2.2 Metodens resultat för röding

Det klimatinducerade påverkanstrycket (bilaga 7) visar följande för respektive sjö.

Poängsumman anger det klimatinducerade påverkanstrycket för medelscenariot, och poängen inom parentes anger det klimatinducerade påverkanstrycket för bästa scenariot respektive värsta scenariot, Figur 11.

- I Mycklaflon beräknas det klimatinducerade påverkanstrycket till 46 poäng (30-51 poäng), vilket är en kritisk risknivå. Ingen naturlig reproduktion har dokumenterats i Mycklaflon sedan 2003.
- I Ören beräknas det klimatinducerade påverkanstrycket till 51 poäng (34-54 poäng), vilket är en kritisk risknivå (medelscenariot har flertalet parametrar som återfinns på den högsta, kritiska nivån, därför är det en liten skillnad mellan medelscenarioets och värsta scenariots poängsummor).
- Sommen saknar nödvändiga data för perioden 2010-2012, trots det är en analys gjord men på data äldre än 2010. De presenteras endast i diagrammet i bilaga 7.
- I Vättern beräknas det klimatinducerade påverkanstrycket till 28 poäng (19-35 poäng), vilket är en hög risknivå.



Figur 11 Klimatinducerat påverkanstryck för röding i Jönköping län. Endast de tre sjöar med alla data beskrivs. Y-axeln representerar de poäng varje lokal får i riskanalysen (klimatinducerat påverkanstryck) och x-axeln visar lokalerna. Gult horisontellt streck motsvarar den poängsumma där risknivån övergår från låg till medium (13 poäng), orange streck motsvarar den poängsumma där risknivån övergår från medium till hög (25 poäng) och rött streck motsvarar den poängsumma där risknivån övergår från hög till kritisk (37 poäng). De gröna symbolerna visar bästa scenariot, de blå medelscenariot och de röda värsta scenariot.

3.2.2 Indata för siklöja

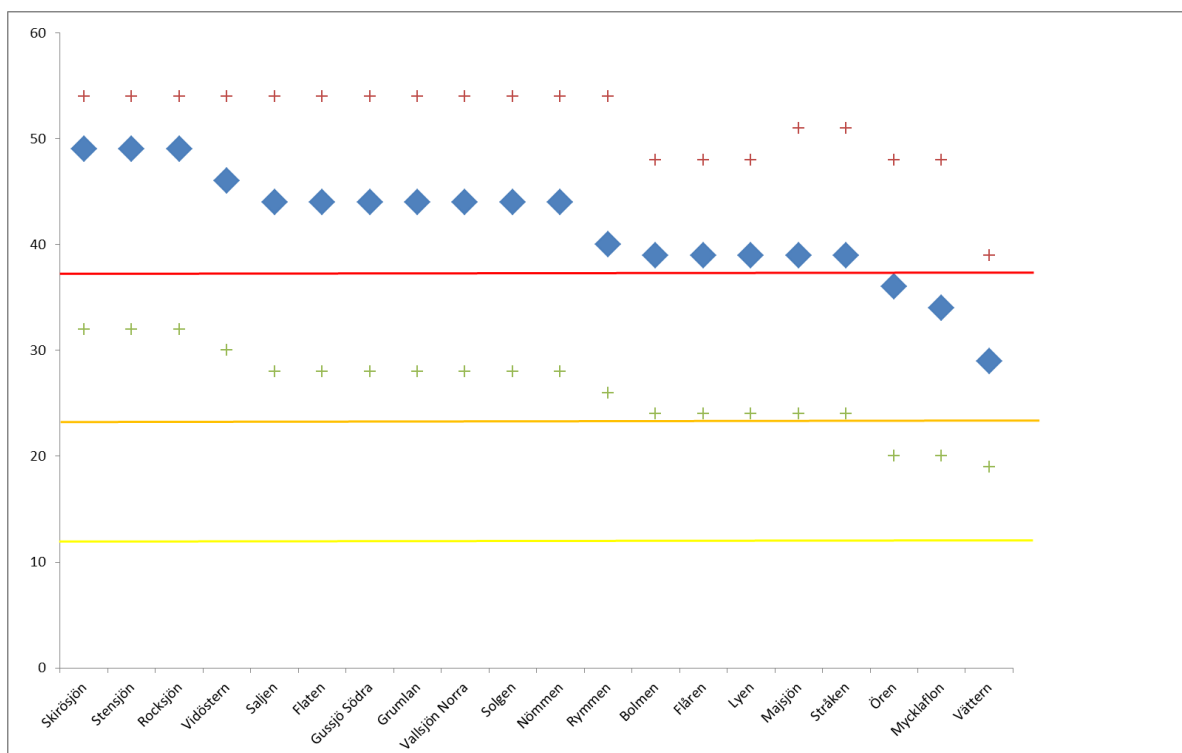
Höstlekande siklöja finns i 76 sjöar i länet (se **Fel! Hittar inte referensälla.**), vårlekande endast i Fegen. Dessa lokaler har ett varierande djup, den grundaste (Assbrunnen) är 3 m och den djupaste (Vättern) är 128 m, exkluderas dessa sjöar varierar maxdjupet mellan 8 och 53 meter. Vattenfärgen varierar mellan 10 och 250 mg Pt/l och temperaturen i augusti har skiftat, från ytan till botten, mellan +21 °C och +4,5 °C. Syretillgången varierar mellan 0 och 11 mg/l, då är Vättern exkluderat eftersom den i hela sjön har gott om syre (9-13 mg/l). För den höstlekande siklöjan gäller att de vuxna individerna är känsligast, framförallt för vattentemperaturer över +18 °C och syrehalt under 2 mg/l (Elliott och Bell, 2011). Dessa gränsvärden har redan idag har övertigits respektive understigits i några lokaler. Av de 76 lokalerna är Vättern den sjö som helt beräknas sakna istäcke år 2100, de andra 75 kommer troligen kunna ha istäcke något år då och då.

3.2.3 Metodens resultat för siklöja

Det klimatinducerade påverkanstrycket för siklöja visar att 3 av 76 sjöar förutspås klara av att behålla siklöja år 2100 (Figur 12). De tre sjöarna är Ören, Mycklaflon och Vättern.

Poängsumman för det klimatinducerade påverkanstrycket är:

- I Ören beräknas det klimatinducerade påverkanstrycket till 36 poäng (20-48 poäng), vilket är en hög risknivå.
- I Mycklaflon beräknas det klimatinducerade påverkanstrycket till 34 poäng (20-48 poäng), vilket är en hög risknivå.
- I Vättern beräknas det klimatinducerade påverkanstrycket till 29 poäng (19-39 poäng), vilket är en hög risknivå.



Figur 12 Klimatinducerat påverkanstryck år 2100 för siklöja i de lokaler där alla data finns tillgängliga. Se bilaga 1-3 för koordinater. Endast de sjöar med alla data beskrivs. Y-axeln representerar de poäng varje lokal får i riskanalysen (klimatinducerat påverkanstryck) och x-axeln visar lokalerna. Gult horisontellt streck motsvarar den poängsumma där risknivån övergår från låg till medium (13 poäng), orange streck motsvarar den poängsumma där risknivån övergår från medium till hög (25 poäng) och rött streck motsvarar den poängsumma där risknivån övergår från hög till kritisk (37 poäng). De gröna symbolerna visar bästa scenariot, de blå medelscenariot och de röda värsta scenariot.

Den vårlekande siklöjan förväntas i dagsläget reagera på klimatförändringen på liknande sätt som den höstlekande siklöjan, varför en egen analys inte är gjord för ekotypen. Vårlekande siklöja finns för närvarande endast i en sjö i länet (Fegen).

För diagram med alla lokaler, se bilaga 4.

4. Diskussion

Riskanalysmetoden som utvecklades i föreliggande examensarbete visar att röding och siklöja i Jönköpings län kan komma att minska i utbredning till år 2100. Klimatförändringen kommer med all sannolikhet att fortgå även efter det, vilket innebär att arbetet med att skydda dessa arter inte kan avstanna eller avslutas i förtid.

Fiskeriverket (2007) menar att storrödingsbeståndet i södra Sverige kan komma att drabbas hårt av klimatförändringen, framförallt av minskad syrehalt i hypolimnion (då temperaturen stiger), samt ökad andel predatorer. Beståndet kan till och med komma att dö ut (Fiskeriverket, 2007). Eftersom rödingen leker på hösten och på grunt vatten, kan klimatförändringens effekt med varmare hösten skapa problem för rödingens rekrytering. I riskanalysmetoden för Vättern får de enskilda parametrarna *is* och *ytvattentemperatur* höga värden (9 poäng). Om vattenförvaltningsprincipen *one out, all out* appliceras (den slutgiltiga bedömningen baseras på ett flertal parametrar som alla behöver vara bra för att få ett bra slutvärde, ger en parameter ett lågt värde sjunker även slutvärdet) innebär det att även Vättern kan få svårt att behålla ett livskraftigt rödingbestånd år 2100, alltså samma slutsats som Fiskeriverket (2007). Det förefaller som att isläggningsperioden i Vättern kan vara en så kallad klimattröskel (eng. tipping point) (se till exempel Johan Rockströms publikationer), då isen har en skyddande funktion på romkornen och då det väntas fler extrema väderhändelser med kraftiga vindstyrkor i ett förändrat klimat. Å andra sidan förefaller det i riskanalysmetoden som att Vättern är den enda sjön i länet som skulle kunna hysa storröding år 2100. För Vätterns del bedöms syretäringen fortsättningsvis komma att vara låg i sjön (M. Lindell, O. Broberg, pers kommentar). Dessutom gör Vätterns vågrörelser att omblandningen är god och därmed även att syrehalten är hög. För att mildra de effekter som föreliggande examensarbetet visar bör ändå åtgärder vidtas. Målsättningen att rödingen ska kunna

fortleva i Jönköpings län bör åtföljas av en adaptiv förvaltning som tar hänsyn till det negativa påverkanstrycket som klimatförändringar medför för arterna. Restaureringsåtgärder bör fokuseras på att skapa refuger, i betydelsen kallt hypolimnion, där vattentemperaturen behålls inom temperaturoptimumet samt där syrehalten minst är 2-3 mg/l. För röding kan det till exempel innebära (i fallande relevansordning)

- en minskad näringstransport från land, då rödingen gynnas av näringsfattigt vatten och då klimatförändringen snabbar på problemen med övergödning. Åtgärden minskar näringsbelastningen på sjön och minskar därmed risken för syrebrist.
- fredning/fredningsområden av arten och reglering av fiskets uttag (minskar/tar bort den stressfaktor som fisket utgör på arten),
- minska stressorer som exempelvis introduktion av främmande arter och smittor,
- översyn av lekmaterial,
- artificiella lekbottnar där temperatur- och syreförhållandena är tillfredsställande, samt
- regleringsstrategier.

Många av åtgärderna som föreslås är sådana som syftar till att minska de stressfaktorer på arten som inte är direkt skapade av klimatförändringen, exempelvis fredningsområden, men minskar ändå det påverkanstryck som arten utsätts för i sin naturliga miljö, och bör därmed utvecklas. Under de senaste årtusendena har klimatet växlat mellan naturligt varma och kalla perioder. Rödingen benämns som en glacialrelikt därför att arten funnits i Vättern sedan senaste istiden och eftersom den finns kvar än idag har den bevisligen överlevt de varma perioder som infallit sedan dess. Skillnaden mellan de varma perioderna då och den uppvärmning som väntas i framtiden är att andra påverkanstryck på arten, exempelvis fisketryck och ökad näringsbelastning, har ökat i omfattning och medför att påverkanstrycket nu är större än det påverkanstryck som genererar en hållbar stam. Även hastigheten på den klimatinducerade temperaturförändringen är högre än de förändringar som har skett, vilken kan göra det svårt för rödingen att hinna anpassa sig till.

Siklöjebeståndet i Vättern kommer troligen att påverkas i mindre omfattning än rödingen av klimatförändringen (Fiskeriverket, 2007), på grund av att siklöjan har sin lekperiod sent på året och på djupt, kallt vatten. Resultaten av riskanalysmetoden visar vidare att siklöjan i Mycklaflon kan finnas kvar år 2100. Siklöjan är introducerad i Mycklaflon, och verkar därmed konkurrera ut den inhemska rödingen. Målsättningen att siklöjan ska kunna fortleva i Jönköpings län bör åtföljas av en adaptiv förvaltning som tar hänsyn till det negativa påverkanstrycket som klimatförändringar medför för arten. För siklöja kan det till exempel innebära åtgärder för att minska tillflödet av syrekonsumerande ämnen till vattenförekomsten.

Det kan till exempel innebära ett minskat vattenuttag, en minskad näringstransport och regleringsstrategier.

Några gränsvärden har redan överstigits, exempelvis syrehalt och yttemperatur, både för röding och för siklöja. Innebär det att arterna redan nu för en tynande tillvaro? En tolkning kan vara att fiskarna fortfarande har livutrymme mellan det för varma ytvattnet och det syrefria bottenvattnet, men att det successivt minskar. En studie på abborre utanför Forsmark visar att abborrarnas organ anpassar sig till ett varmare vatten, men däremot anpassar den sig inte med en högre övre temperaturgräns. Det innebär att marginalen från dagens värden till den övre temperaturgränsen blir mindre, och därmed minskar även livsutrymmet (se exempelvis tidningen *Havsutsikt* nr 2/2014). Det kan vara ett scenario som inte bör uteslutas för både röding och siklöja

Resultaten som presenteras i föreliggande examensarbete är en förenkling och tolkning av verkligheten, dock ett försök att på ett strukturerat vis ”skåda i kristallkulan”. Det verkliga utfallet i ett förändrat klimat är en komplex väv av ett flertal faktorer som är svåra att bedöma en och en. Det handlar bland annat om konkurrens mellan varmvattenarter och kallvattenarter, om att växtsäsongen förutspås blir längre i ett förändrat klimat (vilket kan medföra en förändrad sammansättning av alger som förändrar den biologiska mångfalden och ytvattenkvaliteten (Moss et al, 2009; Nickus et al, 2010)), om att syrehalten i vattnet beräknas att minska och att cyanobakterieblomningen ökar, vilket kan leda till bland annat ekosystemförändringar (Bleckner, et al, 2010; Arvola et al, 2010). Det leder även till ett varmare (Nickus et al, 2010) och mörkare hypolimnion med syrebrist, vilket kan komma att ligga en längre period, vilket i sin tur gör att vissa fiskarter inte trivs (Moss et al, 2009). Vidare kan vattnet komma att skikta sig kraftigare än idag (Weyhenmayer, 2007; Moss et al, 2009; Janowski et al, 2006), vilket är ett problem för exempelvis röding och siklöja som gärna uppehåller sig i det kalla syrerika vattnet under språngskiktet (Länsstyrelsen Jönköpings Län, 2014, b). Även vattnet på grund av sin värmehållande förmåga, förutspås att öka mer i temperatur under sommar och höst än vad den omgivande luften gör (Austin & Colman, 2007). Avkylningsperioden under vinter och vår kommer sannolikt att bli kortare och mindre effektiv än idag, och därför kan vattnets årsmedeltemperatur komma att öka mer än luftens. Dessutom verkar perioden av temperaturskiktning i sjön bli längre, då den fortsätter in på hösten (Bleckner et al, 2009) och ger därför en ökad biomassa av plankton (Moss et al, 2009). Tillsammans med ökad tillförsel av näringsämnen, förhöjd produktion och temperatur riskeras syrgasbrist i bottenvattnet (och därmed bildande av giftigt svavelväte). Livsutrymmet i det

kalla bottenvattnet begränsas därmed för kallvattenarterna. I samband med ökad nederbörd och ökad temperatur ökar också transporten av närsalter (Weyhenmeyer, 2007) samt att diminiska sjöar (blandas två gånger per år, före och efter isläggning) (Arvola, 2010) övergår till att bli monominiska (blandas en gång per år) (Bleckner et al, 2010), vilket får till följd att sjön blir grumligare på grund av minskad sedimentation. I ett klimat som är varmare och blötare kommer även markläckaget av kväve och fosfor att öka (Weyhenmeyer, 2007), vilket förvärrar och snabbar på problemen med övergödning och brunifiering (Moss et al, 2009; Bleckner et al, 2010). Vidare ger en ökning av flödet på vintern även en ökning av vattenfärg (Weyhenmeyer, 2007). Ökad vattenfärg bidrar till att vattentemperaturen stiger, då solstrålning absorberas effektivare i bruna sjöar, vilket gynnar exempelvis gös och sutare. Ökade nederbörds mängder som ger upphov till översvämningar kan även frigöra metaller och andra skadliga ämnen varvid metallhalten kan nå toxiska nivåer. (Weyhenmeyer, 2007). Även läckaget av metan från sediment kan komma att öka (Moss et al, 2009). Jag har inte studerat nyss beskrivna parametrar, men det går inte att utesluta att de påverkar det verkliga utfallet åt ett eller annat håll.

På grund av klimatförändringens effekter med ökade temperaturer och ökad brunifiering, förutspås även födoväven i de akvatiska ekosystemen att förändras. Exempelvis visar Jeppesen et al (2012) att dels antalet och storleken på fiskindividerna kan förändras, och dels att fördelningen i näringsväven kan förändras till färre rovfiskar och fler bytesfiskar. Hansson et al (2012) drar slutsatsen att ändringar i födoväven kan få stora konsekvenser på funktionen i sjöar, eventuellt till och med större än klimatförändringen i sig. Då rödingen förutspås att minska kraftigt i Jönköpings län till år 2100, och då arten är en predator, kan bland annat dess bytesfiskar komma att öka. Med färre rovfiskar och fler bytesfiskar gynnas sannolikt alg tillväxt och eutrofieringsproblematiken skulle bli mer synbar (Hansson et al, 2012). Jeppesen et al (2014) menar att en klimatanpassningsåtgärd för fiskfaunan skulle kunna vara att minska transporten av näringsämnen till sjön. Det hjälper även för att nå nationella och internationella miljömål riktade mot eutrofiering, till exempel ”Levande sjöar och hav” och ”Myllrande våtmarker”.

De studier som används som underlag för riskanalysen på röding är en blandning av forskning på storröding och fjällröding, och bedömningen görs att resultat av studier på fjällröding är tillämpbara även på storröding (Länsstyrelsen i Jönköpings län, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) och Umeå Universitet, mail.). Dessutom verkar rödingbeståndets systematik och taxonomi inte vara helt utredd (SLU, 2012). Det är dock fullt möjligt att storröding har högre

toleranstemperatur (ca +8 grader) jämfört med fjällröding (+5 grader) (A. Hallden pers kom), vilket därmed stärker rödingens resistens mot klimatförändringarna i Vättern.

Metoden medger möjlighet till upprepbarhet då strukturen är standardiserad och generell. Strukturen medger därmed reviderade bedömningar vid införande av ny kunskap. Alla sex parametrar som utgör det klimatinducerade påverkanstrycket har i nuläget bedömts med lika stor betydelse, och har därför en maxpoäng på 9. En utvecklingsstrategi skulle därför kunna innefatta att vikta parametrarna inbördes mot varandra. Ett alternativt förhållningssätt för att förtydliga skillnaderna mellan de olika sjöarna vore att multiplicera ihop parametrarna (istället för att addera ihop dem). På så sätt skulle relationen mellan sjöarna bibehållits, men med ett större intervallutslag. En ytterligare utvecklingsstrategi är att låta metoden även ta hänsyn till storlek på hypolimnion och omsättningstid, och att låta riskanalysen utvecklas med flera ”rutor”.

För Länsstyrelsens arbete med adaptiv förvaltning av fisk, behöver de kallvattenarter och dess lokaler som är studerade i föreliggande examensarbete kompletteras med information om konkurrerande arter, i syfte att få en mer komplett bild över hur kallvattenarternas bestånd påverkas. I detta examensarbete ingår inte biologiska parametrar, vilket hade varit intressant att utveckla. Även interaktionen mellan de studerade kallvattenarterna och de varmvattenarter som förutspås att öka i antal i länet, är en frågeställning som kan studeras närmare. Vidare behöver de föreslagna åtgärderna utvecklas inom i klimatanpassningsarbetet.

Sammanfattningsvis visar denna studie att såväl rödingen som siklöjans utbredning inom länet kan komma att påtagligt påverkas negativt av kommande klimatförändringar. Påverkan bedöms som allvarligast för rödingen som endast förutspås kunna existera i en sjö (Vättern) medan siklöjan bedöms kunna fortleva i tre sjöar. Trots att arterna bevisligen överlevt tidigare ”värmeperioder” bör myndigheternas bevarandearbete omfatta åtgärder som kompenserar för det påverkanstryck som klimatförändringarna förutspås få på nämnda arter.

5. Slutsatser

Genom litteraturstudier kopplat till befintliga data har totalt 6 parametrar kombinerats och poängbedömts i en riskanalys. Summan av samtliga parametrar blir *klimatinducerat påverkanstryck*. När metoden appliceras på sjö/fisk-objekten och på parametrarna faller olika scenarier ut. Det föreslås därför vara ett sätt (av troligen flera) för att på ett systematiskt vis underbygga scenarier i ett framtida förändrat klimat. Riskanalysmetoden är dessutom dynamisk och ny kunskap kan ändra utfallet. Det torde också vara möjligt att använda metoden omvänt, det vill säga för potentiella ”vinnare” och för andra ekosystem än i akvatiska.

Röding är idag känd i 4 sjöar i länet, och siklöja i 76 sjöar. Analys gjord på en *medelförändring* av klimatet visar följande:

- Endast Vättern förutspås år 2100 kunna hysa bestånd av röding, men där kan reproduktionen komma att slås ut av klimatförändringen (75-100% av lokalerna kan komma att slås ut).
- 3 av 76 sjöar med siklöjabestånd idag, kan troligtvis år 2100 kunna hysa bestånd av arten (96 % kan komma att slås ut). Sjöarna är Ören, Mycklaflon och Vättern.

En tolkning av analysen av *värsta scenariot* visar följande:

- Vättern är den enda rödinglokal som inte har ett index i den kritiska risknivån år 2100, det är två poäng upp till den kritiska risknivån. Slutsatsen blir därför att även Vättern sannolikt får svårt att hysa bestånd av röding år 2100 i det värsta scenariot. Det innebär att det sannolikt inte är någon av dagens rödingsjöar som har rätt förutsättningar år 2100 att behålla sina bestånd av röding.
- Ingen av dagens siklöjesjöar förutspås kunna hysa bestånd av arten år 2100.

En tolkning av analysen av *bästa scenariot* visar följande:

- Ören, Mycklaflon och Vättern har ett index under den kritiska risknivån. Mycklaflon och Ören har ett index på en hög risknivå och Vättern på medium risknivå.
- Alla dagens siklöjesjöar (med tillräckligt mängd data) har ett index under den kritiska risknivån. Alla utom Ören, Mycklaflon och Vättern får dock en hög risknivå ändå. De tre har ett index på risknivån medium.

6. Referenser

Artdatabanken (2010) *Storröding (Salvelinus umbla)*. Hämtad:

<http://www.artfakta.se/GetSpecies.aspx?SearchType=Advanced> Tillgänglig: 2014-08-19

Arvola, Lauri, et al (2010) *The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes*. Ur: *The Impact of climate change on European lakes*, s 85- 101. London: Springer

Austin, Jay A & Colman, Steven M (2007) *Lake Superior summer water temperatures are increasing more rapidly than regional air temperatures: A positive ice-albedo feedback*.

Hämtad: <http://onlinelibrary.wiley.com.ludwig.lub.lu.se/doi/10.1029/2006GL029021/pdf>

Tillgänglig: 2014-08-19

Blenckner, Thorsten, et al (2004) *A conceptual model of climate-related effects on lake ecosystems*. Hämtad: via Lunds Universitet:

<http://eds.b.ebscohost.com.ludwig.lub.lu.se/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=36d889f8-5078-43ba-9d0e-f25c9560313e%40sessionmgr114&hid=105>. Tillgänglig: 2014-08-19

Blenckner, Thorsten, et al (2010) *The impact of climate change on lakes in northern Europe*.

Ur: *The Impact of climate change on European lakes*, s 339-358. London: Springer

Christensen, Jörgen Möller (1981) *Sötvattenfisk*. Wahlström & Widstrand 1981-01.

ISBN 9146149708 / 91-46-14970-8

Cushing, D. H. 1990. *Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match mismatch hypothesis*. *Advances in Marine Biology* 26:249–293.

Elliott, JA & Bell, VA (2011) *Predicting the potential long-term influence of climate change on vendace (Coregonus albula) habitat in Bassenthwaite Lake, U.K.* Hämtad:

<http://eds.a.ebscohost.com.ludwig.lub.lu.se/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=b1e4e168-9068-4371-942b-0d8299b8bf18%40sessionmgr4004&hid=4103> Tillgänglig: 2014-09-01

Elliott, JM & Elliott, JA (2010) *Temperature requirements of Atlantic salmon Salmo salar*,

brown trout Salmo trutta and Arctic charr Salvelinus alpinus: predicting the effects of climate change. Hämtad:

<http://content.ebscohost.com.ludwig.lub.lu.se/ContentServer.asp?T=P&P=AN&K=55234949&S=R&D=a9h&EbscoContent=dGJyMNLr40Sep7c4v%2BvIOLCmr0yeprdSsa64SLeWxWXS&ContentCustomer=dGJyMPGpt0mwqrBRuePfgeyx43zx> Tillgänglig: 2014-08-19

Fiskeriverket (2007) *Klimat effekter på svenskt fiske. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen. Bilaga: 26.* Hämtad:

<http://www.regeringen.se/content/1/c6/08/93/34/557cfd35.pdf> Tillgänglig: 2014-06-25

Gitay et al (2002) *Climate change and biodiversity. IPCC Technical*

Paper V. Hämtad: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/biodiv/pdf/bio_eng.pdf Tillgänglig: 2014-07-15

Hjorth, Ingemar (2002) *Ekologi- för miljöns skull.* Stockholm. Liber AB

IPCC (2013) *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I. AR5.*

Hämtad: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
Tillgänglig: 2014-06-25

Jeppesen, Erik et al. (2012) *Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes.* Hämtad:

http://www.academia.edu/1473285/Impacts_of_climate_warming_on_long-term_dynamics_of_key_fish_species_in_24_European_Lakes24_European_long-term_data_series Tillgänglig: 2014-08-11

Jeppesen, Erik et al. (2014) *Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on a multi-faceted approach, with special focus on shallow lakes.* Hämtad:

<http://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/article/view/jlimnol.2014.844/633> Tillgänglig: 2014-08-11

Janowski, Thomas, et al (2006) *Consequences of the 2003 European Heat Wave for Lake Temperature Profiles, Thermal Stability, and Hypolimnetic Oxygen Depletion: Implications for a Warmer World.* Hämtad: <http://www.jstor.org.ludwig.lub.lu.se/stable/3841089>

Tillgänglig: 2014-08-19

Klimatanpassningsportalen (2013) *Temperatur*. Artikel på hemsida. Läst:
<http://www.klimatanpassning.se/Hur-forandras-klimatet/temperatur-information-1.22491>
Tillgänglig: 2014-08-19

Lennartsson, Tommy & Simonsson, Louise (2007) *Biologisk mångfald och klimatförändringar. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen. Bilaga 30*. Hämtad: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/08/93/34/cb93657f.pdf>
Tillgänglig: 2014-06-25

Länsstyrelsen Jönköpings län (2011), a, *Informationsmaterial om storröding i Vättern, till Rödingens dag 2011*. Intranätet.
Tillgänglig: 2014-07-16

Länsstyrelsen Jönköpings Län & SMHI. (2012) *Klimatanalys för Jönköpings Län. Meddelande 2012:09*. Hämtad:
<http://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2012/2012-09.pdf> Tillgänglig: 2014-06-25

Länsstyrelsen Jönköpings Län (2014), a, *Anpassning till ett förändrat klimat. Åtgärdsprogram 2015-2019 Jönköpings Län. Remiss*. Hämtad:
http://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/klimat-ochenergi/klimatanpassning/Åtgärdsprogram%20klimatanpassning/Atgardsprogram_klimatanp_remiss_vers2.pdf Tillgänglig: 2014-06-25

Länsstyrelsen Jönköpings Län (2014), b, *Nätprovfiske i Solgen 2013. Meddelande 2014:5*. Hämtad:
<http://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2014/2014-05.pdf> Tillgänglig: 2014-07-16

Leppäranta, Matti (2010) *Modelling the formation and decay of lake ice*. Ur: *The Impact of climate change on European lakes*, s 63-83. London: Springer

Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Volume 1: Current State & Trends* Hämtad:
<http://millenniumassessment.org/en/Condition.html#download> Tillgänglig: 2014-07-15

Moss, Brian et al. (2009) *Climate change and the future of freshwater biodiversity in Europe: a primer for policy-makers*. Ur: *Freshwater Reviews*, s 103-130, nr 2 2009.

Naturvårdsverket (1999) *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, sjöar och vattendrag*.
Naturvårdsverket rapport 4913.

Nickus, Ulrike et al (2010) *Direct Impacts of Climate Change on Freshwater Ecosystems*. Ur: *Climate change impacts on freshwater ecosystems*. Kap 3. Hämtad: via Lunds Universitet:

<http://onlinelibrary.wiley.com.ludwig.lub.lu.se/doi/10.1002/9781444327397.ch3/pdf>

Tillgänglig: 2014-07-15

Nygren, Anna (2014), c, *Vårsiklöja (Coregonus trybomi)*. Artikel på hemsida. Läst:

<https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/arter/lista-over-vanliga-arter-i-svenska-vatten/arter/varsikloja.html> Tillgänglig: 2014-07-16

Olsson, Jens & Andersson, Jan (2012) *Även kallvattenarterna behöver övervakas längs kusterna*. Ur *Havet 2012*. Hämtad:

http://www.havsmiljoinstitutet.se/digitalAssets/1390/1390450_havet_2012_kustfisk_bestand.pdf Tillgänglig: 2014-06-25

Rummunkainen, Markku; Johansson, Daniel; Azar, Christian; Langner, Joakim; Döscher, Ralf & Smith, Henrik (2011) *Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter*. Klimatologi nr 2, 2011. SMHI

Setzer, Malin (2012) *The decline of great Arctic Charr in Lake Vättern*. Avhandling. Nr 1147. Linköpings Universitet

SLU (2012) *Sydliga randbestånd av röding*. Artikel på hemsida. Läst:

<http://www.slu.se/sv/institutioner/akvatiska-resurser/radgivning/hotade-arter/sydliga-randbestand-av-rodning/> Tillgänglig: 2014-11-28

SMHI. (2013) *Klimatindikator – temperatur*. Artikel på hemsida. Läst:

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/klimatindikator-temperatur-1.2430>

Tillgänglig: 2014-08-19

SOU 2007:60 (2007) *Klimat- och sårbarhetsutredningen. Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter*. Miljödepartementet. Hämtad: <http://www.regeringen.se/sb/d/8704/a/89334>. Tillgänglig: 2014-08-07

Verdonschot, Piet F M et al (2010) *Climate Change and the Hydrology and Morphology of Freshwater Ecosystems*. Ur: *Climate change impacts on freshwater ecosystems. Kap 4*. Hämtad: via Lunds Universitet: <http://onlinelibrary.wiley.com.ludwig.lub.lu.se/doi/10.1002/9781444327397.ch4/pdf>
Tillgänglig: 2014-07-16

Vätternvårdsförbundet (2008) *Bevarandeplan för NATURA 2000 i Vättern. Rapport nr 95*. Hämtad: http://www.lansstyrelsen.se/ostergotland/SiteCollectionDocuments/sv/djur-och-natur/skyddad-natur/natura-2000/bevarandeplaner-kommunvis/bevarandeplan_SE0230268_Vattern_klar_081017.pdf Tillgänglig: 2014-11-06

Vätternvårdsförbundet (2013) *Årsrapport 2012. Rapport nr 116*. Hämtad: http://www.vattern.org/vattern/SiteCollectionDocuments/sv/vatternvardsforbundet/publikationer/Rapporter/Rapp116_Arsskrift%202012.pdf Tillgänglig: 2014-11-06

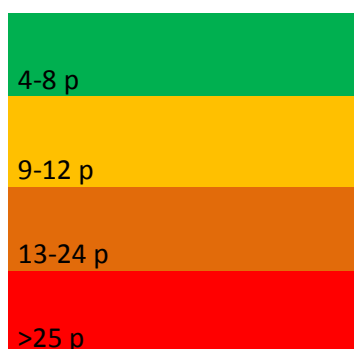
Weyhenmeyer, Gesa (2007) *Klimatförändringars påverkan på ytvattenkvaliteten. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen Bilaga 32*. Hämtad: <http://www.regeringen.se/content/1/c6/08/93/34/4ccbf50.pdf> Tillgänglig: 2014-06-25

Bilagor

Bilaga 1: Temperaturindex för höstlekande siklöja. Medelscenariot

* data saknas

Index_temp:



Platsens namn	Xkoord	Ykoord	Totalt färg	Totalt is	Totalt temp under språng	Totalt ytvatten-temp	TOTALT_TEMP
Bolmen	6295110	1368660	9	4	9	9	31
Flåren	6315420	1393540	9	4	9	9	31
Vidöstern	6318410	1389290	9	4	6	9	28
Furen*	6328140	1400410	0	4	0	9	13
Örken*	6329810	1452270	9	4	0	9	22
Rymmen*	6330380	1410570	0	4	9	9	22
Lången*	6331180	1406080	0	4	0	9	13
Hultasjön*	6331400	1411650	0	4	0	9	13
Lyen	6333310	1411800	9	4	9	9	31
Holmasjön*	6333950	1445930	0	4	0	9	13

Änghultasjön *	6334940	1459720	9	4	0	9	22
Hurven	6339110	1340350	9	4	4	9	26
SkärLEN*	6339590	1442170	0	4	0	9	13
Värmen stora	6340760	1425990	9	4	4	9	26
Teresjön*	6340940	1445380	9	4	0	9*	22
Klockesjön*	6341600	1448710	9	4	0	9*	22
Säljen	6345700	1471310	9	4	4	9	26
Lillsjön*	6347860	1473180	0	4	0	9*	13
Serarpasjön*	6347970	1473470	9	4	0	9	22
Furusjön*	6348090	1430630	9	4	0	9	22
Spaden*	6348610	1342010	9	4	0	9*	22
Storasjön	6350100	1349050	9	4	4	9	26
Sävsjön*	6350300	1350880	0	4	4	9	17
Fegen*	6350400	1339000	0	4	4	9	17
Assbrunnen*	6351940	1352860	9	4	0	9*	22
Majsjön	6353340	1352390	9	4	4	9	26
Hjortesjön*	6353880	1484570	0	4	0	9	13
Linnesjön	6356590	1435850	9	4	4	9	26
Saljen	6357460	1478080	9	4	4	9	26
Björnasjön*	6357540	1461930	9	4	0	9	22
Skrivaregårds sjön	6358300	1357500	9	4	4	9	26

Skärvetesjön *	6358720	1480020	0	4	0	9*	13
Flaten	6358830	1385640	9	4	9	9	31
Torrmyrasjön *	6359080	1405820	9	4	0	9*	22
Skirösjön	6359190	1474880	9	4	9	9	31
Kyrkesjön	6359440	1361760	9	4	4	9	26
Ossingssjön*	6359610	1407020	9	4	0	9*	22
Karlsjösjön*	6359780	1469030	0	4	0	9	13
Gärdsjön*	6360550	1407700	0	4	0	9*	13
Långasjön*	6360990	1390460	0	4	4	9	17
Rolstorpasjön *	6361030	1408090	0	4	4	9	17
Store-Malen	6361950	1357230	9	4	4	9	26
Hubbestadssjön*	6362540	1408900	0	4	0	9*	13
Gussjö Södra	6363650	1366750	9	4	4	9	26
Grumlan	6363940	1455830	9	4	4	9	26
Skrapstadssjön*	6366080	1432230	0	4	0	9*	13
Vensjön*	6367420	1488000	0	4	0	9	13
Algustorpasjön*	6368010	1369260	0	4	0	9	13
Ramsen*	6370720	1482160	9	4	0	9	22
Vallsjön Södra	6372340	1373400	9	4	4	9	26
Vallsjön Norra	6373790	1376450	9	4	4	9	26
Hjortsjön*	6375780	1399740	9	4	0	9	22

Linden*	6377690	1492840	0	4	0	9	17
Sandsjön	6379900	1404800	9	4	4	9	26
Solgen	6380110	1458650	9	4	4	9	26
Davidstorpasjön	6380290	1427100	9	4	9	9	31
Mycklaflon	6381460	1469100	9	4	4	9	26
Fängen	6381680	1405540	9	4	4	9	26
Nömmen	6382800	1442980	9	4	4	9	26
Försjön*	6392600	1459100	9	4	0	9	22
Tenhultasjön*	6399110	1413500	0	4	0	9*	13
Mulserydssjön*	6400380	1382470	9	4	0	9	22
Storsjön*	6400440	1422020	9	4	0	9*	22
Rörsjön*	6401590	1382820	0	4	0	9*	13
Stensjön	6403330	1414950	9	4	9	9	31
Rocksjön	6406270	1403420	9	4	9	9	31
Assjön	6409230	1450190	9	4	4	9	26
Svansjön*	6411750	1379860	0	4	0	9*	13
Västra Lägern*	6412250	1457720	0	4	0	9	13
Ramsjön*	6414040	1418000	9	4	0	9*	22
Ylen*	6415200	1422520	9	4	0	9	22
Nässjön*	6417370	1380120	0	4	0	9*	13
Ören	6425570	1426230	9	4	4	9	26

Stråken	6429330	1382930	9	4	4	9	26
Vättern	6444640	1415220	6	9	1	9	25
Sommen*	6447270	1454970	0	4	0	9	13

Bilaga 2: Syreindex för höstlekande siklöja. Medel

* data saknas

Index_syre:	2-4 p
	5-8 p
	9-12 p
	>13

Platsens namn	Xkoord	Ykoord	Totalt syre (näring under språngsk.)	Totalt syre under språngsk.	TOTALT_SYRE
Bolmen	6295110	1368660	4	4	8
Flåren	6315420	1393540	4	4	8
Vidöstern	6318410	1389290	9	9	18
Furen*	6328140	1400410	0	0	0
Örken*	6329810	1452270	0	0	0
Rymmen	6330380	1410570	9	9	18
Lången*	6331180	1406080	0	0	0
Hultasjön*	6331400	1411650	0	0	0
Lyen	6333310	1411800	4	4	8
Holmasjön*	6333950	1445930	0	0	0
Änghultasjön*	6334940	1459720	0	0	0
Hurven*	6339110	1340350	0	9	9
Skärilen*	6339590	1442170	0	0	0

Värmen stora*	6340760	1425990	0	9	9
Teresjön*	6340940	1445380	0	0	0
Klockesjön*	6341600	1448710	0	0	0
Säljen*	6345700	1471310	0	9	9
Lillsjön*	6347860	1473180	0	0	0
Serarpasjön*	6347970	1473470	0	0	0
Furusjön*	6348090	1430630	0	0	0
Spaden*	6348610	1342010	0	0	0
Storasjön*	6350100	1349050	0	4	4
Sävsjön*	6350300	1350880	0	9	9
Fegen	6350400	1339000	4	4	8
Assbrunnen*	6351940	1352860	0	0	0
Majsjön	6353340	1352390	4	9	13
Hjortesjön*	6353880	1484570	0	0	0
Linnesjön*	6356590	1435850	0	0	0
Saljen	6357460	1478080	9	9	18
Björnasjön*	6357540	1461930	0	0	0
Skrivaregårdssjön*	6358300	1357500	0	9	9
Skärvetesjön*	6358720	1480020	0	0	0
Flaten	6358830	1385640	4	9	13
Torrmyrasjön*	6359080	1405820	0	0	0

Skirösjön	6359190	1474880	9	9	18
Kyrkesjön*	6359440	1361760	0	9	9
Ossingssjön*	6359610	1407020	0	0	0
Karlsjösjön*	6359780	1469030	0	0	0
Gärdsjön*	6360550	1407700	0	0	0
Långasjön*	6360990	1390460	0	9	9
Rolstorpasjön*	6361030	1408090	0	9	9
Store-Malen*	6361950	1357230	0	9	9
Hubbestadssjön*	6362540	1408900	0	0	0
Gussjö Södra	6363650	1366750	9	9	18
Grumlan	6363940	1455830	9	9	18
Skrapstadssjön*	6366080	1432230	0	0	0
Vensjön*	6367420	1488000	0	0	0
Algustorpasjön*	6368010	1369260	0	0	0
Ramsen*	6370720	1482160	0	0	0
Vallsjön Södra*	6372340	1373400	0	0	0
Vallsjön Norra	6373790	1376450	9	9	18
Hjortsjön*	6375780	1399740	0	0	0
Linden*	6377690	1492840	0	0	0
Sandsjön*	6379900	1404800	0	9	9
Solgen	6380110	1458650	9	9	18

Davidstorpasjön*	6380290	1427100	0	9	9
Mycklaflon	6381460	1469100	4	4	8
Fängen*	6381680	1405540	0	4	4
Nömmen	6382800	1442980	9	9	18
Försjön*	6392600	1459100	0	0	0
Tenhultasjön*	6399110	1413500	0	0	0
Mulserydssjön*	6400380	1382470	0	0	0
Storsjön*	6400440	1422020	0	0	0
Rörsjön*	6401590	1382820	0	0	0
Stensjön	6403330	1414950	9	9	18
Rocksjön	6406270	1403420	9	9	18
Assjön*	6409230	1450190	0	4	4
Svansjön*	6411750	1379860	0	0	0
Västra Lägern*	6412250	1457720	0	0	0
Ramsjön*	6414040	1418000	0	0	0
Ylen*	6415200	1422520	0	0	0
Nässjön*	6417370	1380120	0	0	0
Ören	6425570	1426230	4	6	10
Stråken	6429330	1382930	9	4	13
Vättern	6444640	1415220	2	2	4
Sommen*	6447270	1454970	9	0	9

Bilaga 3: Klimatinducerat påverkanstryck för höstlekande siklöja. Medel

* data saknas

Index_klimatinducerat påverkanstryck:	6-12 p
	13-24 p
	25-36
	> 37

Platsens namn	Xkoord	Ykoord	TOTALT TEMP	TOTALT SYRE	Klimatinducerat påverkanstryck
Bolmen	6295110	1368660	31	8	39
Flåren	6315420	1393540	31	8	39
Vidöstern	6318410	1389290	28	18	46
Furen*	6328140	1400410	13	0	13
Örken*	6329810	1452270	22	0	22
Rymmen*	6330380	1410570	22	18	40
Lången*	6331180	1406080	13	0	13
Hultasjön*	6331400	1411650	13	0	13
Lyen	6333310	1411800	31	8	39
Holmasjön*	6333950	1445930	13	0	13
Änghultasjön*	6334940	1459720	22	0	22
Hurven*	6339110	1340350	26	9	35

SkärLEN*	6339590	1442170	13	0	13
Värmen stora*	6340760	1425990	26	9	35
Teresjön*	6340940	1445380	22	0	22
Klockesjön*	6341600	1448710	22	0	22
Säljen*	6345700	1471310	26	9	35
Lillsjön*	6347860	1473180	13	0	13
Serarpasjön*	6347970	1473470	22	0	22
Furusjön*	6348090	1430630	22	0	22
Spaden*	6348610	1342010	22	0	22
Storasjön*	6350100	1349050	26	4	30
Sävsjön*	6350300	1350880	17	9	26
Fegen*	6350400	1339000	17	8	25
Assbrunnen*	6351940	1352860	22	0	22
Majsjön	6353340	1352390	26	13	39
Hjortesjön*	6353880	1484570	13	0	13
Linnesjön*	6356590	1435850	26	0	26
Saljen	6357460	1478080	26	18	44
Björnasjön*	6357540	1461930	22	0	22
Skrivaregårdss jön*	6358300	1357500	26	9	35
Skärvetesjön*	6358720	1480020	13	0	13
Flaten	6358830	1385640	31	13	44

Torrmyrasjön*	6359080	1405820	22	0	22
Skirösjön	6359190	1474880	31	18	49
Kyrkesjön*	6359440	1361760	26	9	35
Ossingssjön*	6359610	1407020	22	0	22
Karlsjösjön*	6359780	1469030	13	0	13
Gärdsjön*	6360550	1407700	13	0	13
Långasjön*	6360990	1390460	17	9	26
Rolstorpasjön*	6361030	1408090	17	9	26
Store-Malen*	6361950	1357230	26	9	35
Hubbestadssjön*	6362540	1408900	13	0	13
Gussjö Södra	6363650	1366750	26	18	44
Grumlan	6363940	1455830	26	18	44
Skrapstadssjön*	6366080	1432230	13	0	13
Vensjön*	6367420	1488000	13	0	13
Algustorpasjön*	6368010	1369260	13	0	13
Ramsen*	6370720	1482160	22	0	22
Vallsjön Södra*	6372340	1373400	26	0	26
Vallsjön Norra	6373790	1376450	26	18	44
Hjortsjön*	6375780	1399740	22	0	22
Linden*	6377690	1492840	17	0	17
Sandsjön*	6379900	1404800	26	9	35

Solgen	6380110	1458650	26	18	44
Davidstorpa- sjön*	6380290	1427100	31	9	40
Mycklaflon	6381460	1469100	26	8	34
Fängen*	6381680	1405540	26	4	30
Nömmen	6382800	1442980	26	18	44
Försjön*	6392600	1459100	22	0	22
Tenhultasjön*	6399110	1413500	13	0	13
Mulseryds- sjön*	6400380	1382470	22	0	22
Storsjön*	6400440	1422020	22	0	22
Rörsjön*	6401590	1382820	13	0	13
Stensjön	6403330	1414950	31	18	49
Rocksjön	6406270	1403420	31	18	49
Assjön*	6409230	1450190	26	4	30
Svansjön*	6411750	1379860	13	0	13
Västra Lägern*	6412250	1457720	13	0	13
Ramsjön*	6414040	1418000	22	0	22
Ylen*	6415200	1422520	22	0	22
Nässjön*	6417370	1380120	13	0	13
Ören	6425570	1426230	26	10	36
Stråken	6429330	1382930	26	13	39
Vättern	6444640	1415220	25	4	29

Sommen*	6447270	1454970	13	9	22
---------	---------	---------	----	---	----

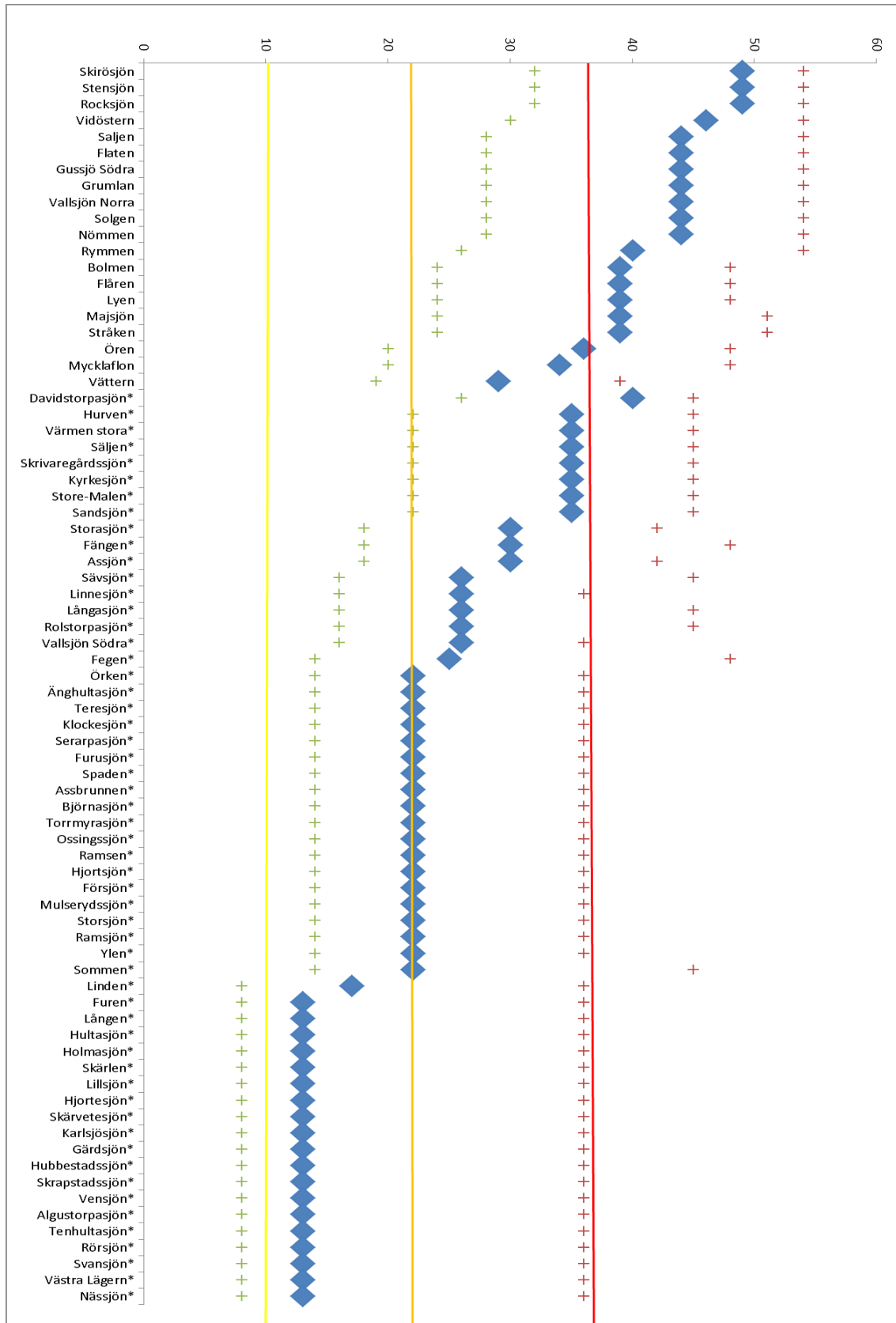
Bilaga 4: Diagram över siklöjabestånd år 2100

* data saknas

+ bästa scenariot, ◆ medelscenario, + värsta scenariot

Gula, orange och röda linjen motsvarar färgerna i riskanalysen

X-axeln: Sjöar med bestånd, **Y-axeln:** Poängsumma klimatinducerat påverkanstryck



Bilaga 5: Temperaturindex för röding. Medelscenariot

* data saknas

Index_temp:

4-8 p
9-12 p
13-24 p
>25 p

Platsens namn	Xkoord	Ykoord	Totalt färg	Totalt is	Totalt temp under språngskikt	Totalt ytvatten-temp	TOTALT
Mycklaflon	6381460	1469100	9	6	9	9*	33*
Ören	6425570	1426230	9	6	9	9*	33*
Vättern	6444640	1415220	6	9	1	9*	25
Sommen*	6447270	1454970	*	6	4	9	19

Bilaga 6: Syreindex för röding. Medelscenariot

* data saknas

Index_syre:	2-4 p
	5-8 p
	9-12 p
	>13

Platsens namn	Xkoord	Ykoord	Tot_under språngskikt	Tot_näring	TOTALT
Mycklaflon	6381460	1469100	4	9	13
Ören	6425570	1426230	9	9	18
Vättern	6444640	1415220	1	2	3
Sommen	6447270	1454970	9	9	18

Bilaga 7: Klimatinducerat påverkanstryck för röding. Medelscenariot

* data saknas

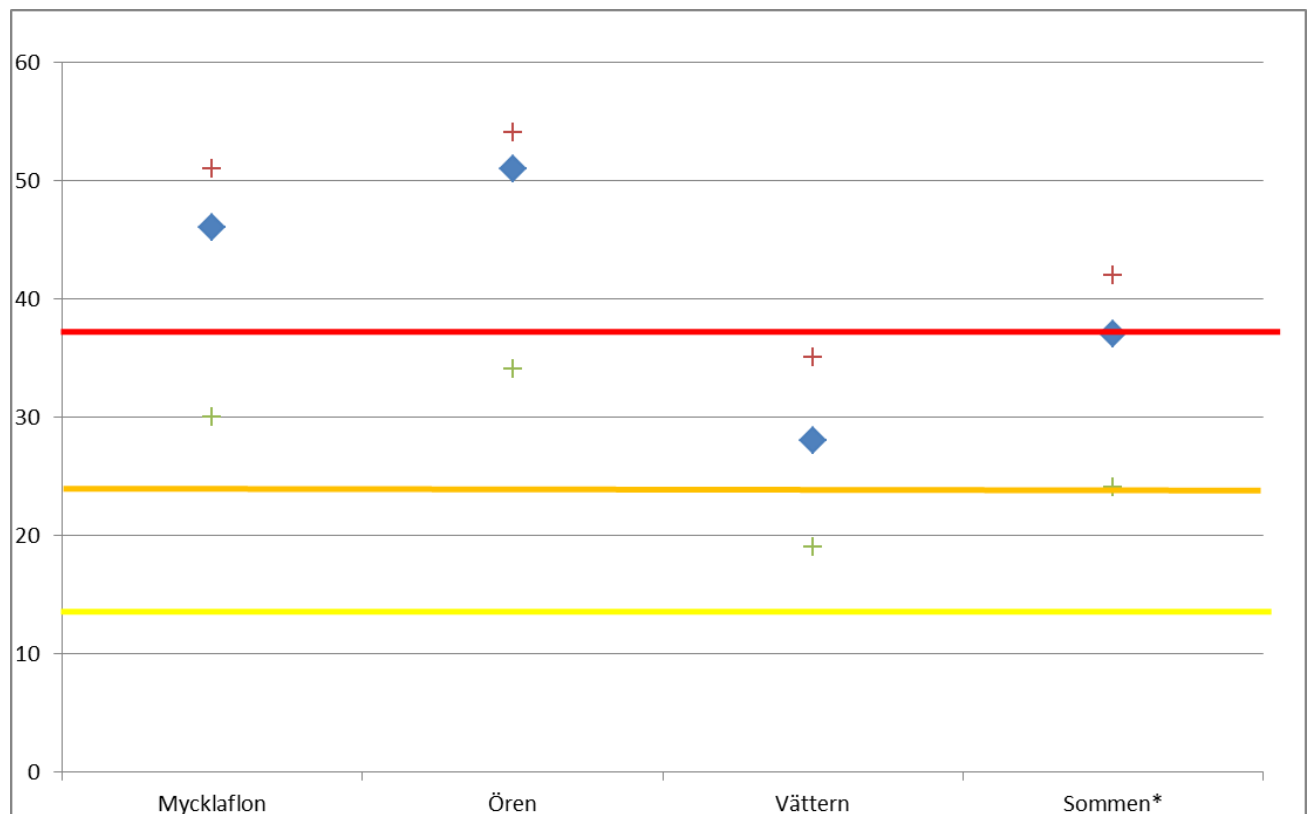
+ bästa scenariot, ◆ medelscenariot, + värsta scenariot

Gula, orange och röda linjen motsvarar färgerna i riskanalysen

X-axeln: Sjöar med bestånd, **Y-axeln:** Poängsumma klimatinducerat påverkanstryck

Index_klimatinducerat påverkanstryck:	6-12 p
	13-24 p
	25-36
	> 37

Platsens namn	Temp	Syre	Klimatinducerat påverkanstryck
Mycklaflon	33	13	46
Ören	33	18	51
Vättern	25	3	28
Sommen*	19	18	37



Bilaga 8: Bedömningsklasser i riskanalysmetoden

Bedömningsklasserna är steg 1 i att bedöma effekten av klimatförändringens effekt på fiskfaunan i länet. Det finns tre bedömningsklasser för alla sex parametrarna, klass 1- 3. När klassen är bestämd, används den som referens för att kunna bedöma sannolikheten för att händelsen kan inträffa. Steg 2 är att titta på dagens värden och bedöma konsekvensen för händelsen. *Konsekvens* multiplicerat med *sannolikhet* blir sedan totalsumman för parametern. För att bestämma hur parametern ska bedömas, kontrolleras först dagens värde. Därefter sätts dagens värde i relation till Naturvårdverkets bedömningsgrunder/annan bedömning för att se om det redan nu är kritiska nivåer.

Steg för steg går metoden till såhär:

Förarbetsfasen

1. Bestäm vilken art som skall analyseras.
2. Bestäm vilka parametrar som verkar vara med relevanta för arten i ett förändrat klimat.
3. Ta reda på vilka intervall som finns för parametrarna.
4. Ta reda på dagens värden (senaste tre åren).
5. Gör bedömningsklasser.

Riskanalysfasen

6. Utgå från bedömningsklasserna och dagens värden och bedöm sannolikheten för att värdena för år 2100 skall överstiga intervallgränsen för respektive parameter.
7. Bedöm konsekvensen.
8. Multiplicera sannolikheten och konsekvensen. Du har nu fått totalsumman för den parametern. Gör likadant för alla parametrar.

Klimatinducerat påverkanstryck

9. Addera ihop totalsumman för respektive parameter med alla andra totalsummorna. Har du sex parametrar kommer summan hamna i intervallet 6-54 poäng. Denna summa är poängen för det klimatinducerade påverkanstrycket.
10. Sätt in summan i en ny riskanalys, där siffrorna i riskanalysen är beroende av hur många parametrar du använder.
11. Presentation med hjälp av de färger som finns i riskanalysen.

Exempel steg 1-8:

Bedömningsklasserna för ytvattentemperatur för siklöja på sommaren satta utifrån vilket temperaturoptima som anges i forskningen (18 grader) för artens vuxenstadium (då den anses vara mest känslig). Värdet för de senaste tre åren visar att i princip alla sjöar överstiger 18 grader i ytvattnet på sommaren, och får därför, i riskanalysen, en trea på sannolikhet, och en trea på konsekvens. Det innebär därmed en nia för parametern yttemperatur.

Bedömningsklasserna är:

Bedömningsklasserna avseende *is* är:

- Klass 1: ingen skillnad från idag ger liten påverkan
- Klass 2: måttlig skillnad (några isår) från idag ger måttlig påverkan
- Klass 3: stor skillnad (ingen is) från idag ger stor påverkan.

Alla sjöar, förutom Vättern, är klassificerade som 2, Vättern som klass 3.

I analysen är följande bedömning gjord avseende *vattenfärg* (utifrån Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999)). Klassindelningen baseras på 10 % ökning av vattenfärgen i 20 år, räknat från dagens värde, vilket innebär att dagens värde behöver vara under 15 för att få klass 1 eller 2:

- Klass 1: 0-50 mg Pt/l ger liten påverkan
- Klass 2: 50-100 mg Pt/l ger måttlig påverkan
- Klass 3: >100 mg Pt/l ger hög påverkan.

Bedömningsklasserna för *vattentemperatur under språngskiktet* i analysen gjorda utifrån bedömning, där dagensvärde över ca 13 °C genererar ++, övriga genererar +, och Vättern 0 pga av sjödjupet. Avvikelser kan förekomma, då hänsyn har tagits till sjödjupet.

Luftmedeltemperaturer beräknas öka med 2,5°C. Provet är taget på hypolimnions halva djup och är ett medel av åren 2011-2013 alt 2010-2012.

- Klass 1: 0 (ingen påverkan)
- Klass 2: + (måttlig påverkan)
- Klass 3: ++ (hög påverkan),

Och för ytvattentemperatur på hösten (*röding*): (Luftmedeltemperaturen på hösten ökar med 3,5 °C, till 10 °C, till år 2100. 6,3 °C är referensvärdet)

- Klass 1: ökning med < 3 grader
- Klass 2: ökning med 3-5 grader
- Klass 3: ökning med >5 grader.

Ytvattentemperatur på sommaren (*siklöja*) (Luftmedel på sommaren ökar med 2,5 °C, till 17 °C, till år 2100. 14,5 °C är referensvärdet.)

- Klass 1: <14 grader
- Klass 2: 14- 17,9 grader
- Klass 3: >18 grader

För *näring och syre under språngskiktet* gäller klasserna: (Som tidigare beskrivet gäller sambandet: ökning av fosforhalten med 1 %/år, vilket ger en minskning av syrehalten med 1%/år. För syre gäller om dagens värde är: ca 3 mg/l eller mindre= Klass 3, ca 3-7 mg/l= Klass 2, mer än 7 mg/l=Klass 1. Avvikelser kan förekomma, då hänsyn har tagits till sjödjupet).

- Klass 1: > 7 mg/l
- Klass 2: 3-7 mg/l
- Klass 3: <3 mg/l