



UMEÅ UNIVERSITET

# **Brunifiering av Mälaren**

## **Effekter av ändrad markanvändning och klimatförändringar**

Klara Lindqvist



# **Brownification of lake Mälaren**

## **Effects of land use and climate change**

Klara Lindqvist

### **Abstract**

Organic carbon concentrations are increasing in freshwaters in the northern hemisphere. A significant brownification is observed in Lake Mälaren in south-east Sweden since 1965. This process has an impact on drinking water production, ecological functions and might also increase the loss of greenhouse gases to the atmosphere. Drivers behind the brownification have been attributed to the reduced sulphur deposition, warmer and wetter climate and changing land use. This study aims at examining how growing degree days, water discharge and volume of pine and spruce in Mälaren catchment have contributed to the increased water colour since 1965. Based on that analysis, some predictions are made to what can be expected in the future. Data over climate variables have been collected from SMHI and water colour from SLU and Norrvatten. All variables were found to be correlated to water colour, with the strongest correlations found between water colour and pine and spruce volume. Growing degree days increased 30 days since 1968-1972 and water discharge revealed an overall decline for the period 1981-2018. Climate scenarios predict warmer temperatures and higher yearly precipitation for this region. Overall change in discharge is uncertain since a higher evaporation is also expected. An increase would likely lead to an increase in water colour. This could especially affect the eastern basins where increase in water colour currently is slowed down by higher water retention times. The findings in this study indicate that water colour in Mälaren will increase in the future, mainly due to warmer temperatures and increased volume of pine and spruce.

**Keywords:** Brownification, Mälaren, Climate change, Land use



## **Förord**

Först och främst vill jag tacka Norrvatten och Daniel Hellström för möjligheten att skriva detta exjobb. Tack även till Stephan Köhler, min handledare på Norrvatten, för introduktion till ämnet, bakgrundsmaterialet som låg till grund för arbetet och värdefull feedback längs arbetets gång, samt till Claudia von Brömssen för råd angående statistiska metoder. Sist men inte minst vill jag tacka Tord Andersson på Umeå Universitet för feedback och idéer som gjorde rapporten bättre.



# Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	2
2 Metod .....	2
2.1 Områdesbeskrivning.....	2
2.2 Datahantering .....	3
2.2.1 Vattenfärg.....	3
2.2.2 Skogsbestånd .....	4
2.2.3 Växtdagar .....	4
2.2.4 Vattenflöde .....	5
2.2.5 Statistiska analyser .....	5
3 Resultat .....	5
3.1 Vattenfärg.....	5
3.2 Skogsbestånd .....	6
3.3 Växtdagar .....	6
3.4 Vattenflöde.....	6
3.5 Samband mellan vattenfärg, skogsbestånd och växtdagar .....	10
3.6 Samband mellan vattenfärg, vattenflöde och bassänger.....	11
4 Diskussion .....	12
4.1 Drivande faktorer .....	12
4.2 Framtida klimat.....	13
4.3 De olika bassängerna.....	14
4.4 Fortsatta studier .....	14
4.5 Slutsats.....	14
5 Referenser .....	16
Bilaga.....	19
Bilaga 1. Klimatscenarier .....	19
Bilaga 2. Vattenfärg .....	20
Bilaga 3. Skogsvolym .....	21
Bilaga 4. Skogsareal .....	22
Bilaga 5. Växtdagar .....	23
Bilaga 6. Vattenflöde.....	24





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Ytvatten från sjöar och vattendrag är en viktig dricksvattenkälla i Sverige. Totalt står det för 75% av råvattnet till dricksvattenproduktionen, där 50% tas direkt från ytvatten och 25% från återinfiltrerat ytvatten, så kallat konstgjort grundvatten (Svenskt vatten 2016). Mälaren är Sveriges största vattentäkt och förser drygt två miljoner människor med dricksvatten (Mälarens vattenvårdsförbund, u.å.). En fortsatt god kvalitet på råvattnet är därför av stor vikt för att kunna säkerställa framtida dricksvattenproduktion av Mälarens vatten, såväl som andra ytvatten i Sverige. Brunifiering av ytvatten som konsekvens av en ökad tillförsel av främst organiskt material har de senaste decennierna kunnat identifieras på nordliga breddgrader, däribland Sverige (Monteith et al. 2007). Detta komplicerar dricksvattenproduktionen, men har även konsekvenser för ekologiska system genom försämrat siktdjup samt ändrade kemiska och fysikaliska förhållanden och tros bidra till ökade utsläpp av växthusgaser från vattenmassorna (Škerlep et al. 2019). Som konsekvens av höjda halter organiskt material i ytvattnet kommer kraftigare reningsprocesser krävas på vattenreningsverk. Reningen syftar på att ta bort den ökade färgen, lukten och smaken samt ämnen som det organiska materialet kan föra med sig. Under desinfektionssteget reagerar det organiska materialet med exempelvis klor vilket potentiellt kan bilda skadliga och cancerframkallande biprodukter i vattnet (Richardson et al. 2007). Riskerna för bakterietillväxt ökar också med ökade halter organiskt material i ledningarna (Frias et al. 2001).

Studier har visat att färgen i Mälaren ökat sedan 1965 i både de västra och östra bassängerna, med större ökning i västra Mälaren (Köhler et al. 2013). Att förändringen skiljer sig mellan bassängerna kan bland annat tillskrivas skillnader i uppehållstider i olika bassänger, med ökande uppehållstid från väst till öst. De olika delavrinningsområdena har också olika andel sjöareal samt skog- och åkermark (Sonesten et al. 2013). Den ökade uppehållstiden i Mälaren, samt högre sjöareal i delavrinningsområdena, leder till att den partikulära andelen av organiska ämnen hinner sedimentera och att den lösta andelen bryts ner, vilket gör att halterna i vattnet minskar. Framförallt ökad tillförsel av terrestert organiskt material anses vara den viktigaste anledningen till starkare färgat vatten, men även ökade järnhalter har visats ha stor påverkan (Kritzberg och Ekström 2011). De huvudsakliga faktorerna som beskrivits som drivande för brunifiering av ytvatten är minskad svaveldeposition, varmare och blötare klimat samt ändrad markanvändning (Kritzberg et al. 2020).

Under de senaste decennierna har minskad svaveldeposition resulterat i högre pH-värden i marken, vilket enligt studier har lett till att löst organiskt kol (DOC) i marken lösts upp och i högre grad transporterats till ytvatten (Ekström et al. 2011). Monteith et al. (2007) har visat att DOC-koncentrationer har ökat proportionellt mot den minskade svaveldepositionen. Förutom en ökad lösning och transport av DOC har även kvalitén av DOC ändrats enligt Ekström et al. (2011), med en mörkare färg vid högre pH jämfört med de lägre pH-värdena från de höga svavelnedfallen. Även ett förändrat klimat med högre temperaturer och ökad avrinning, som gynnar både skogstillväxt och nedbrytning av organiskt material, förstärker brunifieringen (Weyhenmeyer och Karlsson 2009). En ökad avrinning har pekats ut som en drivande faktor för brunifiering särskilt i torra boreala områden, eftersom den ökade tillgängligheten av DOC i marken då lättare kan transporteras till ytvatten (de Wit et al. 2016). Denna effekt är särskilt stor i områden som domineras av skogsmark om nederbörden i större utsträckning kommer i form av regn istället för snö (Köhler et al. 2008). I områden som redan har hög avrinning tros ökningen istället resultera i utspädning och minskad färg (de Wit et al. 2016). På senare år har markanvändning alltmer lyfts fram som en drivande faktor i brunifiering. DOC i markvattnet har visats vara högre i barrskog än lövskog (Camino-Serrano et al. 2014) och en hög andel av gran i avrinningsområdet har pekats ut som den faktor som bäst förklarar den långsiktiga brunifieringen i Lyckebyån i sydöstra Sverige (Škerlep et al. 2019).

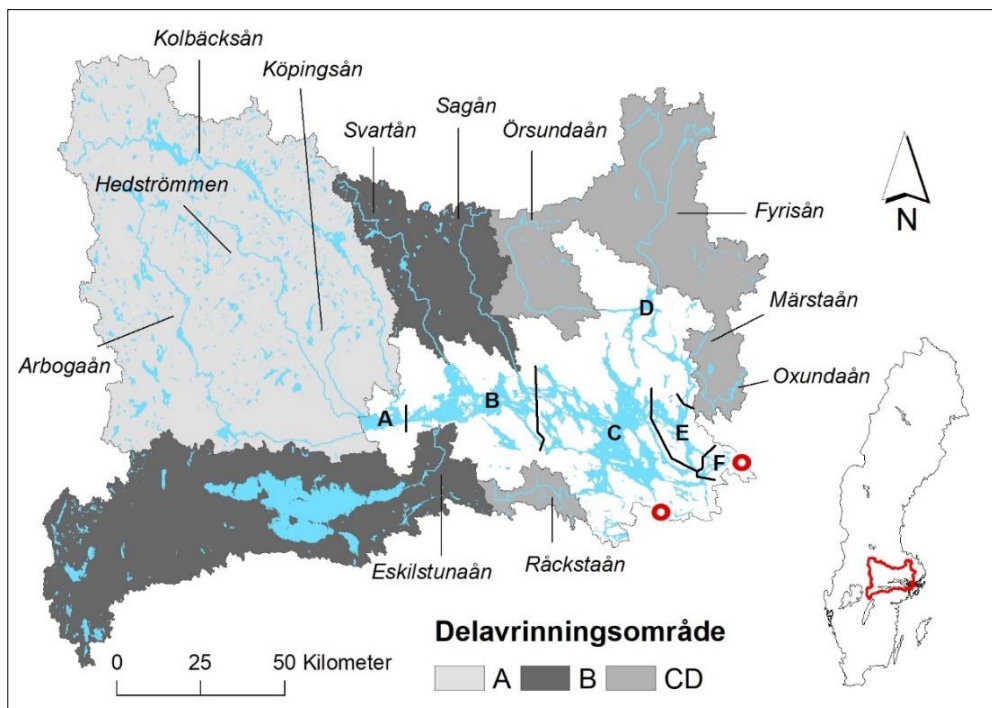
## 1.2 Syfte

Återhämtning av försurad mark har länge ansetts som den viktigaste faktorn för brunifiering av ytvatten, men då denna minskar blir det allt viktigare att utreda andra faktorer påverkan. Hur vattenfärgen påverkas av tall och gran i avrinningsområdet har ännu inte studerats för Mälaren. Syftet med denna studie var att med hjälp av historiskt data kunna identifiera faktorer som kan påverka Mälarens vattenfärg i framtiden. Detta gjordes genom att studera i) ändring i markanvändning, med en ökad tall- och granvolym i skogsmarken sedan 1955, och ii) ändrat klimat, representerat av antal växtdagar och årsvattenflöde från varje delavrinningsområde.

## 2 Metod

### 2.1 Områdesbeskrivning

Mälarens avrinningsområde täcker en yta på 22 603 km<sup>2</sup> och är Sveriges tredje största sjö. Inom avrinningsområdet ligger även Hjälmaren, Sveriges fjärde största sjö. Avrinningsområdet är till största del beläget norr och väster om sjön och vattnet transporteras huvudsakligen i väst-östlig och nord-sydlig riktning mot utloppen i sydost. Tre utlopp är belägna i centrala Stockholm (Norrström, Söderström och Hammarbyslussen) och ett i Södertälje, samt kulvertar i Hammarby och Södertälje, där vattnet rinner ut i Östersjön (SMHI 2018). Tio större vattendrag (Eskilstunaån, Arbogaån, Hedströmmen, Köpingsån, Kolbäcksån, Svartån, Sagån, Örsundaån, Fyrisån och Räckstaån), två mindre vattendrag (Märstaån och Oxundaån) och närområdet förser Mälaren med vatten. Mälaren delas ofta in i sex bassänger (A-F) och utifrån dessa kan avrinningsområdet delas in i delavrinningsområden (figur 1). Vattenbalansen för de olika bassängerna skiljer sig stort, med olika andelar vattentillskott från vattendrag, närområdet, nederbörd och flöden mellan bassänger (tabell 1). Det stora avrinningsområdet innebär också skillnader i markanvändning, där andel sjöyta, våt-, skogs- och åkermark varierar (tabell 2). Exempelvis finns en högre andel skogsmark i de västra delarna.



Figur 1. Mälarens avrinningsområde med bassänger A-F och delavrinningsområden baserat på tillrinning i respektive bassäng. Det vita området är närområdet och utloppspunkter är markerade som röda cirklar för centrala Stockholm (ovan) och Södertälje (nedre). Till höger ses Mälarens läge i Sverige. Delavrinningsområdena har tagits fram med hjälp av ArcGis, baserat på bassängindelning av Wallin et al. 2000. Datakälla: SMHI, Lantmäteriet.

Tabell 1. Vattenbalans med in- och utflöden i % samt uppehållstid i år för varje bassäng. Tillflöde beskrivs som procentuell andel från närområde, vattendrag, nederbörd och flöde från intilliggande bassäng. På samma sätt beskrivs vattenavgång som andel avdunstning och flöde från bassäng. Baserad på genomsnittliga flöden i m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> år 1981–1995, modifierad från Wallin et al. (2000).

Bassäng	Närområde	Vattendrag	Nederbörd	Flöde till bassäng	Avdunstning	Flöde från bassäng	Upphållstid (år)
A	+3,3	+96	+1,1	-	-1	-99	0,07
B	+3,7	+27	+3,7	+65	-4	-96	0,6
C	+6,6	+0,7	+5,9	+87	-5	-95	1,8
D	+32	+61	+7,1	-	-4	-96	1,2
E	+2,0	-	+2,0	+96	-2	-98	0,4
F	+0,29	-	+0,29	+99	-0,2	-99,8	0,05

Tabell 2. Markanvändningsandel och vattenbidrag till Mälaren i % uppdelat på tillflöden och bassänger. Modifierad från Jiménez Ledesma (2011) och Wallin et al (2000).

Tillflöde	Utflödesbassäng	Våtmark	Skogsmark	Åkermark	Sjöyta	Vattenbidrag till Mälaren	Area (km <sup>2</sup> )
Arbogaån	A	7,07	60,3	14,2	7,11	25,1	3802
Kolbäcksån	A	7,69	66,3	6,48	8,96	16,9	3093
Hedströmmen	A	9,69	63,7	9,15	8,27	7,0	1058
Köpingsån	A	7,85	63,1	16,1	5,02	1,1	284
Eskilstunaån	B	4,94	44,2	28,7	14,7	14	4187
Svartån	B	7,13	54,7	26,2	3,29	3,5	754
Sagån	B	2,86	45,8	40,9	1,23	4,1	865
Räckstaån	C	5,45	60,7	19,7	5,30	0,6	239
Fyrisån	D	4,13	51,0	30,9	1,56	7,6	1982
Örsundaån	D	2,92	47,4	38,9	1,26	2,9	727
Oxundaån	D	1,56	33,8	37,7	6,22	0,9	271
Märstaån	D	0,95	31,0	36,1	0,54	0,3	71
Närområdet	A, B, C, D, E, F					16,0	

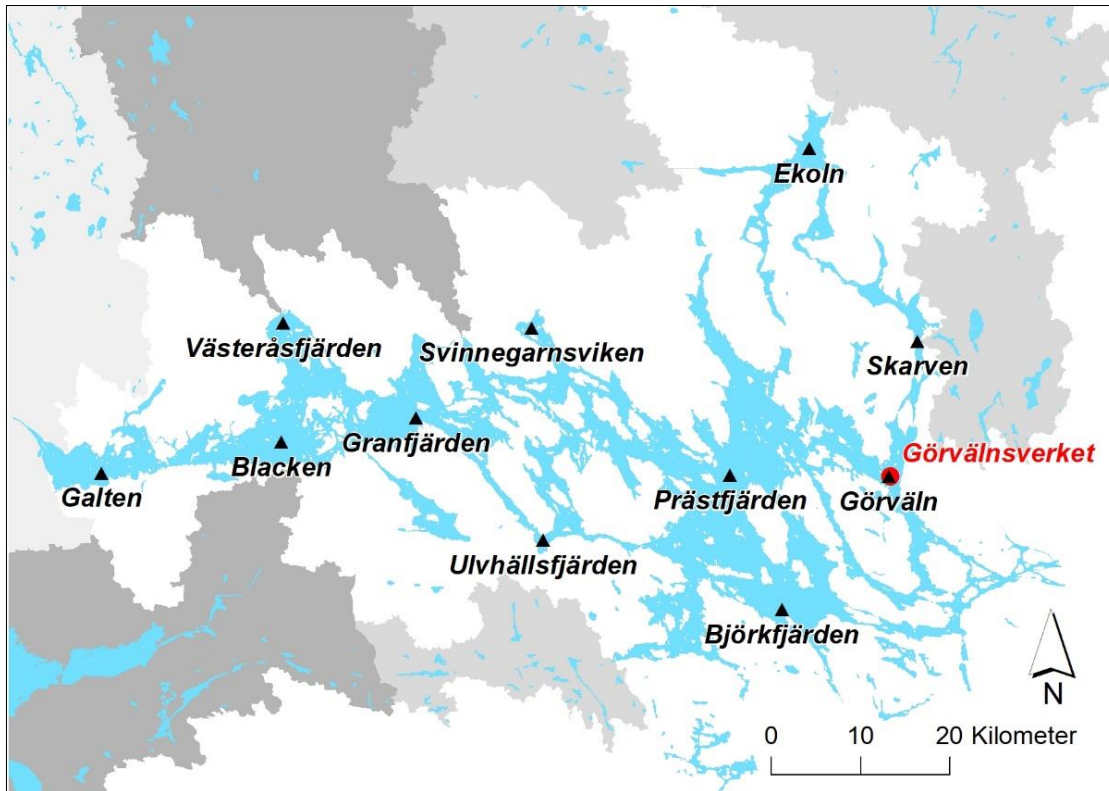
## 2.2 Datahantering

### 2.2.1 Vattenfärg

Institutionen för Vatten och Miljö på Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, har 11 mätstationer (figur 2) spridda över samtliga bassänger utom bassäng F som provtagits regelbundet sedan 1965. Vattenfärgen har mätts som absorbans med våglängden 420 nm ( $A_{420}$ ) för filtrerat vatten. För provplatsen Görvalnsverket (figur 2) har data tillhandahållits av Norrvatten. Vattenfärgen har mätts som Pt mg/l och sträcker sig från 1968 till 2018. Allt data som används är från provtagningar på 8–15 m djup, beroende på bassängens djup och tillgängliga mätserier för hela perioden. På grund av skiktning är vattenmassorna i nedre och övre skikt inte representativa. Därför användes inga mätningar av yt- och djupvatten.

Årsmedianvärden har beräknats per bassäng för uppmätt  $A_{420}$  för maj, juli och september, vilket var de månader som hade genomgående flest mätningar under hela perioden (bilaga 2). Värden som uppmätts andra månader för vissa år valdes bort på grund av den naturliga säsongsvariationen, så att de inte ger ett missvisande årsvärde i jämförelse med år som saknar motsvarande provtagningar. Tidsperioderna anpassades något utifrån tillgängligt

data och de perioder som använts för trendanalyser är 1967–2015 för bassäng A och B, 1965–2018 för bassäng CD och 1966–2018 för bassäng E. Bassäng A utgörs av Galten, bassäng B av Blacken, Västeråsfjärden och Granfjärden, bassäng CD av Svinnegarnsviken, Ulvhällsfjärden, Prästfjärden, Björkfjärden, Ekoln och Skarven samt bassäng E av Görväl (SLU) och Görvälnsverket (Norrvatten). Omvandling från Pt mg/l gjordes enligt formeln  $(Pt \text{ mg/l}) \approx 500 \times \text{Absorbans (SLU 2019)}$ .



Figur 2. Mätstationer för vattenfärg från SLU (svarta trianglar) och Norrvatten (röd cirkel).

### 2.2.2 Skogsbestånd

Data över skogsbestånd har beställts från Riksskogstaxeringen, Institutionen för skoglig resurshandling på SLU (bilaga 3 och 4). Riksskogstaxeringen genomför årligen inventering av provytor utifrån vilka en skattning av skogsmarken presenteras på läns-, landsdels och riksnivå (Riksskogstaxeringen 2019). Data är levererat som femårsmedelvärden från 1955 till 2015, där 1955 representerar åren 1953–1957, för de tre delavrinningsområdena A, B och CD (figur 1). Trender har undersökts för den totala volymen levande träd ( $m^3sk$ ) för tall och gran då detta tar hänsyn till både areal och ålder på bestånden, och därmed bäst bör spegla det organiska materialet i marken. Inventeringen inkluderade inte nationalparker och naturreservat som skogsmark förrän 2003. Arealen för de fridlysta områdena är dock som mest 1,3% av den produktiva skogsmarken och bedöms vara så liten att det inte påverkar resultatet. Area tallskog och granskog för samma tidsperiod har även använts för att undersöka hur effekten av area skiljer sig mot volym. Åren 1953–1982 bedömdes arean i fält och från 1983 genom klavning.

### 2.2.3 Växtdagar

Interpolerade dygnsmedeltemperaturer erhöles från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) för avrinningsområdena Galten, Blacken, Västeråsfjärden, Granfjärden, Svinnegarnsviken, Ulvhällsfjärden, Prästfjärden, Björkfjärden, Ekoln, Skarven och Görväl (figur 2) för perioden 1965–2018. Datan innehöll värden för varje dygn från 1 januari 1965 till 31 december 2018. Växtdagar identifierades som antal dagar per år med en dygnsmedeltemperatur på  $5^\circ C$  eller högre och medelvärde för varje bassäng beräknades (bilaga 5).

### 2.2.4 Vattenflöde

Modellerade dygnsvärden (S-HYPE) för ackumulerat flöde uppströms delavrinningsområdena Galten, Västeråsfjärden, Prästfjärden, Granfjärden, Ekoln, Skarven och Görvältn för perioden 1981–2018 erhöles från SMHI. Datan innehöll värden för varje dygn från 1 januari 1981 till 31 december 2018. Årsmedelvärden för varje bassäng beräknades (bilaga 6).

### 2.2.5 Statistiska analyser

För statistiska analyser användes RStudio version 3.6.1 (Action of the Toes). För att analysera trender över tid för vattenfärg, tall- och granvolym, växt dagar och vattenflöde användes det icke-parametriska Mann-Kendall trendtestet med rkt-paketet. På grund av datans varierande provtagningsperioder har korrelation för vattenfärg testats med varje variabel för sig, istället för att använda multipel linjär regression. Korrelation testades för samtliga variabler som bedömdes vara beroende av en annan variabel (tabell 3). För att testa hur vattenfärg och växt dagar korrelerade med skogsdata räknades femårsmedelvärden ut för samma år som skogsdatan. För att testa vattenflödets korrelation på en kortare tidsskala gjordes korrelationsanalyser för 11–12-årsperioder med start vid dataseriens början år 1981 (1981–1992, 1993–2004, 2005–2015). Samtliga korrelationsanalyser gjordes genom Kendalls tau-analyser med signifikansnivån 0,05.

Tabell 3. Bedömda beroenden mellan variabler som undersökts är markerat med kryss. Oberoende variabler i horisontella kolumner och beroende variabler lodräta rader.

	Växt dagar	Vattenflöde	Tallvolym	Granvolym	Area tallskog	Area granskog
Vattenfärg	x	x	x	x	x	x
Tallvolym	x				x	
Granvolym	x					x

För att skapa utjämnade kurvor för absorbans, växt dagar och vattenflöde över hela tidsperioden, och bättre illustrera övergripande trender, användes Excel-tillägget PTS Excel LOESS Smoothing Utility (locally weighted scatterplot smoothing) på årsmedelvärden för de tre variablerna. Datapunkter närmare den uppskattade punkten ger mer tyngd än datapunkter långt bort. Antal datapunkter som används för uppskattningen dividerat med totalt antal punkter i dataserien ger ett så kallat alfavärde. Högre alfavärden innebär att lokala variationer blir mer utjämnade. I denna studie användes alfavärden på 0,245, 0,241 och 0,237 för utjämning av absorbans, växt dagar och vattenflöde.

## 3 Resultat

### 3.1 Vattenfärg

En signifikant ökning i vattenfärg har skett i samtliga bassänger sedan 1965 (A:  $p=2,1 \times 10^{-8}$ , B:  $p=7,6 \times 10^{-9}$ , CD:  $p=4,1 \times 10^{-4}$ , E:  $p=5,2 \times 10^{-3}$ ). Vattenfärgen har inte ökat linjärt hela perioden, utan en kraftig nedgång kan urskiljas i mitten på 1970-talet, särskilt utpräglat i bassäng A, B och CD (figur 3–5). Samma mönster med upp- och nedåtgående trender kan urskiljas för vattenfärgen i alla bassänger, även om nivåerna är högre i bassäng A och B. Eftersom data över vattenflöde börjar år 1981 har även vattenfärgens trend undersökts sedan 1981. Det visade på en signifikant ökning för bassäng A och B ( $p=5,5 \times 10^{-5}$  och  $p=2,6 \times 10^{-3}$ ), men ingen signifikant trend för bassäng CD och E ( $p=0,088$  och  $p=0,20$ ). Bassäng A och B visar även den största procentuella ökningen för perioden 1968–1972 till 2011–2015 (tabell 4). Trots de betydligt lägre medianvärdena för vattenfärg i bassäng CD och E har vissa högre värden uppmätts med högre färg än i bassäng B (tabell 4).

Tabell 4. Högst och lägst uppmätt absorbansvärde under maj, juli och september för hela perioden, med årtal inom parentes, samt procentuell ökning av medianvärden från 1968-1972 till 2011-2015 i bassäng A, B, CD och E.

	Högst uppmätta färg (A <sub>420</sub> )	Lägst uppmätta färg (A <sub>420</sub> )	Ökning 1968–1972 till 2011–2015
Bassäng A	0,324 (1979)	0,033 (1976)	+124%
Bassäng B	0,214 (1988)	0,024 (1976)	+108%
Bassäng CD	0,295 (1976)	0,024 (1972, 1923)	+69%
Bassäng E	0,252 (2006)	0,016 (1974)	+40%

### 3.2 Skogsbestånd

Tall- och granvolym visade på en signifikant uppåtgående trend i delavrinningsområde A (tall:  $p=0,01$ , gran:  $p=0,01$ ), B (tall:  $p=0,04$ , gran:  $p=0,009$ ) och CD (tall:  $p=0,001$ , gran:  $p=0,003$ ) för perioden 1955-2015. Delavrinningsområdena har stor skillnad i totalvolym tall och gran (figur 3; tabell 5) men visar alla en till stor del genomgående ökning från 1970. Mellan 1955 och 1975 har volymen minskat i delavrinningsområde A och B, men hållt en relativt konstant nivå i område CD. Sedan 1970 visar område A och B en liknande ökning på mellan 29,1–32,4% (tabell 5). Område CD har haft en mindre ökning i trädvolym men har haft en jämnare utveckling (figur 3). Mest varierande volymer, med växlande upp- och nedgående mellan datapunkter, syns i område B (figur 3).

Tabell 5. Störst och lägst inventerad volym av tall och gran, med årtal inom parentes, samt procentuell ökning från 1970 till 2015 i delavrinningsområde A, B och CD.

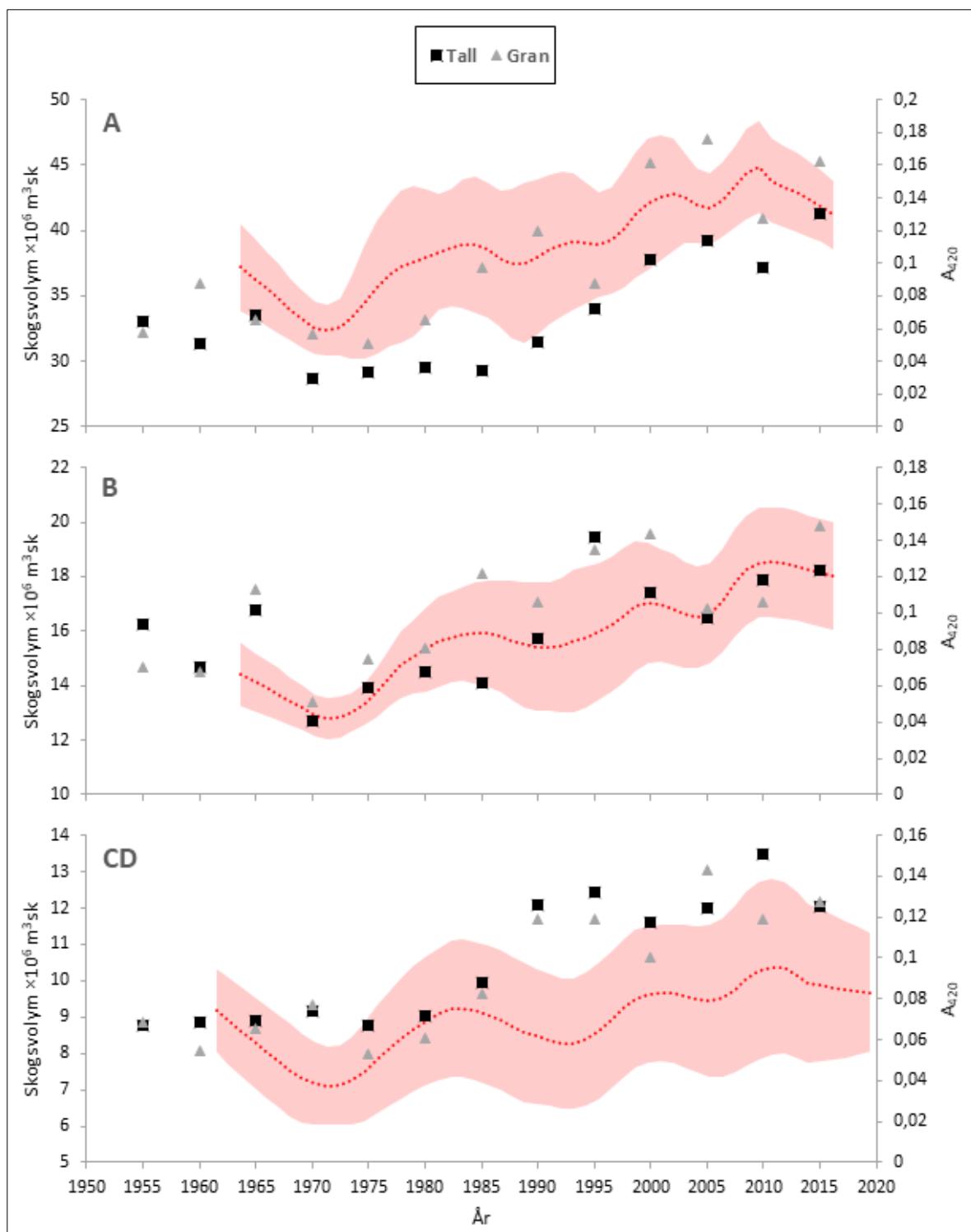
		Störst volym $\times 10^6$ m <sup>3</sup> sk	Minst volym $\times 10^6$ m <sup>3</sup> sk	Ökning 1970 till 2015
Tall	A	41,3 (2015)	28,7 (1970)	30,5%
	B	19,4 (1995)	12,7 (1970)	30,3%
	CD	13,5 (2010)	8,77 (1975)	24,1%
Gran	A	47,0 (2005)	31,4 (1975)	29,1%
	B	19,8 (2015)	13,4 (1970)	32,4%
	CD	13,0 (2005)	7,99 (1975)	23,4%

### 3.3 Växt dagar

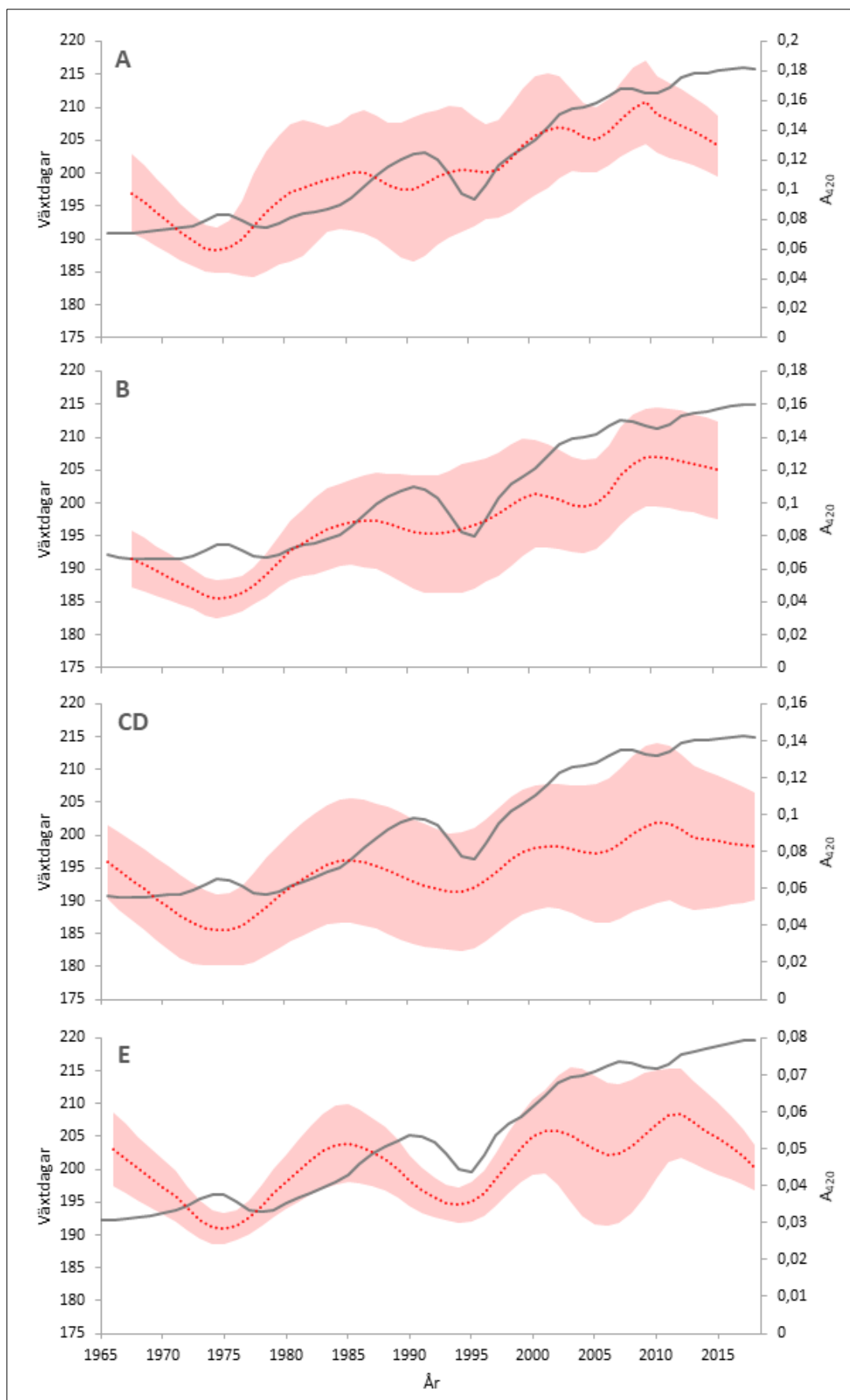
Antal växt dagar per år har ökat under perioden 1965–2018 för alla delområden (A:  $p=3,4 \times 10^{-5}$ , B:  $p=1,7 \times 10^{-4}$ , CD:  $p=3,5 \times 10^{-5}$  och E:  $p=1,4 \times 10^{-5}$ ). I samtliga bassänger kan även mindre nedgångar i antal dagar ses i slutet av 1970-talet och 2010 samt en kraftigare nedgång i mitten på 1990-talet (figur 4). Mellan perioden 1968–1972 och 2011–2015 ökade antal växt dagar per år i genomsnitt för område A, B, CD och E med 30 dagar. Under denna period ökade antal växt dagar med 16% i område A, 15% i område B, 16% i område CD och 17% i område E.

### 3.4 Vattenflöde

Vattenflödet visar tydligt växlande perioder med högre och lägre flöden (figur 5) med en signifikant minskning under hela tidsintervallet 1981–2018 till bassäng A ( $p=0,04$ ), B ( $p=0,03$ ), CD ( $p=0,01$ ) och E ( $p=0,01$ ). Samma mönster för alla bassänger kan ses (figur 5) även om flödet till de olika bassängerna är olika högt, med högre flöden till bassäng A och E. Minskningen var av liknande storlek för alla bassänger med 15% för A, 16% för B och 18% för bassäng CD och E.

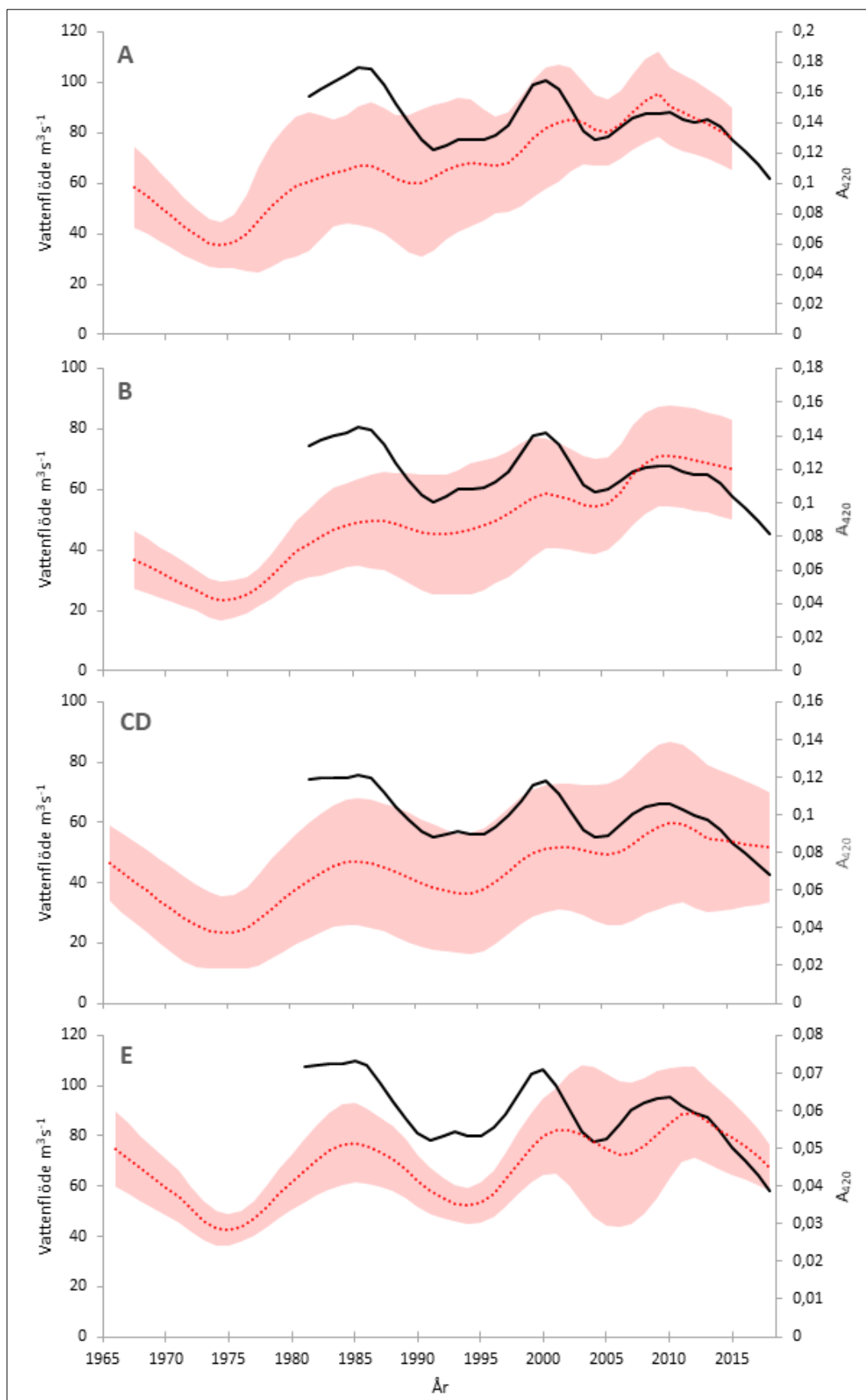


Figur 3. Vattenfärg med LOESS-utjämning och femårsmedelvärden tall- och granvolym ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>sk) för bassäng A, B och CD. Den röda streckade linjen är vattenfärg (A<sub>0.20</sub>) och det skuggade röda området visar standardavvikelsen.



Figur 4. Vattenfärg och växtdagar för bassäng A, B, CD och E med LOESS-utjämning. Den röda streckade linjen visar vattenfärg ( $A_{420}$ ) med och det skuggade röda området visar standardavvikelsen. Den grå linjen visar antal växtdagar.





Figur 5. Vattenfärg och vattenflöde för bassäng A, B, CD och E med LOESS-utjämning. Den röda streckade linjen visar vattenfärg ( $A_{420}$ ) och det skuggade röda området visar standardavvikelsen. Den svarta linjen visar vattenflöde ( $m^3s^{-1}$ ).

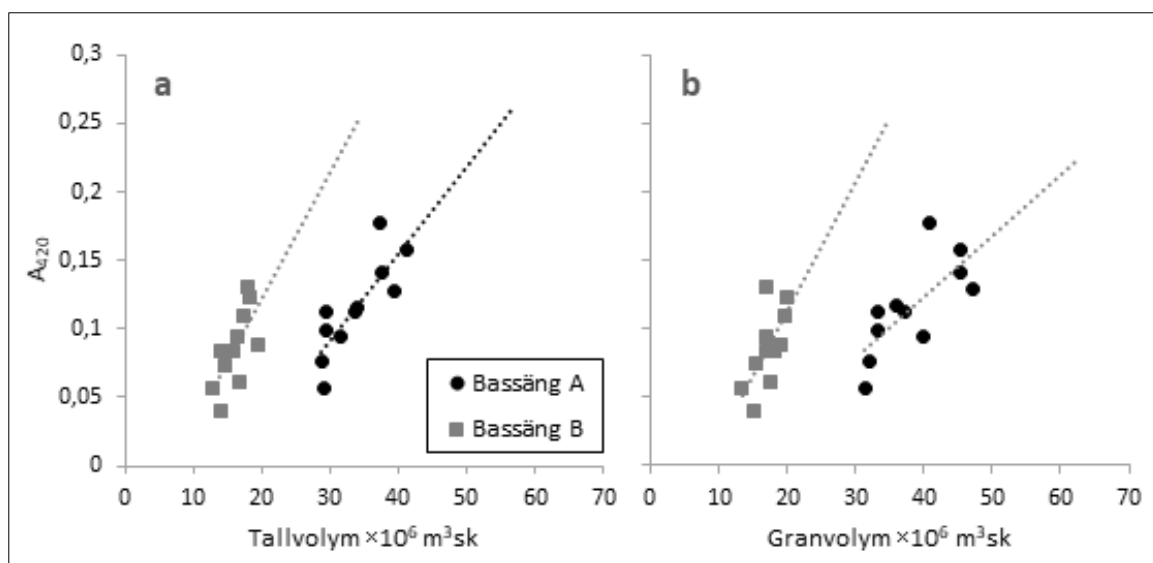
### 3.5 Samband mellan vattenfärg, skogsbestånd och växt dagar

Korrelationsanalys mellan trädvolym och vattenfärg visade en signifikant positiv korrelation för bassäng A och B för hela perioden 1965–2015 (tabell 6 och figur 6), med starkast korrelation i bassäng A. Ingen signifikant korrelation mellan vattenfärg och vare sig tall- eller granvolym fanns i bassäng CD. För att visa hur vattenfärgen kan väntas påverkas av tall- och granvolymen i framtiden gjordes en extrapolering (figur 6). Enligt denna kommer en fortsatt ökad tall- och granvolym leda till ökad vattenfärg i bassäng A och B, med något starkare ökning i bassäng B än bassäng A (figur 6).

Tabell 6. Kendall's tau korrelationer för (a) vattenfärg och tall- och granvolym; (b) vattenfärg och tall- och granarea; (c) växt dagar och tall- och granvolym; (d) volym och tall- och granarea för perioden 1965–2015. Tester som inte visade någon signifikant korrelation är markerade med -.

		(a) $A_{420}$ / Volym ( $m^3$ sk)	(b) $A_{420}$ / Area (ha)	(c) Växt dagar / Volym ( $m^3$ sk)	(d) Area (ha) / Volym ( $m^3$ sk)
A	Tall	0,67**	-	0,82***	0,56*
	Gran	0,64**	-	0,71**	0,60**
B	Tall	0,60**	-	0,49*	0,56*
	Gran	0,53*	0,64**	-	0,75***
CD	Tall	-	-	0,64**	0,64**
	Gran	-	-	-	0,78***

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$



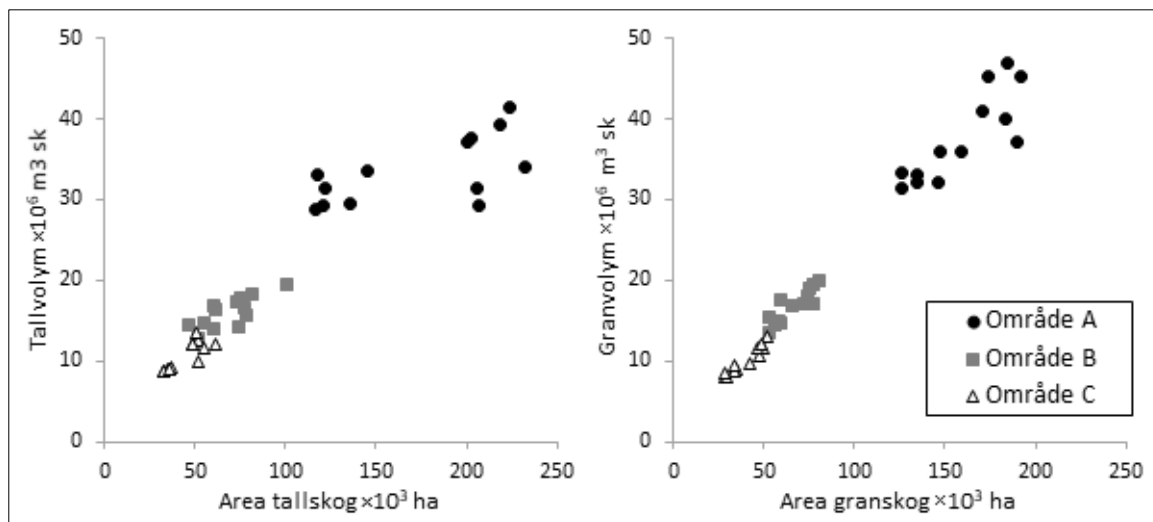
Figur 6. Korrelation och extrapolerade trendlinjer för  $A_{420}$  som femårsmedelvärden och (a) tallvolym; (b) granvolym för bassäng A och B.

För att undersöka orsaker till ökning av trädvolym gjordes korrelationstest för volym med area och antal växt dagar. Alla delavrinningsområden visade en signifikant korrelation mellan volym och area för både tall och gran för perioden 1955–2015 (tabell 6; figur 7), där korrelationen mellan volym och area var starkare för gran än tall i alla områden.

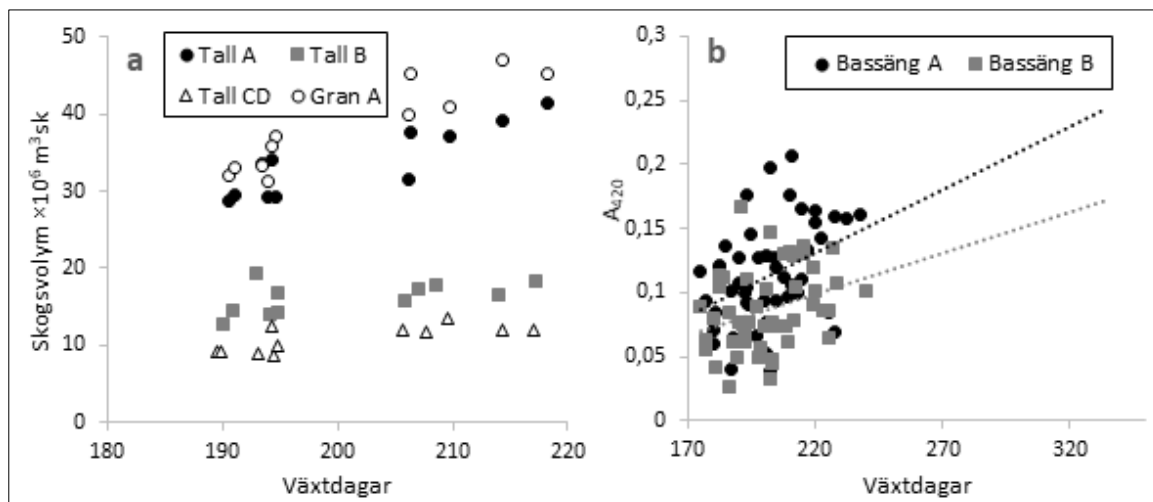
Korrelationsanalys mellan växt dagar och trädvolym visade en signifikant korrelation för tallvolym i alla delavrinningsområden men för granvolym endast i delavrinningsområde A (tabell 6 och figur 8a). Ingen signifikant korrelation kunde visas mellan växt dagar och granvolym i delavrinningsområde B ( $p=0,2$ ) eller CD ( $p=0,1$ ).

Korrelationsanalys mellan växt dagar och vattenfärg för perioden 1967–2015 visade en signifikant positiv korrelation för bassäng A ( $p=0,01$ ,  $\tau=0,26$ ) och B ( $p=0,03$ ,  $\tau=0,22$ ) (figur 8b). Ingen signifikant korrelation kunde visas för bassäng CD och E ( $p=0,08$ ;  $p=0,2$ ).

En extrapolering gjordes även för växt dagar och vattenfärg (figur 8b). Enligt denna ökar vattenfärgen med ökat antal växt dagar en aning mer i bassäng A än B (figur 8b).



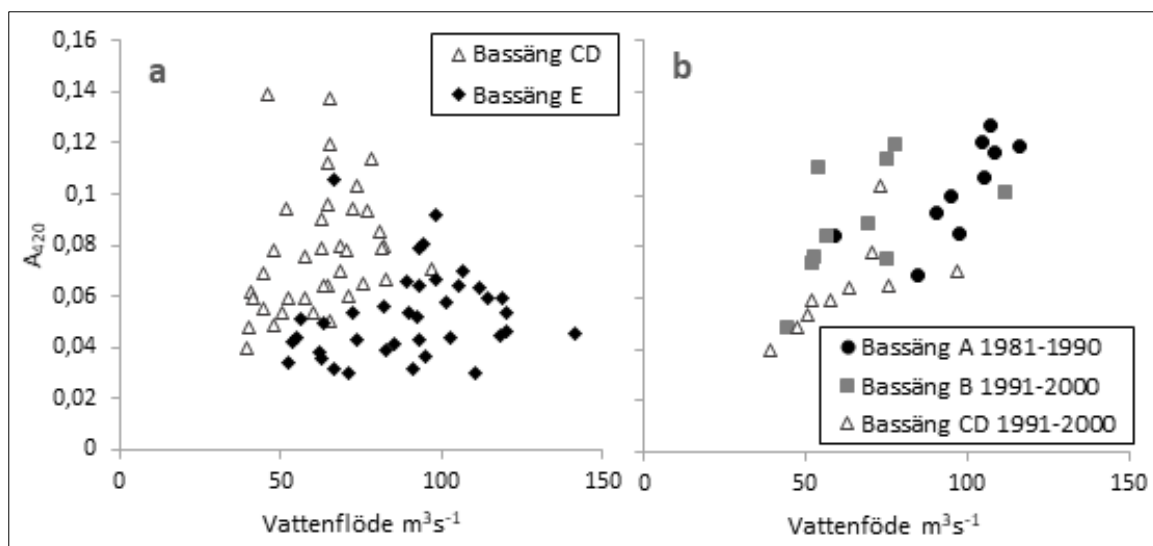
Figur 7. Korrelation mellan femårsmedelvärden av volym (m<sup>3</sup> sk) och area (ha) för (a) tall och (b) gran för område A, B och CD.



Figur 8. (a) Korrelation mellan växt dagar och femårsmedelvärden av tall-och granvolym och (b) Korrelation och extrapolerade trendlinjer för A<sub>420</sub> och antal växt dagar för bassäng A och B i delavrinningsområde A, B och CD.

### 3.6 Samband mellan vattenfärg, vattenflöde och bassänger

Vattenflöde för den undersökta perioden 1981–2015 visade endast korrelation med vattenfärg för bassäng CD och E ( $p=0,006$ ,  $\tau=0,31$ ;  $p=0,05$ ,  $\tau=0,23$ ) (figur 9). På grund av vattenflödets periodicitet (figur 5) gjordes analyser även för kortare tidsperioder (1981–1992, 1993–2004, 2005–2015). Dessa visade en signifikant positiv korrelation för perioden 1981–1992 i bassäng A ( $p=0,014$ ,  $\tau=0,55$ ) och 1993–2004 i bassäng CD ( $p=0,014$ ,  $\tau=0,55$ ) (figur 8). Korrelationen för de kortare perioderna var starkare än de signifikanta korrelationerna som bassäng CD och E visade för hela tidsperioden.



Figur 9. Samband mellan  $A_{420}$  årsmedianvärden och vattenflödets årsmedelvärden för (a) bassäng CD och E och (b) bassäng A (1981–1990), bassäng B (1991–2000) och bassäng CD (1991–2000).

Vattnets öst-västliga och nord-sydliga transport innebär att vattenmassorna blandas när de transporteras mot utloppen i sydost. Korrelationsanalyser gjordes därför mellan bassängernas vattenfärg. En signifikant korrelation kunde visas mellan vattenfärgen för samtliga bassängar under perioden 1967–2015 (tabell 7). Starkast samband hittades mellan bassäng B och CD, A och B samt CD och E mellan vilka ett direkt vattenutbyte sker.

Tabell 7. Kendall's tau korrelation för  $A_{420}$  mellan de olika bassängerna.

Bassäng	A	B	CD
B	0,63****		
CD	0,56***	0,73*****	
E	0,42*	0,51**	0,62*****

\* $p=3 \times 10^{-5}$ ; \*\* $p=3 \times 10^{-7}$ ; \*\*\* $p=2 \times 10^{-8}$ ; \*\*\*\* $p=4 \times 10^{-10}$ ; \*\*\*\*\* $p=1 \times 10^{-13}$

## 4 Diskussion

### 4.1 Drivande faktorer

Att trädvolymen ökat i alla delavrinningsområden innebär att det finns mer organiskt material tillgängligt för nedbrytning, vilket styr hur mycket organiskt material som kan transporteras till ytvattnet (Weyhenmeyer et al. 2012). Rosenqvist et al. (2010) visade i en studie på skogsbestånd i sydvästra Sverige att den organiska horisonten nådde en ökning på 6–8 cm på 60–90 år. Det innebär att den totala effekten av skogsplantering kan visa en fördröjning på flera årtionden. Att en ökad area av tall- och granskog har varit viktig för den ökade volymen visas av de signifikanta och starka korrelationerna mellan volym och area med Kendall's tau på 0,56–0,78 i den här studien (tabell 6). I alla tre delavrinningsområden visade area och volym starkare korrelation för gran än tall. Samtidigt korrelerade växtdagar endast med granvolym i område A, men med tallvolym i alla områden. Detta indikerar att den ökade arealen har haft en större påverkan på volym för gran än tall. Att ingen korrelation kunde visas mellan skogsarea och vattenfärg indikerar däremot att det är skogsbeståndens tillväxt som har störst betydelse. Enligt extrapoleringen för trädvolym och vattenfärg kan färgen väntas öka ytterligare om tall- och granvolymen fortsätter att öka i framtiden (figur 6). Korrelationen mellan antal växtdagar och volym, som var signifikant i fyra av sex fall (tabell 6), visar att tillväxten sannolikt påverkas av den längre växtperioden i området. Dessutom visade växtdagar och vattenfärg en signifikant korrelation i bassäng A och B (figur 8).

Svängningarna i vattenfärg följer till stor del samma mönster som höga vattenflöden och överensstämmer bra för bassäng B och CD. I bassäng E har vattenfärgen dock något förskjutna toppar, ungefär 2–3 år efter vattenflödets toppar, både i början av 2000-talet och kring 2010. Samma observation kan göras för bassäng A i början av 2000-talet. Trots denna förskjutning fanns en signifikant korrelation i bassäng E, vilket även visades i bassäng CD (Kendall's tau 0,31 och 0,23). Under den undersökta perioden 1981–2018 visar vattenflödet en nedåtgående trend i samtliga bassänger samtidigt som vattenfärgen i bassäng A och B under denna period har ökat. Bassäng CD och E visar dock ingen signifikant ökning i vattenfärg från 1981, vilket kan förklara den signifikanta korrelationen med vattenflöde. De signifikanta korrelationerna för de kortare perioderna visade en starkare korrelation mellan vattenflöde och vattenfärg (Kendall's tau 0,55) än för hela perioden i bassäng CD och E (Kendall's tau 0,31, 0,23).

Enligt flera studier ska en ökad avrinning i detta område leda till ökad färg (Weyhenmeyer och Karlsson 2009; de Wit et al. 2016; Köhler et al. 2008). Den minskade avrinningen kan därför inte antas vara bidragande i den ökade färgen för perioden 1981–2015 i de västra bassängerna. Möjligen är den tvärtemot en bromsande faktor. Eftersom data över vattenflöde saknas för 1965–1981 är påverkan på vattenfärgen över hela dataserien osäker. Istället bör vattenflödets påverkan enligt denna studie betraktas som en viktig faktor på en kortare tidsskala. Det konstaterades även av Škerlep et al. (2019) som fann signifikanta korrelationer mellan vattenfärg och vattenflöde för kortare perioder på 11–17 år (Kendall's tau 0,13–0,43). De ovanligt stora regnmängderna under sista halvan av år 2000 med ökad tillrinning resulterade i ökad vattenfärg i alla Mälarens bassänger (Sonesten et al. 2013). Anledningar till detta skulle enligt Sonesten et al. (2013) kunna vara att närområdet bidrar med mer humus än man tidigare trott, eller att utbytet mellan bassängerna skyndas på av ökad tillrinning. Båda dessa förklaringar innebär att en ökad framtida nederbörd kan innebära betydande färgökning även i de östra bassängerna, som normalt har en dämpad vattenfärg tack vare den längre omsättningstiden på vattnet som når dit.

Våtdepositionen av svavel i sydöstra Sverige nådde sina högsta nivåer runt 1970 för att sedan stadigt minska (Ferm et al. 2019). År 2017 var de uppmätta nivåerna lägre än en tredjedel av depositionen år 1955, då mätningarna började. Vattenfärgen visar en tydlig nedgång med lägst värde i mitten på 1970-talet och en efterföljande ökning som kan kopplas till minskade svavelutsläpp. Samma observation gjordes av Škerlep et al (2019) med en ökning i vattenfärg i Lyckebyån när svaveldeposition minskade, även om ingen nedgång av vattenfärg kunde kopplas till svaveldeposition i mitten på 1940-talet. Eftersom ingen analys av svaveldeposition har gjorts går det utifrån denna studie inte att säga exakt hur en minskad svaveldeposition har påverkat vattenfärgen i Mälaren.

## **4.2 Framtida klimat**

Stora skillnader finns i klimatscenarier för framtida temperaturer och nederbördsmonster i sydöstra Sverige (Bergström et al. 2006). Alla RCP-scenarier visar på en ökad medeltemperatur, med ökat antal växt dagar som följd (bilaga 1). Ökningen väntas bli 25–90 dagar till år 2091–2000 jämfört med antal dagar 1961–1990. Extrapolering för korrelation mellan antal växt dagar och vattenfärg i bassäng A och B visar att vattenfärgen kan väntas få en fortsatt ökning som resultat av detta. Osäkerheten är större vad gäller tillrinningen till Mälaren. Ökad årsnederbörd är att vänta enligt alla RCP-scenarier, om än marginell enligt RCP 2,6 (bilaga 1). Enligt RCP 8,5 kan nederbörden dock öka med mer än 20% till 2090-talet. Gemensamt för alla modeller är att tillrinningen väntas öka under vinterhalvåret på grund av mer nederbörd i form av regn istället för snö (Bergström et al. 2006). Under sommarhalvåret kommer en ökad temperatur leda till ökad avdunstning, vilket innebär att en minskad årstillrinning är möjlig om avdunstningen blir större än nederbördsökningen. Överlag leder de väntade klimatförändringarna till större fluktuationer i vattenstånd och antal dagar med mellannivåer minskar (Bergström et al. 2006).

### 4.3 De olika bassängerna

Det finns utmärkande skillnader mellan de olika bassängerna i korrelationsanalyserna, där skogsbruk och växtsäsong är korrelerat till vattenfärg i de västra bassängerna och vattenflöde är korrelerat till vattenfärg i de östra bassängerna för hela de undersökta perioderna. Detta kan antas vara främst kopplat till skillnaden i var respektive bassäng får sitt vatten (tabell 1) samt andel skogsmark i avrinningsområdet (tabell 2). Högre andel vatten från tillrinnande vattendrag och mer skogsmark i området visade på högre procentuell ökning av vattenfärg (tabell 4) och starkare korrelation till tall- och granvolym. I bassäng A kommer 96% av vattnet från tillrinnande vattendrag vilket innebär att bassängens vatten direkt påverkas av det som sker i avrinningsområdet, där 63% av arean utgörs av skogsmark. I bassäng B kommer 27% av vattnet från tillrinnande vattendrag och 46% av ytan utgörs av skogsmark. Övrigt vatten kommer i huvudsak från bassäng A, som har en uppehållstid på endast 3,6 veckor (0,07 år). Den höga andelen sjöareal i område B, där löst organiskt material hinner brytas ner, bidrar även till mindre färg. I bassäng CD kommer majoriteten av vattnet från de östra bassängerna och endast 10% av vattnet från tillrinnande vattendrag, där 49% av avrinningsområdet utgörs av skogsmark.

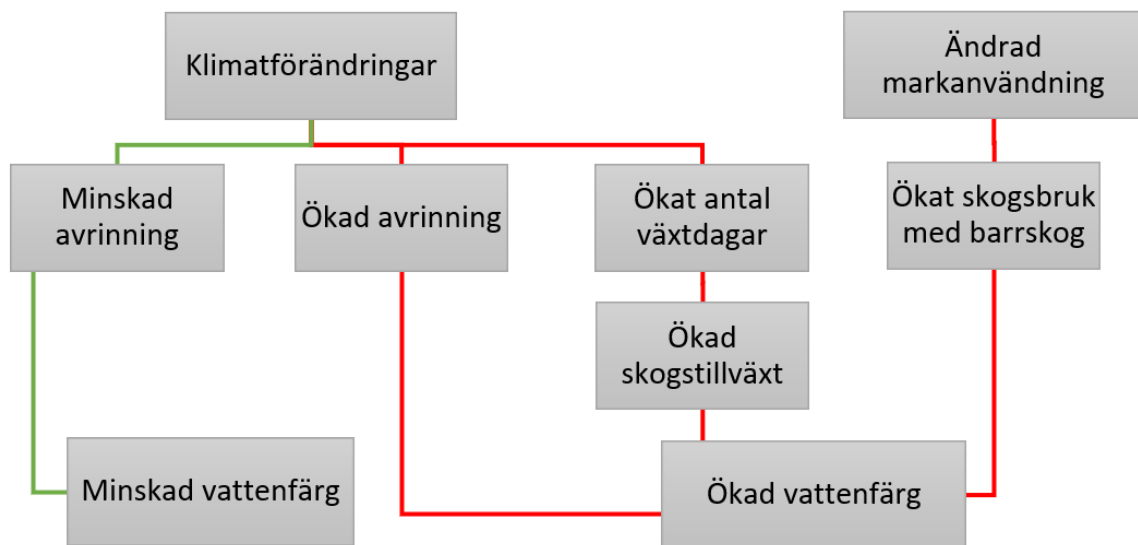
De fyra större vattendrag som avvattnar delavrinningsområde A bidrar med 50,1 % av Mälarens totala vatten (tabell 2), vilket innebär att hälften av vattnet i Mälaren passerat bassäng A under sin uppehållstid i sjön. Den korta uppehållstiden i bassäng A och B (0,07 respektive 0,6 år; tabell 1) innebär att ingen större mängd organiskt material hinner brytas ned eller sedimentera. De östra bassängerna har en betydligt högre uppehållstid och får en betydande del av sitt vatten från bassäng A och B vilket innebär att avrinningsområdet inte har en lika direkt påverkan på vattenfärgen. Korrelationstest mellan bassängernas vattenfärg visade en starkare korrelation mellan bassänger som ligger i direkt anslutning till varandra, där vattenutbytet är betydande, och lägre korrelation med längre avstånd (tabell 7). Detta samband innebär att en ökad färg i bassäng A och B som resultat av större tall- och granvolym i förlängning kan antas ha en påverkan på de östra bassängerna, men att denna effekt minskar desto längre österut vattnet kommer.

### 4.4 Fortsatta studier

De undersökta variablerna i denna studie har behövt begränsas utifrån vad som varit möjligt att genomföra inom ramen för ett kandidatarbete. Ytterligare faktorer som skulle vara intressanta att undersöka i framtida studier är hur olika skogsbruksmetoder påverkar mängden organiskt material i ytvattnet. Exempelvis kalavverkning, dikning (Kritzberg et al. 2020) och GROT-uttag (McGivney et al. 2019). Identifiering av särskilda grundvattenutflöden, så kallade DRIPS (discrete riparian input points; Ploum et al. 2018), är betydelsefullt för att lära sig var grundvatten och lösta ämnen når vattendragen. Detta möjliggör för en effektiv skogshantering där buffertzoner med lövträd kan planteras längs med vattendrag och sjöar på platser där de har störst effekt (Tiwari et al. 2016; Kritzberg et al. 2020).

### 4.5 Slutsats

Denna studie visar att vattenfärgen i Mälaren har ökat sedan 1965 som resultat av bland annat ett ökat antal växt dagar och barrskogsvolym (figur 10). Vattenflöde påverkar färgen främst på en kortare tidsskala med perioder av högre och lägre flöden. Det kraftiga regnet år 2000 visade att höga vattenflöden kan ge en snabb respons i ökad vattenfärg, även för Görvälnbassängen. Blir dessa händelser vanligare i framtiden, vilket är mer sannolikt enligt RCP 4,5 och RCP 8,5, kan episoder med ökad färg bli vanligare. Det skulle sannolikt leda till ökad färg. Ett ökat antal växt dagar är att vänta i framtiden enligt alla klimatscenarier, vilket bidrar till ökad skogstillväxt och tillgång på organiskt material. Om skogsbruket dessutom intensifieras, med utökad skogsmark och fortsatt höga inslag av barrskog, kommer det organiska materialet öka i allt högre takt.



Figur 10. Sammanfattande figur över undersökta faktorer i denna studie och deras påverkan på vattenfärgen. Gröna linjer markerar faktorer som kan väntas minska vattenfärgen och röda linjer faktorer som kan väntas öka vattenfärgen.

## 5 Referenser

- Bergström, Sten, Hellström, Sara-Sofia och Andréasson Johan. 2006. *Nivåer och flöden i Väner och Mälarens vattensystem – Hydrologist underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen*. Rapport /SMHI. RH no 20
- Camino-Serrano, Marta, Gielen, Bert, Luyssaert, Sebastiaan, Ciais, Philippe, Vicca, Sara, Guenet, Bertrand, De Vos, Bruno, Cools, Nathalie, Ahrens, Bernhard, Arain, Altaf, Borken, Werner, Clarke, Nicholas, Clarkson, Beverly R., Cummins, Thomas, Don, Axel, Graf Pannatier, Elisabeth, Laudon, Hjalmas, Moore, Tim, Nieminen, Tiina M., Nilsson, Mats B., Peichl, Matthias, Schwendenmann, Luitgard, Siemens, Jan och Janssens, Ivan A. 2014. Linking variability in soil solution dissolved organic carbon to climate, soil type and vegetation type. *Global Biogeochemical Cycles* 28 (5): 497–509. doi: 10.1002/2013GB004726
- De Wit, Heleen A., Valinia, Salar, Weyhenmeyer, Gesa A., Futter, Martyn N., Kortelainen, Pirkko, Austenes, Kari, Hessen, Dag O., Räike, Antti, Laudon, Hjalmar och Vuorenmaa, Jussi. 2016. Current Browning of Surface Waters Will Be Further Promoted by Wetter Climate. *Environmental Science and Technology Letters* 3: 430–435. doi: 10.1021/acs.estlett.6b00396
- Eklund, Anna, Stensen, Katarina, Alavi, Ghasem och Jacobsson, Karin. 2018. *Sveriges stora sjöar idag och i framtiden*. Rapport / SMHI. Klimatologi nr 49
- Ekström, Sara M., Kritzberg, Emma S., Kleja, Dan B., Larsson, Niklas, Nilsson, P. Anders, Graneli, Wilhelm och Bergkvist, Bo. 2011. Effect of Acid Deposition on Quantity and Quality of Dissolved Organic Matter in Soil Water. *Environmental Science and Technology* 45: 4733–4739. doi: 0.1021/es104126f
- Ferm, M., Granat, L., Engardt, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E. och Hansen, K. 2019. Wet deposition of ammonium, nitrate and non-sea-salt sulphate in Sweden 1955 through 2017. *Atmospheric Environment: X* 2 (100015). doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100015>
- Frias, J., Ribas, F. och Lucena, F. 2001. Effects of different nutrients on bacterial growth in a pilot distribution system. *Antonie van Leeuwenhoek* 80: 129–138. doi: 10.1023/A:1012229503589
- Jiménez Ledesma, José Luis. 2011. *Dynamics of color and organic carbon within the Mälaren catchment – a modeling approach*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institution för vatten och miljö (Examensarbete).
- Kritzberg, Emma S. och Ekström S. M. 2011. Increasing iron concentrations in surface waters—A factor behind brownification? *Biogeosciences Discussions* 8 (6): 12285–12316. doi: 10.5194/bgd-8-12285-2011
- Kritzberg, Emma S., Hasselquist, Eliza Maher, Škerlap, Martin, Löfgren Stefan, Olsson, Olle, Stadmark, Johanna, Valinia, Salar, Hansson, Lars-Anders, Hansson och Laudon, Hjalmar. 2020. Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio* 49: 375–390. doi: 10.1007/s13280-019-01227-5
- Köhler, Stephan J., Buffam, Ishi, Laudon, Hjalmar och Bishop, Kevin. 2008. Climate's control of intra-annual and interannual variability of total organic carbon concentration and flux in two contrasting boreal landscape elements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*: 113 (G3). doi: 10.1029/2007JG000629.
- Köhler, Stephan J., Kothawala, Dolly, Futter, Martyn N., Ljungman, Olof L. och Tranvik, Lars. 2013. In-Lake Processes Offset Increased Terrestrial Inputs of Dissolved Organic Carbon and Color to Lakes. *PLoS ONE* 8 (8): e70598. doi: 10.1371/journal.pone.0070598



- McGivney, Eric, Gustafsson, Jon Petter, Belyazid, Salim, Zetterberg, Therese och Löfgren, Stefan. 2019. Assessing the impact of acid rain and forest harvest intensity with the HD-MINTEQ model – soil chemistry of three Swedish conifer sites from 1880 to 2080. *SOIL* 5: 63–77. doi: <https://doi.org/10.5194/soil-5-63-2019>
- Monteith, D. T., Stoddard, J. L., Evans, C. D., de Wit, H. A., Forsius, M., Høgåsen, T., Wilander, A., Skjelkvåle, B. L., Jeffries, D. S., Vuorenmaa, J., Keller, B., Kopáček, J. och Vesely, J., 2007. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry. *Nature* 450: 537–540. doi: 10.1038/nature06316
- Mälarens vattenvårdsförbund. 2020. *Mälaren*. <http://www.malaren.org/malaren/> (Hämtad 2020-04-08)
- Ploum, Stefan W., Leach, Jason A., Kuglerová, Lenka och Laudon, Hjalmar. 2018. Thermal detection of discrete riparian inflow points (DRIPs) during contrasting hydrological events. *Hydrological Processes* 32:3049–3050. <https://doi.org/10.1002/hyp.13184>
- Richardson, Susan D., Plewa, Michael J., Wagner, Elizabeth D., Schoeney, Rita och DeMarini, David M. 2007. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. *Mutation Research* 636: 178–242. doi: 10.1016/j.mrrev.2007.09.001
- Riksskogstaxeringen. 2019. *Om inventeringen*. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/om-riksskogstaxeringen1/om-inventeringen/> (Hämtad 2020-05-04)
- Rosenqvist, Lars, Kleja, Dan B. och Johansson, Maj-Brott. 2010. Concentrations and fluxes of dissolved organic carbon and nitrogen in a *Picea abies* chronosequence on former arable land in Sweden. *Forest Ecology and Management* 259: 275–285. doi: 10.1016/j.foreco.2009.10.013
- Škerlep, Martin, Steiner, Eva, Anna-Lena, Axelsson och Kritzberg, Emma S. 2019. Afforestation driving long-term surface water browning. *Global Change Biology* 00: 1-10. doi: 10.1111/gcb.14891
- SMHI. *Klimatscenarier*. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier/sweden/basin/norrstrom/rcp85/year/length-of-vegetation-period>. (Hämtad 2020-05-21)
- Sonesten, Lars, Wallman, Karin, Axenrot, Thomas, Beier, Ulrika, Drakare, Stina, Ecke, Frauke, Goedkoop, Willem, Grandin, Ulf, Köhler, Stephan, Segersten, Joel och Vrede, Tobias. 2013. *Mälaren Tillståndsutvecklingen 1965–2011*. Rapport/ Sveriges lantbruksuniversitet 2013:1. Uppsala.
- Svenskt vatten. 2016. *Produktion av dricksvatten*. <https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksfattena/fakta/produktion-av-dricksfattena/> (Hämtad 2020-04-02)
- Sveriges lantbruksuniversitet. 2019. *Absorbance, ABS420/5*. <https://www.slu.se/en/departments/aquatic-sciences-assessment/laboratories/vattenlab2/detaljerade-metodbeskrivningar/absorbance-abs4205/> (Hämtad 2020-05-03)
- Tiwari, T., Lundström, J., Kuglerová, L., Laudon, H., Öhman, K. och Ågren, A.M. 2016. Cost of riparian buffer zones: A comparison of hydrologically adapted site-specific riparian buffers with traditional fixed widths. *Water Resources Research* 52: 1056–1069. doi: 10.1002/2015WR018014.

Wallin, Mats, Andersson, Berta, Johnson, Richard, Kvarnäs, Hans, Persson, Gunnar, Weyhenmeyer, Gesa och Willén, Eva. 2000. *Mälaren – miljötillstånd och utveckling 1965–98*. Rapport/ Mälarens vattenvårdsförbund. Västerås: Länsstyrelsen Västmanlands län.

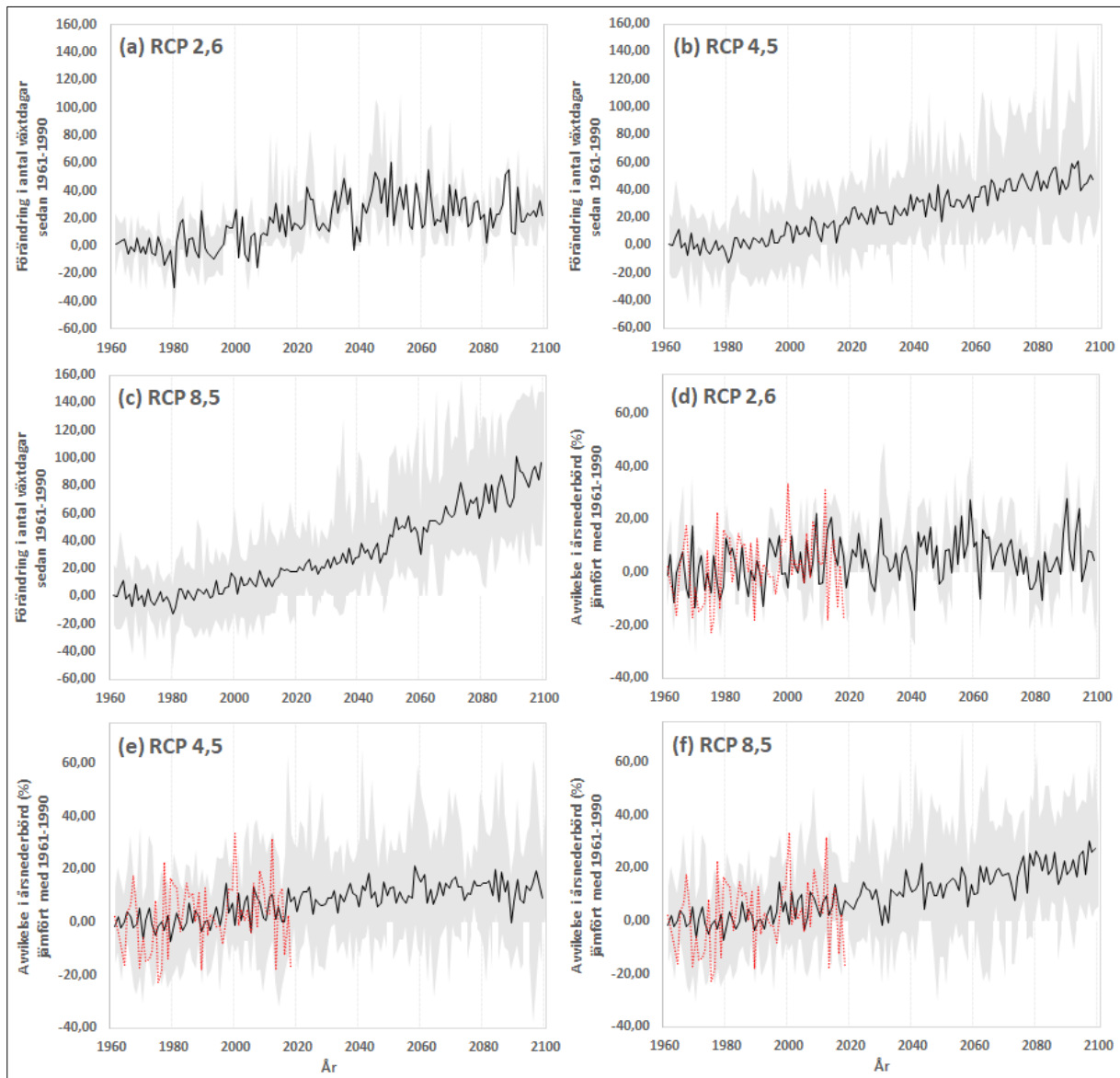
Weyhenmeyer, Gesa och Karlsson, Jan. 2009. Nonlinear response of dissolved organic carbon concentrations in boreal lakes to increasing temperatures. *Limnology Oceanography*. 54 (6: 2): 2513–2519. doi: [https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2513](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2513)

Weyhenmeyer, Gesa A., Fröberg, Mats, Karlton, Erik, Khalili, Maria, Kothawala, Dolly, Temnerud, Johan och Tranvik, Lars J. 2012. Selective decay of terrestrial organic carbon during transport from land to sea. *Global Change Biology* 18: 349–355. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02544

# Bilaga

## Bilaga 1. Klimatscenarier

Beräknad förändring i vegetationsperiodens längd i dagar (a-c) och avvikelse i årsnederbörd (d-f) i Mälarens avrinningsområde jämfört med perioden 1961–1990. De svarta linjerna baserar sig på ett medelvärde för flera klimatscenarier och det grå fältet visar variationen mellan högsta och lägsta värden. De röda streckade linjerna i graf d-f visar historiskt data som är baserat på observationer. Datakälla: SMHI.



## Bilaga 2. Vattenfärg

Tabellen visar  $A_{420}$  som årsmedianvärden för respektive bassäng.

År	A	B	CD	E	År	A	B	CD	E
1965			0,0835		1992	0,101	0,084	0,059	0,036
1966			0,054	0,038	1993	0,146	0,076	0,0485	0,03
1967	0,112	0,061	0,064	0,042	1994	0,128	0,089	0,064	0,03
1968	0,065	0,061	0,068	0,058	1995	0,136	0,114	0,078	0,043
1969	0,1	0,064	0,0475	0,052	1996	0,066	0,049	0,04	0,033
1970	0,071	0,063	0,0615	0,0425	1997	0,105	0,111	0,0535	0,03
1971	0,071	0,0495	0,043	0,04	1998	0,092	0,075	0,065	0,0325
1972	0,077	0,047	0,0375	0,028	1999	0,134	0,12	0,1035	0,068
1973	0,06	0,041	0,029	0,022	2000	0,161	0,101	0,0705	0,045
1974	0,039	0,032	0,027	0,0255	2001	0,197	0,147	0,1375	0,078
1975	0,052	0,044	0,037	0,0275	2002	0,12	0,104	0,096	0,07
1976	0,04	0,027	0,0255	0,0235	2003	0,127	0,073	0,059	0,054
1977	0,094	0,0575	0,0575	0,0265	2004	0,106	0,078	0,0535	0,044
1978	0,091	0,061	0,0485	0,04	2005	0,155	0,1005	0,069	0,0365
1979	0,094	0,0555	0,043	0,036	2006	0,142	0,0855	0,07	0,04
1980	0,127	0,069	0,062	0,036	2007	0,111	0,137	0,094	0,053
1981	0,085	0,08	0,0795	0,0515	2008	0,165	0,13	0,0855	0,045
1982	0,1	0,105	0,08	0,056	2009	0,176	0,132	0,112	0,052
1983	0,093	0,074	0,0645	0,0425	2010	0,176	0,167	0,1195	0,068
1984	0,119	0,076	0,0665	0,0475	2011	0,164	0,091	0,0755	0,056
1985	0,117	0,089	0,0935	0,059	2012	0,207	0,13	0,114	0,055
1986	0,127	0,103	0,079	0,054	2013		0,128	0,078	0,078
1987	0,107	0,076	0,0605	0,0555	2014	0,159	0,135	0,09	0,062
1988	0,121	0,112	0,0945	0,055	2015	0,157	0,107	0,0785	0,0585
1989	0,084	0,086	0,0615	0,038	2016			0,048	0,042
1990	0,069	0,065	0,05	0,0355	2017			0,0555	0,036
1991	0,097	0,074	0,0595	0,04	2018			0,139	0,049

### Bilaga 3. Skogsvolym

Tall- och granvolym levande träd m<sup>3</sup>sk som femårsmedelvärden.

År	Tall			Gran		
	Område A	Område B	Område CD	Område A	Område B	Område CD
1955	33 044 408	16 262 086	8 787 734	32 191 354	14 663 232	8 844 202
1960	31 406 106	14 661 334	8 857 472	35 987 952	14 481 012	8 071 306
1965	33 526 290	16 748 372	8 892 824	33 218 270	17 542 624	8 670 546
1970	28 729 024	12 703 612	9 143 980	32 089 286	13 414 922	9 328 606
1975	29 204 465	13 910 200	8 774 567	31 400 268	14 995 732	7 991 967
1980	29 560 635	14 486 451	9 050 170	33 140 142	15 358 058	8 431 196
1985	29 300 595	14 124 492	9 952 617	37 206 783	18 084 700	9 635 686
1990	31 456 002	15 739 014	12 081 438	39 898 814	17 068 707	11 696 089
1995	33 975 950	19 441 529	12 452 898	35 901 503	18 965 398	11 686 462
2000	37 719 822	17 386 634	11 616 742	45 224 945	19 549 421	10 642 556
2005	39 273 096	16 501 688	12 019 887	47 020 233	16 845 701	13 036 472
2010	37 218 752	17 902 832	13 479 851	40 881 652	17 076 141	11 699 754
2015	41 344 954	18 219 885	12 048 301	45 258 066	19 833 238	12 178 556

## Bilaga 4. Skogsareal

Tall- och granskogsareal (ha) som femårsmedelvärden.

År	Tall			Gran		
	Område A	Område B	Område CD	Område A	Område B	Område CD
1955	117 834	61 850	33 223	134 734	59 879	34 572
1960	121 796	55 102	36 308	147 516	56 343	28 422
1965	145 264	60 515	34 719	125 763	58 969	33 500
1970	116 159	51 877	37 462	145 869	52 985	34 142
1975	120 583	60 342	32 537	125 805	57 911	29 515
1980	135 521	46 528	36 340	135 112	52 682	28 875
1985	206 759	74 286	51 942	190 342	74 001	42 046
1990	206 251	78 576	61 168	183 957	72 614	48 280
1995	232 210	100 757	52 058	159 156	75 339	49 614
2000	202 673	73 515	54 841	174 505	77 640	47 414
2005	218 493	77 649	48 537	184 396	65 263	51 431
2010	200 241	75 096	51 152	170 365	76 879	46 697
2015	223 456	82 099	49 244	192 211	80 692	48 869

## Bilaga 5. Växtdagar

Antal växtdagar för respektive bassäng och år.

År	A	B	CD	E	År	A	B	CD	E
1965	195	196	195	197	1992	187	186	189	191
1966	177	179	180	182	1993	195	194	193	196
1967	208	209	204	206	1994	201	197	202	206
1968	188	188	188	190	1995	185	183	183	186
1969	192	193	191	193	1996	197	198	200	204
1970	180	177	178	181	1997	193	193	194	195
1971	192	189	188	190	1998	193	192	193	200
1972	201	203	203	206	1999	217	219	219	220
1973	180	181	184	186	2000	238	240	241	244
1974	202	202	200	205	2001	202	202	202	203
1975	201	203	202	206	2002	182	182	185	188
1976	187	186	187	188	2003	204	200	202	209
1977	200	199	199	201	2004	211	212	212	215
1978	194	193	189	191	2005	220	220	219	222
1979	177	177	175	179	2006	222	223	225	227
1980	190	192	193	194	2007	215	215	214	219
1981	181	180	182	185	2008	215	215	216	222
1982	213	213	211	212	2009	210	210	211	212
1983	205	204	204	207	2010	193	191	190	190
1984	205	203	204	208	2011	220	219	223	227
1985	175	175	175	178	2012	211	207	209	213
1986	198	201	200	201	2013	211	211	212	214
1987	190	190	192	198	2014	228	227	228	231
1988	182	184	184	185	2015	232	229	230	236
1989	225	225	223	226	2016	218	217	216	221
1990	228	226	226	225	2017	202	202	200	203
1991	209	209	207	211	2018	212	211	213	218

## Bilaga 6. Vattenflöde

Vattenflöde ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) som årsmedelvärde för respektive bassäng.

År	A	B	CD	E
1981	97,37804	78,64782	82,22788	120,2351
1982	94,78611	72,79475	68,47282	98,1866
1983	90,2704	69,86583	64,91209	92,83773
1984	116,1808	85,80331	82,44533	120,2302
1985	108,5614	84,53488	76,92583	111,8396
1986	106,9078	81,51256	81,14629	118,7403
1987	105,5513	78,69946	70,80286	101,7499
1988	104,4898	79,87186	72,72967	105,03
1989	59,3538	43,46405	40,57558	54,69967
1990	84,46806	62,07739	65,26968	95,12428
1991	67,79244	51,73773	52,14132	73,8158
1992	71,90053	56,61897	57,66594	82,7656
1993	69,03701	52,58858	47,75476	66,73589
1994	90,16213	69,55004	63,30948	91,17095
1995	93,09214	75,00391	70,48586	102,573
1996	58,23541	44,5749	39,37002	52,71844
1997	67,96922	53,96376	50,77517	71,15139
1998	93,57117	75,23674	75,86492	110,4415
1999	95,11563	77,49733	73,45604	106,5148
2000	150,7852	111,6286	96,75149	141,5121
2001	87,28638	69,32348	65,62492	94,39695
2002	83,18663	65,46917	64,70452	93,01083
2003	60,91061	44,37037	41,44511	56,35869
2004	90,28398	68,50408	60,09109	85,13475
2005	58,48451	45,99712	44,94662	62,20052
2006	101,8647	76,35346	68,65347	98,52439
2007	67,8881	54,12414	51,61629	72,40069
2008	103,7412	78,99922	81,03689	118,5209
2009	93,79003	69,61348	64,74813	92,24806
2010	81,50841	65,06412	65,08544	93,38716
2011	75,65252	58,11661	57,79031	82,1372
2012	108,0824	82,62645	77,98449	114,6186
2013	56,04284	46,49353	47,79947	66,88996
2014	100,2072	72,40045	62,70209	89,49668
2015	92,02441	69,09984	62,47084	90,05501
2016	63,21368	45,82329	39,95529	53,92955
2017	63,53359	44,40289	44,78135	62,69216
2018	63,1591	48,8391	46,03349	63,41525