

Deposition av Black carbon i sjöar efter den stora skogsbranden i Västmanland 2014

DANNY WONG 2023
MVEM02 EXAMENSARBETE FÖR MAGISTEREXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Deposition av Black carbon i sjöar efter den stora skogsbranden i Västmanland 2014

Danny Wong

2023



LUNDS
UNIVERSITET

Danny Wong
MVEM02 Examensarbete för magisterexamen 15 hp, Lunds universitet
Huvudhandledare: Karl Ljung, Geologiska institutionen, Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet
Lund 2023

Abstract

Black carbon (BC) is produced during incomplete combustion of Biomass and fossil fuels. BC and other carbonaceous pollutants have characteristics that affect the climate, environment, and human health. Historically, BC emissions have been measured and monitored in the atmosphere, and BC emissions to the air are quite well documented. Deposition in water and sediments has been less studied but is important for understanding the deposition and movement of BC.

This project aims to build understanding and gain knowledge about how wildfires affect the deposition of BC in lake sediments. Lake sediment samples from a wildfire-affected area have been acquired and analyzed. The wildfire took place in 2014 in Västmanland, Sweden, and was one of the most severe wildfires recorded in modern times in Scandinavia. It affected a total of 13100 ha of land. Six lakes inside the fire-affected area were selected for sampling of lake sediment. The BC concentration of the sediment was quantified with the method CTO-375 (Chemo-thermal oxidation at 375°C).

The results indicate that wildfires do increase the total deposition of BC in lakes. However, the result also shows that the deposition varies between the lakes. These variations can be explained by different factors that affect the deposition of BC. These factors are related to the size of the lake and hydrological, metrological and landscape variations. The study shows that these factors have a larger effect on BC deposition in lakes than initially thought.

Keywords: Black carbon, BC, climate, environment, wildfire, boreal forests, lake sediments, Västmanland.

Sammanfattning

Black carbon (BC) bildas vid ofullständig förbränning av fossila bränslen och biomassa. Black carbon tillsammans med andra kolhaltiga föroreningar har en skadlig inverkan på klimatet och människors hälsa. Historiskt har BC analyser främst utförts på utsläpp till atmosfären, och således är kunskapen om luftföroreningar av kolföroreningar i luft relativt väl dokumenterat. BC halterna i vatten, sjöar och sediment är inte lika väl dokumenterade. Men kunskap om deponering i dessa miljöer är viktigt, eftersom black carbon är motståndskraftigt mot nedbrytning så kan deponering i dessa miljöer fungera som stora kolsänkor i kol-cykeln. Sjöar kan ackumulera stora mängder BC, och för att förstå den globala kol-cykeln behövs kunskap om BC transport till akvatiska sediment och hur stor inlagringen är i sjösediment.

I detta arbete har studier utförts genom att studera huruvida skogsbränder påverkar depositionen av BC i sjöar. Sex sjöar har provtagits i Västmanland där en stor skogsbrand i bröt ut 2014. Skogsbranden är en av de största skogsbränderna i modern tid i Skandinavien. Totalt påverkades 13 100 ha mark till följd av branden. De sex provtagna sjöarna ligger samtliga innanför brandgränsen. BC koncentrationerna i sjösedimenten kvantifierades gCTO-375 (Chemo-thermal oxidation at 375°C) har använts för att kvantifiera mängden BC som deponerats efter branden.

Resultaten visar att skogsbranden har haft en inverkan på den totala deponeringen av BC. Men det är också variationer i mängden deponerat BC mellan de olika sjöarna. Det kan bero på att de faktorer som styr deponeringen av BC i sjöarna är större än man initialt trott. Eftersom förutsättningarna för deponering beror på många olika faktorer som exempelvis hydrologi, meteorologi, erosion, topografi och batymetri är det svårt att avgöra hur stor påverkan branden har haft på BC deposition i sjöar inom brandområdet.

Nyckelord: Black carbon. BC, klimat, miljö, skogsbrand, boreal skog, sjösediment, Västmanland

Populärvetenskaplig sammanfattning

Vem tycker inte det är mysigt att sitta framför sin kamin, eldstad eller grill? Något som är gemensamt är att samtliga innefattar eldning av biomassa. Eldning av biomassa gör vi av många anledningar. Det kan vara allt från trivseldning till uppvärmning och elförsörjning. Eldning för många kan vara att få möjligheten att laga mat, varför man eldar ser väldigt annorlunda ut i olika delar av världen. Gemensamt är att det finns farhågor att elda biomassa. Biomassa ser många som ett bra alternativ till fossilbränslen eftersom det anses vara förnybart. När vi eldar lämnar vi efter oss sot och gaser som koldioxid, men vad finns det egentligen i sotet? I det sot som är en restprodukt efter eldningen finns massor av olika kolföreningar. En av dessa är så kallat Black carbon. Black carbon är ett ämne som inte är helt ofarligt, den finns i vår mark, den finns i våra sjöar, den finns i vår luft, Black carbon har även hittats i människokroppen. Black carbon påverkar klimatet negativt samtidigt som den kan göra oss sjuka.

2014 bröt en av Sveriges största skogsbränder ut i Västmanland där 13 100 ha mark blev påverkat. Vid en skogsbrand släpps stora mängder av just black carbon ut i naturen denna kan transporteras långa vägar i luften där de största mängderna tros deponeras i närmiljön. I detta arbete har sjösediment från sex sjöar i Västmanland undersökts. Undersökningen har utförts för att hitta hur stora mängder black carbon det finns i de olika sjöarna som alla ligger innanför brandgränsen. Undersökningen har gjorts för att kunna förstå och dra slutsatser om hur utsläppshalterna påverkas till följd av en skogsbrand. Men halterna kan också vara viktiga för att se hur utsläppen rör sig i naturen och vilka faktorer som faktiskt påverkar halterna i sjöarna.

Studien visar att halterna av black carbon ökar men att det ser väldigt olika ut i de olika sjöarna. Att det ser annorlunda ut kan bero på många olika faktorer, det som påverkar halterna i sjösedimentet kan vara hur stor sjön är och hur djup sjön är till hur omgivningen och vädret ser och såg ut vid skogsbranden.

Innehållsförteckning

Abstract 4

Sammanfattning 6

Populärvetenskaplig sammanfattning 8

Innehållsförteckning 10

1. Introduktion 12

1.1 Black Carbon 12

1.2 Skogsbranden i Västmanland 2014 (Hälleskogsbrännan) 14

1.3 Områdesbeskrivning, geologiskt, hydrologiskt och meteorologiskt 16

1.4 Skogsbränder i boreal skog med inverkan på kolbudgeten och kolykeln 18

1.5 Black Carbons inverkan på miljö och människor 19

1.6 Syfte 19

1.7 Etisk reflektion 20

2. Metod 22

2.1 Val av provtagningsplats och provtagning 22

2.2 Kvantifiering av Black Carbon med CTO-375 metoden 23

2.3 Användning av Geografisk informationsystem 24

2.4 Metodutvärdering 24

2.4.1 Metodutvärdering genom analys av sambandet mellan organiskt material och BC-halt 25

3. Resultat 28

3.1 BC halter och BC-stockberäkning, resultat 28

3.2 BC-deponering i förhållande på sjöarealen 32

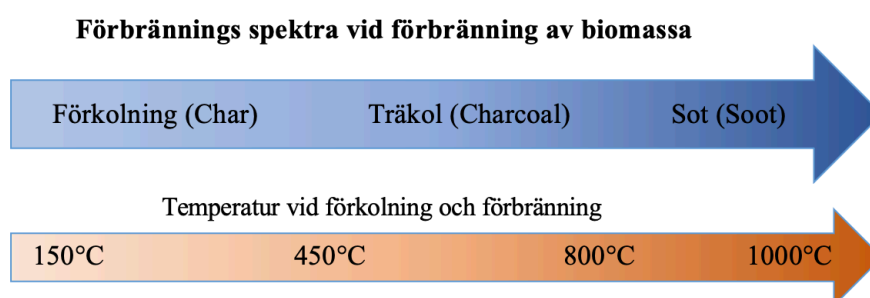
3.3 BC-deponering förhållande mellan sjödjup och avrinningsområdes arealen. 33

4.	Diskussion	35
4.1	<i>Analys av framtagna resultat</i>	35
4.2	<i>Förväntat resultat</i>	36
4.3	<i>Faktorer som styr den totala deponeringen av BC i sjöar</i>	37
4.3.1	<i>Sjö areal och sjöns egenskaper</i>	37
4.3.2	<i>Erosion och laterala rörelser</i>	37
4.3.3	<i>Vindriktning och väderförhållanden</i>	38
4.4	<i>Utmaningar och kompletterande studier i framtiden</i>	38
5.	Slutsats	41
6.	Tackord	43
7.	Referenser	45
8.	Bilagor	48

1. Introduktion

1.1 Black Carbon

Black Carbon (BC) är en fraktion av de produkter som bildas vid ofullständig förbränning av biomassa och fossila bränslen (Goldberg, 1985). Det finns ingen exakt definition på black carbon, och den kemiska sammansättningen kan variera beroende av bildningsprocessen (Coppola et al., 2022). Huvudsakligen bildas black carbon bildas genom kondensering av förbränningsgaserna. BC kemiska innehåll kan även innehålla organiska komponenter som polycykliska aromatiska kolväten (PAH) (Hansson et al., 2014). Kemiska innehållet varierar också beroende på temperaturen under förbränningen. Sot är en fraktion av BC som bildas vid förbränningstemperaturer över 800°C. Pyrogentkol innefattar flertal olika fraktioner som träkol och förkolnat material (figur 1) (Coppola et al., 2022).



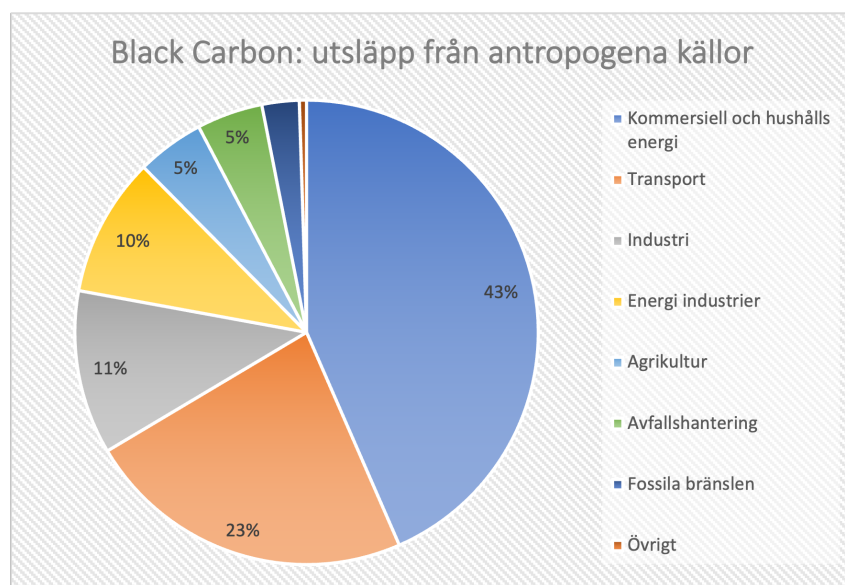
Figur 1. Bilden illustrerar bildningen av olika kolhaltiga fraktioner. Förbränningstemperaturen styr bildningsprocessen där fraktionerna skiljer sig. Bilden är modifierad från (Coppola et al., 2022).

Black carbon kan igenkännas genom egenskapen att vid utstrykning på ett vitt underlag lämna ett distinkt svart märke. Vidare har black carbon väldigt svårt att oxideras och väldigt höga temperaturer krävs för att förånga BC (Hansson et al., 2014).

Black carbon partiklar som är i storleken om mikrometer kan som luftburna partiklar färdas långa sträckor, hundratals till tusentals kilometer (Wang et al., 2022). Luftburna partiklar kan sedan deponeras i mark, hav, sjöar osv. Tillförseln av BC till sjöar och hav sker genom många olika processer och därför finns BC i mark och

sediment, atmosfären, fritt i vatten, sediment och i marina miljöer (Coppola et al., 2014).

Utsläppen av BC sker dels naturligt från skogsbränder, och från antropogena utsläppskällor som är den största källan. Naturliga utsläpp kommer framför allt från naturliga skogsbränder. Antropogena utsläpps kan komma från uppvärmningskällor där uppvärmningen sker genom eldning av biomassa och förbränning av fossila bränslen som kol, olja (Climate & Clean Air Coalition, u.å).



Figur 2. Diagram över utsläppskällor av black carbon från antropogena källor. Data sammanställt från Community Emissions Data System (CEDS), 2019

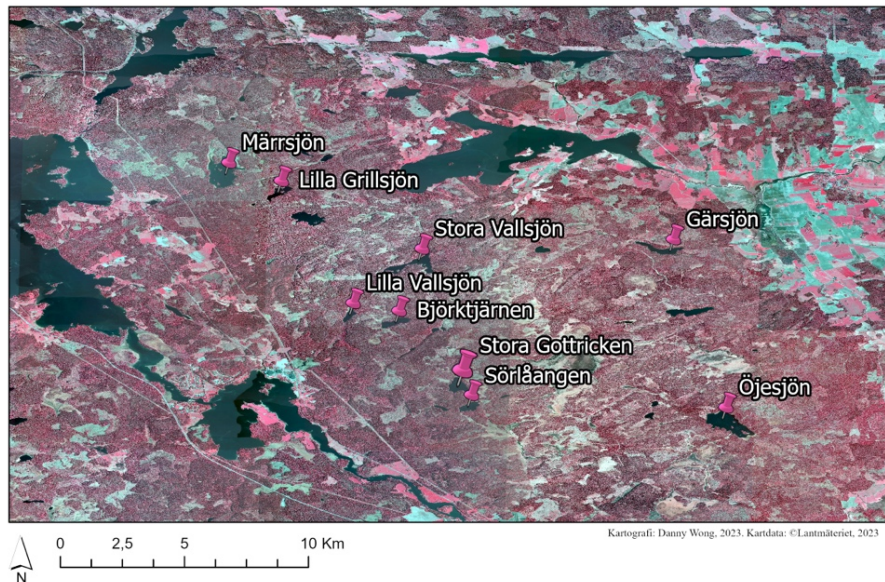
1.2 Skogsbranden i Västmanland 2014 (Hälleskogsbrännan)

2014 bröt en av Skandinaviens största skogsbränder i modern tid ut i Västmanland, Sverige. Västmanland är beläget i centrala Sverige (se figur 3). Skogsbranden påverkade en yta på 13 100 ha (Gustafsson et al., 2019). Branden startade i samband ett markberedningsarbete den 31 juli 2014. Markanvändningen inom brandgränsen dominerades av produktionsskog som uppgick till 9600 ha. Trädslagen inom brandgränsen dominerades av tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*). Inslaget av lövträd inom brandgränsen uppgick till 10 procent där det vanligaste lövträdslaget var björk (*Betula*) (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [MSB], 2015).

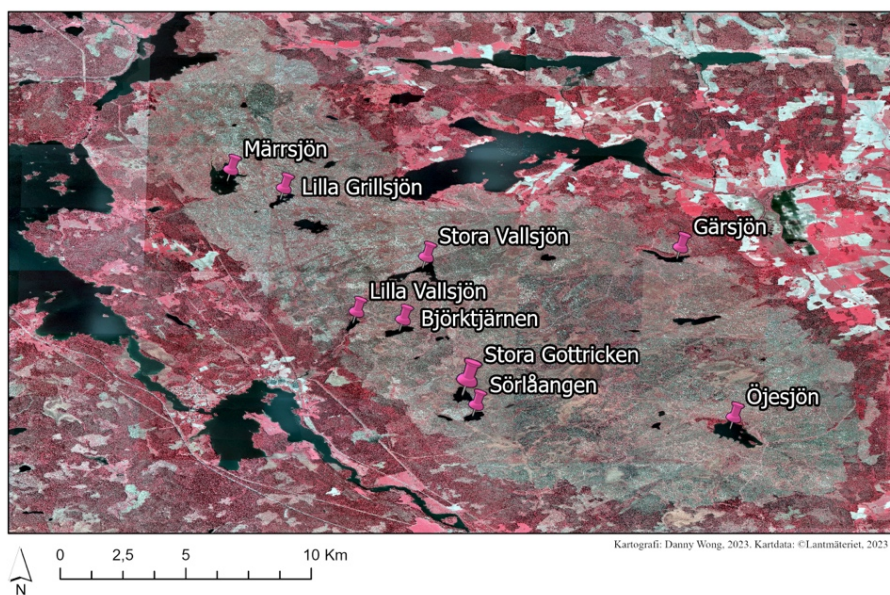


Figur 3. Områdeskarta som visar det branddrabbade området i Västmanland. Med markerade sjöar av intresse.

I figur 4 och 5 kan man se hur skogsbranden påverkat områdets vegetation. Genom satellitbilder tagna som IR-färgbilder kan man se färgskillnader mellan åren 2012 innan branden och 2018 efterbranden. Med olika våglängder har bilderna illustrerats för att visa vegetation som reflekteras som röd färg i kartorna.



Figur 4. Ortofoto som visar IR-färgbilder (IRF) från 2012. IR-färgbilder där reflektansen från vegetation är färgat som rött. Kartan visar hur vegetation såg ut innan skogsbranden 2014.



Figur 5. Ortofoto som visar IR-färgbilder (IRF) från 2018. IR-färgbilder där reflektansen från vegetation är färgat som rött. Kartan visar tydligt hur vegetation påverkats av skogsbranden 2014. Man kan i kartan se hur 13100 ha mark blivit påverkat.

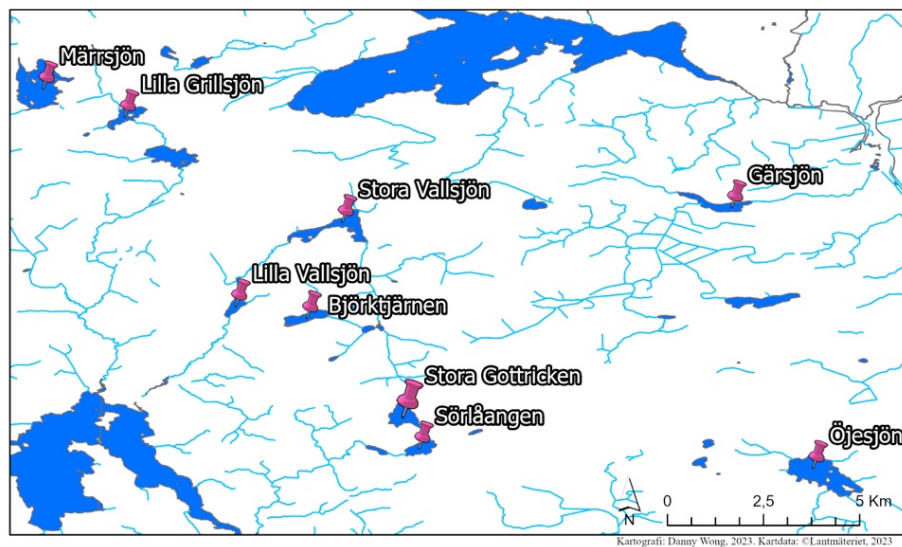
1.3 Områdesbeskrivning, geologiskt, hydrologiskt och meteorologiskt

Av de totala 13 100 ha branddrabbad mark utgjorde 85 procent skog, 10 procent myrtäckta områden, 2 procent (270 ha) vatten (se figur 6), 1 procent sten och berg i dagen och 1 procent av vägar. Inom brandområdet finns nivåskillnaderna med variationer mellan 67-177m. Variationerna i höjd är störst i de norra delarna av området för att sedan minska söderut (Gustafsson et al., 2019). Den största delen av skogsområdena är belägna 100–120 meter över havet, hela området ligger under Högsta kustlinjen. Vid gradienterna från höjderna återfinns en stor del hållmark ner mot flacka dalsidor. Området domineras av moräner med olika sammansättningar det finns både grusiga-moräner, sandiga-moräner och leriga moräner. Moränen är svallad eftersom området är beläget under högsta kustlinjen. På de högsta punkterna kan man se områden med exponerat berg. 10 procent av området är myrar, myrarna återfinns på de flackare områdena med god vattentillförsel. Större myrar mynnar och bildar även myrtarmar som täckt större arealer. På många ställen inom brandgränsen har man tidigare dikat. Konsekvenserna för dikningen är att man torrlagt myrar där torvjord bildats. Den relativt torra torvjorden kan ha varit bränsle under brandförloppet.

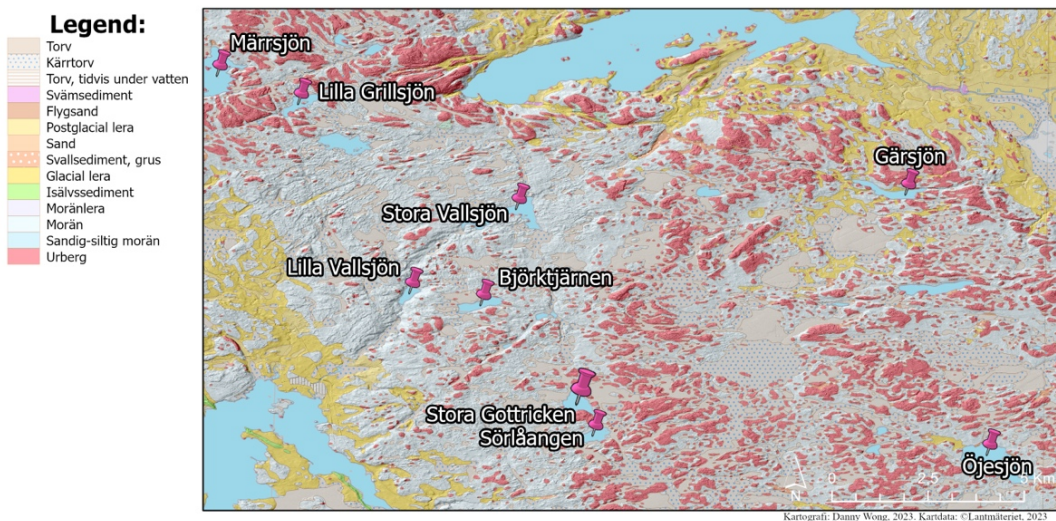
Hydrologiska förutsättningarna i området är att det finns ett flertal mindre sjöar inom området. Många av sjöarna är kopplade mellan varandra via vattendrag där tillrinning till de större sjöarna sker via vattendragen. Utflöde saknas på enskilda sjöar.

De meteorologiska förutsättningarna under brandförloppet som varade i sex dagar kan sammanfattas som följande:

- 31 juli: Dagstemperatur: 25°C, vind: 5–11 m/s, vindriktning: sydvästlig
- 1 augusti: Dagstemperatur: 25°C, vind: 3–12 m/s, vindriktning: sydvästlig
- 2 augusti: Dagstemperatur: 29°C, vind: 1–4 m/s, vindriktning: sydost
- 3 augusti: Dagstemperatur: 29°C, vind: 2–15 m/s, vindriktning: ost-sydost
- 4 augusti: Dagstemperatur: 30–35°C, vind: 2–12 m/s, vindriktning: sydost
- 5 augusti: Dagstemperatur: 29°C, vind: 1–5 m/s, vindriktning: -



Figur 6. Hydrografisk karta som visar vattenkroppar och vattendrag inom undersökningsområdet. Den hydrografiska kartan har använts för att undersöka tillrinnings och storlek på sjöar.



Figur 7. Generaliserad Jordartskarta på brandområdet. Jordskartan är överlagrandes på en topografisk karta.

1.4 Skogsbränder i boreal skog med inverkan på kolbudgeten och kolcykeln

Skogsbränder i boreal skog är en naturlig störning som är viktig för att bevara och gynna biologisk mångfald. När landskapet förändras till följd av en skogsbrand kan ett mer dynamiskt landskap bildas där både djur och växter kan frodas och bidra till större artrikedom och biodiversitet (Naturvårdsverket, u.å). Återkomsttiden för en naturlig skogsbrand är cirka 100 år i boreal skog (Amiro et al., 2001). Skogsbränder är direkt kopplat till väderförhållanden och klimatet och kan därför kopplas till den klimatförändring som pågår (SMHI, u.å). Klimatförändringarna och den globala uppvärmningen som uppkommit och uppmärksammats under de senaste decennierna har bidragit till förhöjda medeltemperaturer samt att torrperioder har blivit mer vanligt förekommande. Dessa faktorer påverkar dels intervall och intensitet hos skogsbränder. Att skogsbränder har blivit allt vanligare förekommande är kopplat till antropogen påverkan, dels genom bidraget av utsläpp av växthusgaser, dels av oförsiktighet vid hantering av antändningsbara i naturen.

I det boreala landskapet beräknas cirka 40 procent av det totala kolet som finns i den markbundna vegetationen och jordlagret. Den boreala skogen är därför väldigt viktigt eftersom det finns en stor andel kol i boreal skog. En skogsbrand är det event som orsakar den snabbaste överföringen av kolet från att vara markbundet till atmosfären (Eckdahl et al., 2022).

Efter en skogsbrand kan en stor del pyrogent kol (PyC) och BC lämnas kvar i det översta jordlagret. Kolet har en inverkan på jordlagrets egenskaper, kolet kan bidra till att jordmånen har en högre vattenbärande egenskap, kolet kan också bidra med mineraliserade näringsämnen som kan gynna vissa mikrobiella habitat. Hur kolet påverkar jordmånen beror på vilken brinntemperatur skogsbranden hade eftersom olika sammansättningar av kolet kan variera (Eckdahl et al., 2022).

BC och PyC som deponerats i det översta jordlagret kan röra sig och tränga sig djupare ner i jordmånen genom bioturbation eller genom infiltration med vatten. Hastigheten på infiltrationen beror på egenskaper som porositet, kornstorlek, vegetation osv. Egenskaperna för vertikala rörelser för PyC och BC är inte gynnade i den boreala zonen (Gustafsson et al., 2019). Mekanismerna som styr den vertikala rörelsen återfinns inte i den boreala skogen, i stället förekommer det oftast mycket organiskt material som leder till att den vertikala rörelsen minskar. Rörelsemönstret som domineras för PyC och BC är i den boreala skogen därför i lateral riktning.

BC fraktionen är betydligt mer motståndskraftig mot nedbrytning i jämförelse mot PyC, detta gör att BC kan transporteras till vattendrag, sjöar och hav. När deponeringen sker i vatten påverkas den globala kolcykeln, ett underskott kan finnas eftersom det totala kolet är underrepresenterat då det finns i sediment på havsbottnar och sjöbottnar.

1.5 Black Carbons inverkan på miljö och människor

Black carbon har en stor inverkan på klimatet och människors hälsa. BC är en stor bidragande effekt på den globala uppvärmningen. BC i atmosfären kan anses vara en viktig växthussubstans (IPCC, 2022). BC partiklar har en väldigt kraftig ljusabsorberande egenskap, i och med de relativt höga halterna i atmosfären så påverkar BC jordens strålningsbalansen från solens energistrålning (Hansson et al., 2014). BC konverterar solensstrålningsenergi till värme och bibehåller värmen genom absorption (IPCC, 2022)

BC är agerar som en sorbent för många organiska föroreningar, vilket ökar den ekotoxikologiska risken i jord och sediment (Koelmans et al., 2006).

BC i atmosfären tillhör utsläpps gruppen partiklar i luft. Partikelmassan (PM) hos BC tillhör PM_{2,5} vars partikelmassa uppmätts till som störst 2,5 mikrometer. Men BC kan också attrahera andra ämnen i atmosfären för att växa till sig till större partiklar, därför finns också BC i mätningar i gruppen PM₁₀ (Bond et al., 2013). Black carbon partiklar kan vid exponering via luft leda till allvarliga konsekvenser som infektionsrisk i lungor, förhöjt blodtryck, kroniska andningsbesvär och astma. Black carbon i människor har funnits i lungor, lever, hjärnan och hos det ofödda barnet. Varje år beräknas cirka 4 miljoner människor dö i förtid orsakat av långvarig exponering av PM_{2,5} (Climate & Clean Air Coalition, u.å).

1.6 Syfte

Syftet med detta arbete är att studera BC depositionen och förstå BC-cyklens inom ett skogsbrands drabbat område. Genom att kvantifiera BC-halterna i sjösediment går det att få en uppskattning av produktionen och depositionen efter skogsbränder. Vid skogsbränder påverkas troligtvis deposition av BC i sjöar, och sjöar är sannolikt en viktig reservoar för BC (Coppola, 2022). Kunskap om deposition av BC i sjösediment kan bidra till en bättre förståelse av BC-cyklens. I takt med den globala uppvärmningen förväntas mer extrema väderevent med längre torrperioder samt högre medeltemperaturer vilket kan leda till fler och intensivare bränder. Förekomsten av

skogsbränder blir ett vanligare samt allvarigare samhällsproblem. Studier av BC-cykeln och förändringar i kolbudgeten kan bidra till förbättrad förståelse och därav implementeras i klimatsudier.

Studier om black carbon som aerosoler är välstuderat. De flesta studier riktar sig till hur black carbon påverkar och beter sig i luft som aerosoler. Det finns mindre dokumenterat om black carbon i sediment. Kunskap om hur BC rörelsemönster efter deponering i exempelvis sjöar samt hur erosion påverkar BC är inte lika väl utforskat. Att kvantifiera mängden black carbon i sjösediment inom Hälleskogsbrännan i Västmanland är därför viktigt för att kunna dra slutsatser kring produktion och deposition av black carbon från skogsbränder.

Frågeställningar

I arbetet kommer dessa forskningsfrågor och frågeställningar att besvaras.

- Hur mycket BC finns det i sjösedimentet inom brandgränsen?
- Varierade BC depositionen mellan de undersökta sjöarna?
- Ledde Hälleskogsbrännan till en ökning av BC deposition i sjöar inom det brand drabbade området?
- Vilka faktorer styrde BC depositionen i sjöar efter Hälleskogsbrännan?
- Vilken kompletterande forskning och analys krävs för att vidare dra slutsatser om BC deposition i sjösystem?

1.7 Etisk reflektion

Vid upptagning av sedimentbörnkärnorna kan man inte utesluta att biodiversitet, ekosystem och biologisk mångfald inte påverkats. Däremot kan man dra slutsatsen att minimal påverkan på natur och djurliv har gjorts. Detta eftersom proverna är i så små proportioner jämfört med det totala tillgängliga arkivet och materialet. Studien har dessutom ett syfte att få en ökad kunskapsbild, för att i framtiden kunna skydda och estimeras klimatpåverkan till följd av skogsbränder. Inom studien finns det heller inga intressekonflikter mellan organisationer, företag eller hos andra intressenter.

2. Metod

2.1 Val av provtagningsplats och provtagning

De sjöar som provtagits ligger samtliga inom det branddrabbade området. Området lämpar sig väldigt bra till studien eftersom brandområdet täcker så stor area, där det också finns ett flertal sjöar innanför brandgränsen. Fördelarna att använda skogsbranden i Västmanland 2014 för att förstå processer kopplade till brand är att brandförloppet är väldigt bra dokumenterat. Man har med stor noggrannhet dokumenterat brandens rörelse, intensitet, markförhållanden och meteorologiska parametrar (MSB, 2015).

I studien användes sjösediment från sex sjöar: Märresjön, Stora vallsjön, Lilla vallsjön, Björktjärnen, Gärsjön och Öjesjön. I Öjesjön samlades två prover in, ett från den djupare delen av sjön och ett prov som är mer Strandnära. Totalt har sju prover tagits. Samtliga prover är tagna under 2021 av Simon Belle på SLU. Proverna är tagna med en ytsedimentprovtagare med 60 mm diameter (UWITEC USC 06000). Sedimentprovtagaren som är cylinderformad förs ner i de översta sedimentlagerna, inuti cylindern fås då en borrhärna av sedimentet. Höljet på provtagaren gör att sedimentet skyddas från blandning och omrörning av sedimentet. Kärnan förs upp med det vacuum som bildats i röret när det försluts. De översta 5 cm provtagits i 5 mm intervall. Provtagningen utgjorde totalt 5cm eftersom det antogs vara tillräckligt för analyser som påverkats till följd av skogsbranden. Intervallet och provtagningsdjupet är också dikterat efter den budget som funnits tillgänglig.

Tabell 1. Sammanfattande tabell över provtagna sjöar och tillhörande identifikationsnummer. Tabellen innehåller även information om sjöstorleken.

Sjö	ID	Area m ²	Max djup (m)	Avrinningsområde (km ²)	Provtagningsplats koordinater (DMS)
Märresjön	MAR	526 664	8	2,5	59°56'51.87"N, 16° 3'28.87"O
Stora vallsjön	SVA	259 638	2,9	14,74	59°54'59.65"N, 16° 7'40.56"O
Lilla Vallsjön	LVA	713 39	-	-	59°53'48.98"N, 16° 6'10.79"O
Björktjärnen	BJO	123 442	8,6	1,15	59°53'38.91"N, 16° 7'10.58"O
Gärsjön	GRN	155 047	4,8	21,35	59°55'11.72"N, 16°13'8.14"O
Öjesjön	OJE	498 425	11	5,15	59°51'32.88"N,16°14'16.53"O

2.2 Kvantifiering av Black Carbon med CTO-375 metoden

För att kvantifiera mängden BC användes en kemisk-termisk metod för isolering av BC fraktionen (CTO-375), CTO-375 står för chemo-thermal oxidation at 375°C. Denna metod lämpar sig för utvärdering och kvantifiering av BC eftersom metoden kan isolera den mest kondenserade beständiga fraktionerna av BC. CTO-375 metoden tar bort inorganiskt kol, organiskt kol och de mindre motståndskraftiga BC fraktionerna (Gustafsson et al., 2001).

Sjösedimentet frystorkades initialt för att därefter vägas in. Invägningen av sedimentet gjordes i silverkapslar som tidigare värmts upp till 450°C återigen i syfte att förbränna bort orenheter som eventuellt finns i silverkapslarna. Mängden som vägdes in var ca 10 mg per kapsel. Efter invägningen placerades proverna i en ugn, ugnen var programmerad för att värma snabbare initialt för att sedan långsamt driva upp till en temperatur om 375°C. I ugnen förbränns organiskt material och kolpartiklar som ej tillhör BC. Vid uppvärmning över 375°C riskerar man att BC innehållet också förbränns (Agarwal & Bucheli, 2011). Ett konstant luftflöde på 300 ml/min lät flödas genom ugnen för att förbränningsprocessen skulle vara fullständig och förhindra dålig syretillgång i proverna och förkolning. Proverna i silverkapslarna brändes i ugnen i 24h, efter det syrabehandlades proverna i en exsickator där 12 M saltsyra användes. Syrabehandling utförs i syfte att få bort de karbonater som eventuellt finns i proverna. Innan proverna placerades i exsickatorn tillsattes 25 mikroliter avjoniserat vatten för att förbättra syra kontakten med sedimentet. Efter syrabehandlingen torkades proverna på en värmeplatta (70°C), för att få bort saltsyran in-situ tillsattes återigen avjoniserat vatten, torkningen utfördes 2 gånger till proverna var helt torra. Slutligen packades proverna som var placerade i silverkapslar i ytterligare en tennkapsel, tennkapseln förbättrar värmeöverföringen och förbränningen i elementanalysatorn. De preparerade proverna analyserades i en elementanalysator (COSTECH CNHS4010) där proverna förbränns och förbränningsgaserna separeras på en kollon varefter kol och kväve responsen mäts. Kalibrering av elementanalysatorn utfördes två gånger under testerna. Kalibreringen utfördes med hjälp av acetanilide. Olika invägningar inom mätgränsen kördes för att kalibrera analysatorn efter specifikation och mätintervall. Från responsen kan BC halterna beräknas och analyseras.

Vid beräkningen av BC-stock har torr densiteten använts där arean är extrapolerad som totalarean på hela sjöarean. Den totala massan beräknades för varje lager för att därefter divideras med arean. BC-stocken värde är presenterat i enheten g/m².

2.3 Användning av Geografisk informationssystem

Geografiskt informationssystem har använts i arbetet för att göra analyser, visualiseringar och bearbetning av data. ArcGIS pro har använts för framställning av kartor. De kartor som tagits fram är hydrologiska kartor, topografiska kartor, jordartskartor och översiktskartor. All data är nedladdad från Lantmäteriet, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) och data från Copernicus. Samtliga data är nedladdade oktober 2023.

2.4 Metodutvärdering

Arbete för att säkerställa ett resultat av högkvalitet och noggrannhet har vidtagits under arbetet. Enligt det CTO-375 protokollet ska proverna syrabehandlas in-situ. I arbetet har syra behandlingen i stället gjorts med fumigering i exsickator, detta för att ytterligare minimera kontaminering av proverna. Parallellt under försöken har tomma silverkapslar körts genom hela processen för att utesluta kontaminering som kan ha uppkommit under genomförandet.

För BC finns det idag ingen certifierad standard. Därför har referensmaterial (SRM-2975 och NIST1944) med publicerade värden för BC halter använts. SRM-2975 är dieselsot från gaffeltruckar, referensmaterialet kommer från National Institute of Standards and Technology (NIST) från USA. NIST1944 som också utfärdats av NIST är sediment tagen från hamnbassäng i urban miljö New Jersey.

NIST1944 har ett publicerat riktvärde av BC (%): $0,66 \pm 0,16 - 0,8 \pm 0,002$ (Ruppel et al., 2015), (Nguyen et al., 2004), (Gustafsson et al., 2001)

SRM2975 har ett publicerat riktvärde av BC (%): $63 \pm 4,1 - 68,2 \pm 0,9 - 68,9 \pm 0,79$ (Nguyen et al., 2004), (Ruppel et al., 2015), (Gustafsson et al., 2001).

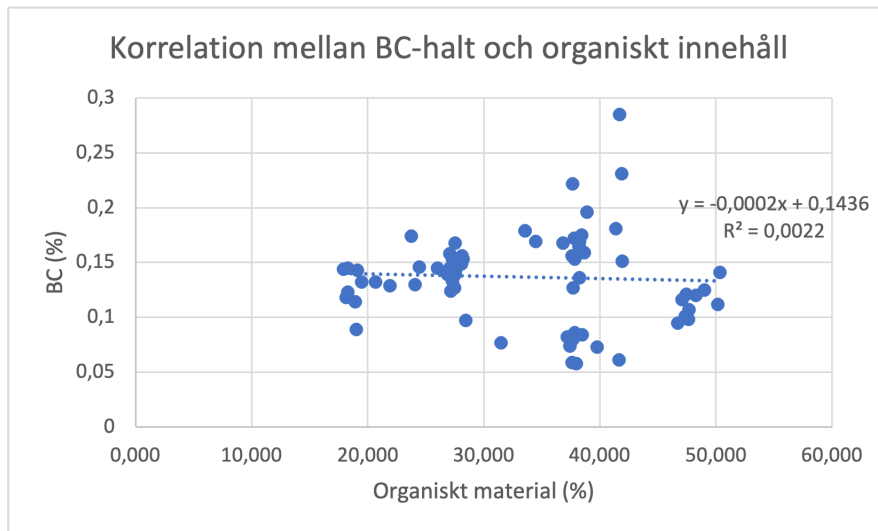
Resultatet från körningen av referensmaterialet visade på en mindre avvikelse. NIST1944 ligger lite i överkant i förhållande till riktvärdet. Samtidigt som SRM-2975 ligger marginellt under riktvärdet (tabell 2).

Tabell 2. Sammanställning av körda referensmaterial, NIST1944 och SRM2975. Medelvärdena av båda resultaten finns i tabellen.

Sammanställning av referensmaterial för BC-analys			
	Carbon Response	Carbon [mg]	Carbon [%]
MEAN NIST1944	814,55	0,097	0,92
MEAN SRM2975	5591,95	0,71	62,52

2.4.1 Metodutvärdering genom analys av sambandet mellan organiskt material och BC-halt

Sambandet mellan BC halten och den organiska halten i sedimentproverna har testats mot varandra för att hitta eventuell korrelation (figur 8). Det finns inget starkt samband mellan BC-halten och det organiska materialet i proverna. Detta visar på att analysen med CTO-375 metoden har varit effektiv. Eftersom metoden bygger på att organiskt material ska förbrännas och avlägsnas från proverna bör en korrelation därför också vara obefintlig. I figur 8 kan man se att CTO-375 metoden effektivt avlägsnar mesta delen av organiskt material samt att enbart BC-halterna analyseras. Korrelationen visar också på att syresättningen under förbränningen har varit tillräcklig. Vid dålig syresättning kan BC fraktioner bildas och tillföras till proverna.



Figur 8. Spridningsdiagrammet visar sambandet mellan BC halterna i procent mot sjösedimentets organiska innehåll. Enkel linjär regression har testats där R^2 -värdet ligger på 0,0022

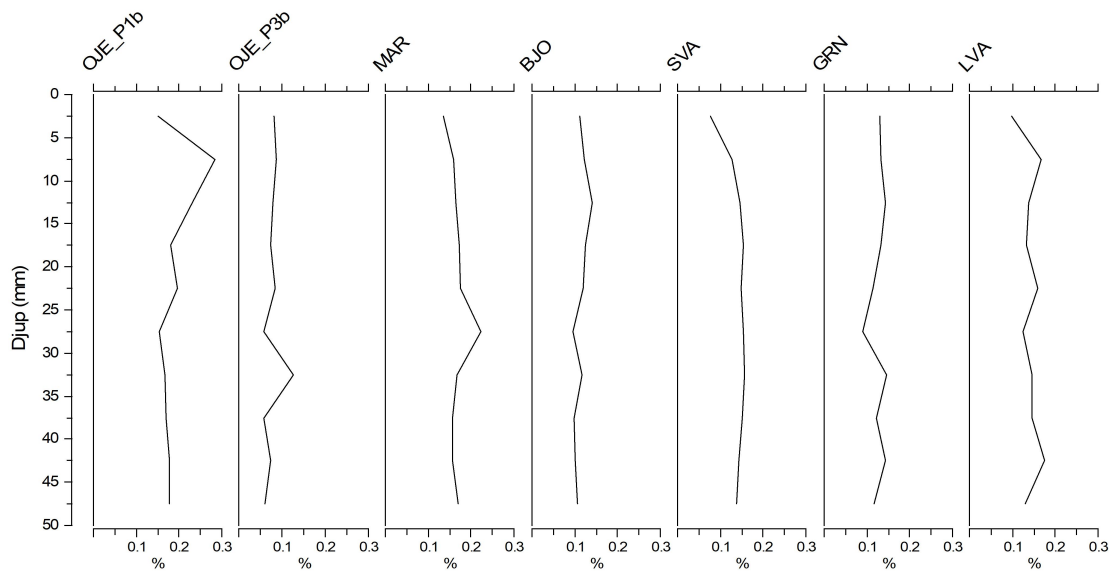
3. Resultat

3.1 BC halter och BC-stockberäkning, resultat

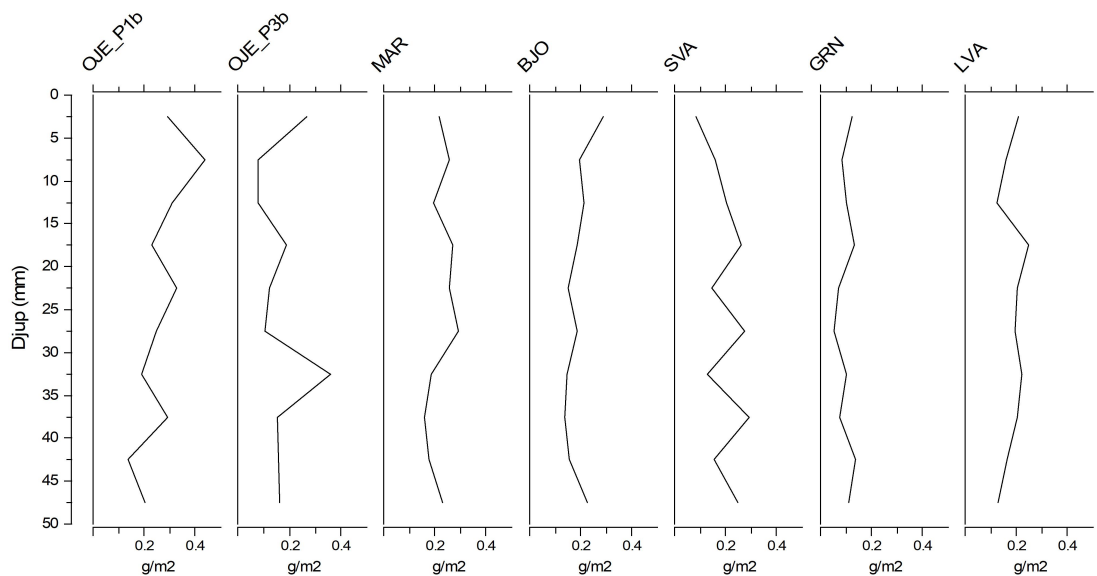
Resultatet av BC-halterna är presenterade i linjediagram med djupet i Y-axeln och BC variationen i X-axeln. Figur 9 visar BC variationen i procent och figur 10 visar BC-stocken. BC-stocken visar depositionen av BC per ytenhet. BC variationen i procent över alla sjöar har en variation mellan 0,059–0,285%. BC-stocken som är justerad efter volym, yta och torrdensiteten visar på variationer mellan 0,08–0,44 g/m².

Figur 11 och 12 visar skillnaden mellan den undre och övre stratigrafien. Utryckt i procent ser man att vissa sjöar visar på högre halter i den övre delen av stratigrafien. Denna skillnad visas tydligare när BC-halterna är uttryckt i g/m².

BC i sjöarna saknar ett klart mönster, men resultatet visar att det finns sjöar där responsen av BC påvisar en viss ökning om detta är orsakat av brandeventet är en tolkningsfråga som diskuteras under diskussion. Skillnader finns mellan BC i procent och BC-stocken. När man tar hänsyn till torrdensiteten kan man se att deponeringen per kvadratmeter ger en tydligare ökning i de övre lagerna.



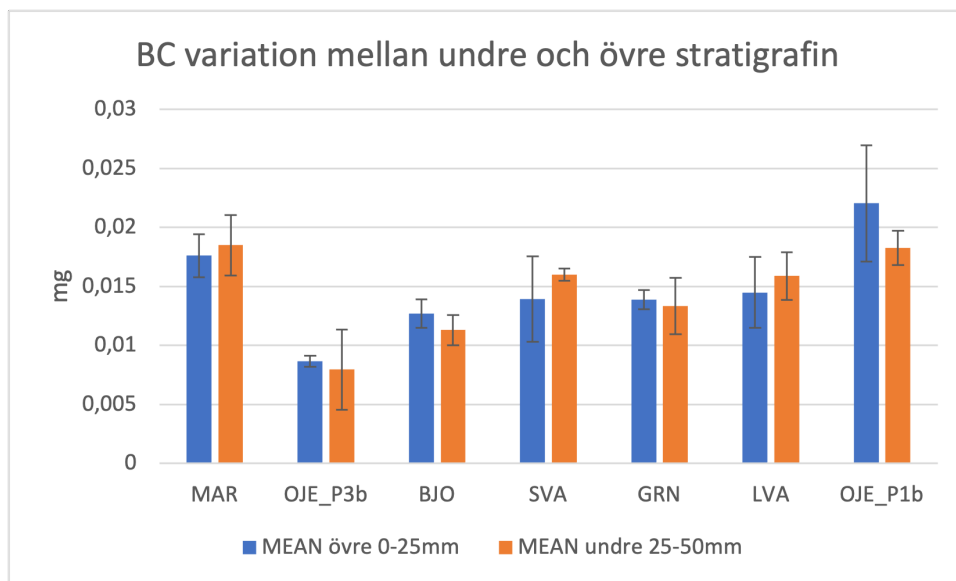
Figur 9. BC halternas variation med djupet. Samtliga provtagningsplatser är utritade för att ge en översiktlig bild på variationerna. BC halterna i procent på X-axeln, Djupet på Y-axeln har enheten i millimeter. Djupet går uppifrån och ner för en pedagogiskt visualisering.



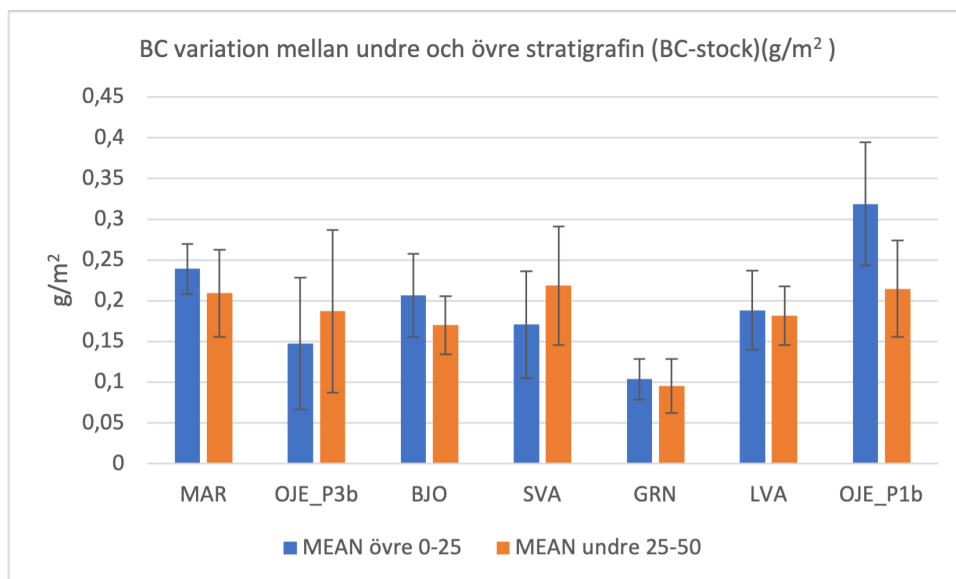
Figur 10. Diagrammet illustrerar BC-stockens variationer med djupet. Samtliga provtagningsplatser är utritade för att ge en översiktlig bild på variationerna. BC-stock på X-axeln har enheten g/m2, Djupet på Y-axeln har enheten i millimeter. Djupet går uppifrån och ner för en pedagogiskt visualisering.

Tabell 3. Sammanställningstabell på uträknade BC-stock värden för respektive djup och sjö. Medelvärde på den undre och övre delen av sedimentkärnan har presenterats i tabellen. Vid uträkning av BC-stock har BC-halterna, sjöstorlek och sedimentets torrdensitet använts.

Sammanställningstabell över BC-stock (g/m²)							
Djup	MAR	OJE_P3b	BJO	SVA	GRN	LVA	OJE_P1b
0–5	0,2172	0,2682	0,2872	0,0842	0,1244	0,2098	0,2906
5–10	0,2556	0,0768	0,1949	0,1594	0,0860	0,1589	0,4362
10–15	0,1962	0,0810	0,2138	0,2028	0,1036	0,1224	0,3080
15–20	0,2688	0,1876	0,1874	0,2602	0,1318	0,2468	0,2291
20–25	0,2575	0,1234	0,1490	0,1466	0,0723	0,2040	0,3295
25–30	0,2938	0,1054	0,1859	0,2722	0,0518	0,1941	0,2469
30–35	0,1866	0,3607	0,1482	0,1273	0,1000	0,2193	0,1913
35–40	0,1602	0,1513	0,1380	0,2904	0,0762	0,2032	0,2939
40–45	0,1771	0,1568	0,1526	0,1558	0,1392	0,1625	0,1371
45–50	0,2285	0,1612	0,2254	0,2471	0,1103	0,1295	0,2047
Medelvärde 0–25	0,2390	0,1474	0,2065	0,1706	0,1036	0,1884	0,3187
Medelvärde 25–50	0,2092	0,1871	0,1700	0,2186	0,0955	0,1817	0,2148



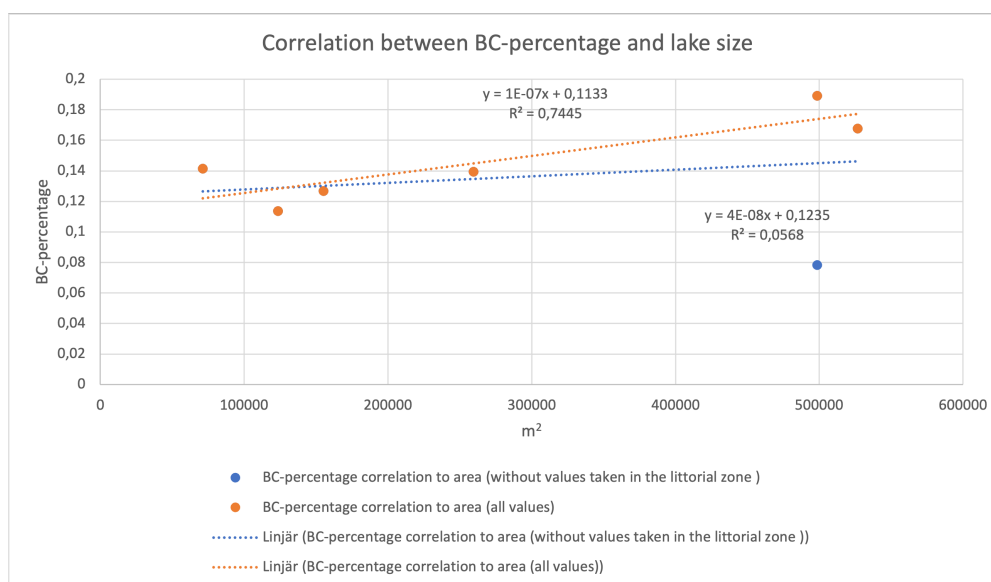
Figur 11. Stapeldiagram över BC halterna uttryckt i mg hos de undersökta sjöarna. Jämförelsen av BC halter i den undre och över delen visas, Standardavvikelsen finns uttryckta i diagrammet.



Figur 12. Stapeldiagram över BC stocken uttryckt i g/m² hos de undersökta sjöarna. Jämförelsen av BC halter i den undre och över delen visas, Standardavvikelsen finns uttryckta i diagrammet.

3.2 BC-deponering i förhållande på sjöarealen

Figur 13 visar korrelationen mellan BC deponering och sjöarna total area. En enkellinjär regression visar ett starkt samband mellan dessa med ett R-värde på 0,7445. Två trendlinjer har provats i Öjesjön har två provplatser provtagits ett prov strandnära och ett i den djupare delen. Eftersom deponeringen av BC strandnära ger en kraftig avvikning i resultat kontra rasterande prover som är tagna i djupare zoner kan denna uteslutas. Denna kan uteslutas eftersom deponerings förhållandena ser annorlunda ut i denna zon.



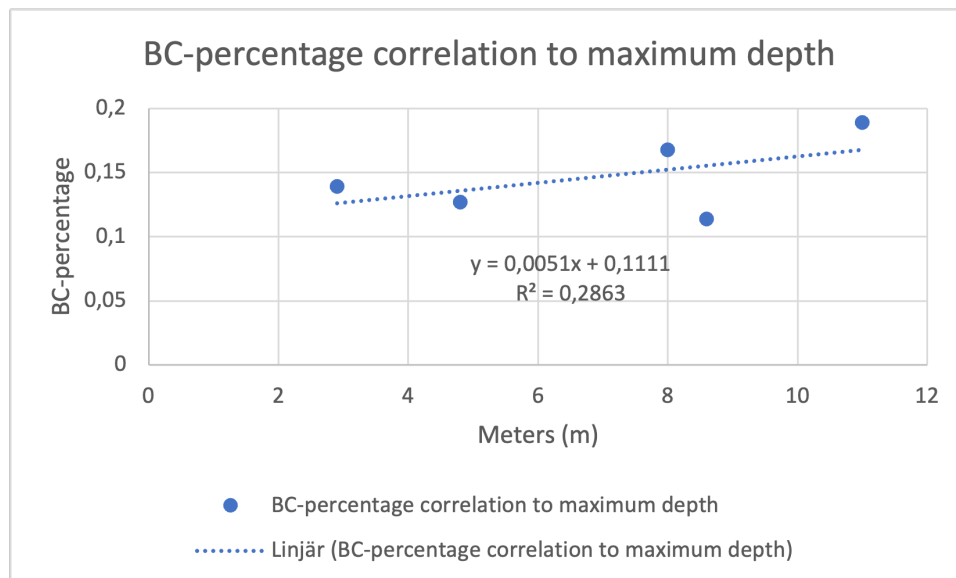
Figur 13. Korrelationstest för att se förhållandet mellan sjöstorlek och BC-halter. Enkel linjär regression utförd i två tester. Förhållandet med alla data visar R²-värde på 0,0568. Förhållandet där OJE_P1b värdet tagits bort av anledning att provet har provtagits strandnära som skiljer sig från rasterande prover visar ett R²-värde på 0,74.

3.3 BC-deponering förhållande mellan sjödjup och avrinningsområdes arealen.

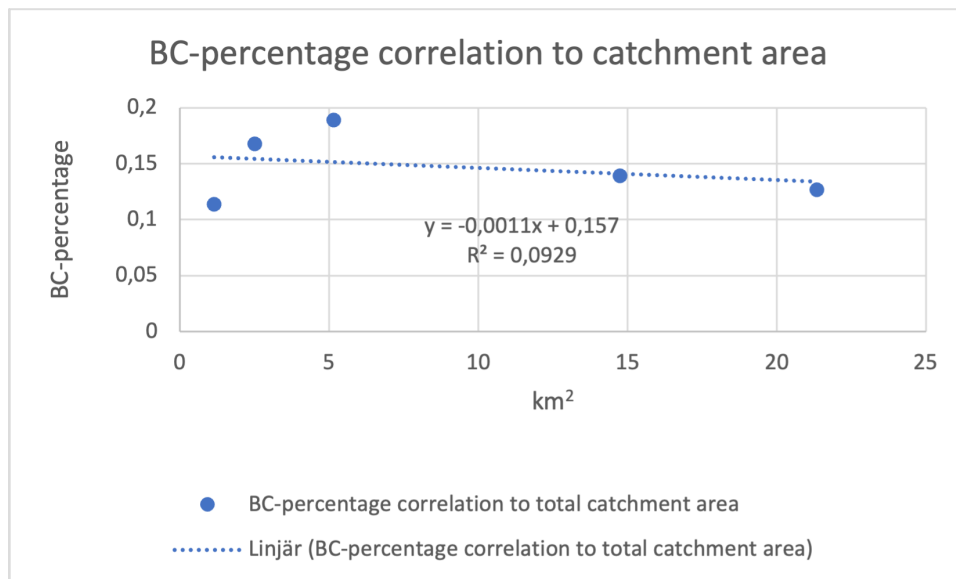
För att undersöka hur BC deponeringen förhåller sig till sjödjup och avrinningsområde har BC halterna testats mot sjöarnas maximala djup. I dessa analyser har Lilla Vallsjön (LVA) tagits bort efter som djupdata saknas för sjön. Provtagningen vid Öjesjön som var taget strandnära har också tagits bort för ett representativt resultat.

Analysen mellan BC deponering och sjödjup med en enkellinjär regression visar att deponeringen av BC har en relativt svag förklaringsgrad där R-värdet ligger på 0,2863.

Förhållandet mellan BC-halterna och sjöns totala avrinningsområde visar på en ännu svagare förklaringsgrad där R-värdet ligger på 0,0929.



Figur 14. Korrelationstest för att se förhållandet mellan det maximala sjödjupet och BC-halter. Enkel linjär regression utförts där förhållandet visar R-värde på 0,2863.



Figur 15. Korrelationstest för att se förhållandet mellan avrinningsområdet areal och BC-halter. Enkel linjär regression utförts där förhållandet visar R-värde på 0,0929.

4. Diskussion

4.1 Analys av framtagna resultat

Utifrån resultatet kan man delvis se att brandeventet har påverkat BC deponeringen i sjöarna. Detta eftersom mängden BC varierar i området där halterna ligger mellan 0,059–0,285%. Halterna är marginellt förhöjda i jämförelse med andra studier som exempelvis halterna i Öresund exempelvis varierar mellan 0,05–0,25% (Ljung et al., 2022). Att observera är att det provtagna sedimentet har provtagits i marint sediment där avsättningstakten ser annorlunda ut än sjöar. Sedimentbörnkärnan var också en längre kärna på 28 cm vilket resulterar till börnkärna representerar en längre tidsperiod där tidsperioden bestäms av sedimentationshastigheten, vilket kan medföra större variation. Intervallet på BC halterna mellan 0,059–0,285% är relativt stora i jämförelse med det provtagna materialets mängd och provtagningsdjup. Det finns därför en viss antydning till att variationen kan orsakats till följd av skogsbranden.

Den stora variationen i BC, kan indikera att det har skett stora och snabba förändringar i deponeringstakten i sjöarna. Denna påverkan kan tros komma till följd av skogsbranden. Utifrån resultatet är det svårt att avgöra huruvida BC halterna i sjöarna påverkats av skogsbranden. Resultatet vid jämförelse av BC-halternas skillnader mellan den övre och undre delen av stratigrafin (figur 12) som visar skillnaden mellan undre och övre stratigrafin uttryckt i g/m², kan man se att flera sjöar har större deposition i den övre lagret. Endast vid hänsyn till torrdensiteten, yta och volym kan man se att viss ökning i de övre lagerna. Medelvärdena av BC i de översta 25mm jämfört med dem undre 25mm finns det en svag antydning att större mängd BC har deponerats i den övre delen.

Den tydligaste ökningen av BC ser man i BC-stocken, men spridningen är dock stor och standardavvikelsen är större i BC-stock analysen jämfört med analyserna av BC koncentrationen uttryckt i procent.

BC-halterna i sjöarna saknar ett klart mönster, det finns således utmaningar och osäkerheter att tolka när och huruvida stor påverkan skogsbranden haft på deponering av BC i området.

En faktor som verkar styra BC deponeringen i sjöarna är arealen på sjöarna. Figur 13 visar korrelationen mellan BC deponering och sjöarna total area. En enkellinjär regression visar ett starkt samband mellan dessa med ett R-värde på 0,7445. Att sjöarean har en påverkan på BC depositionen det kan indikera att deponering via luft

är utgör en stor deponeringskälla av BC. Andra studier där man tittat på mer isolerade sjöar utan BC-tillförsel via vattendrag och tillförsel via exempelvis mark och jord visar att deponering via luft utgör en väsentlig del av det totala deponerade BC (Ljung et al., 2023).

Hur sjödjup och avrinningsområde påverkar deponeringen har testats där både dessa visar på låga R^2 -värden. Även om korrelationen mellan sjödjup och BC-halterna är låg. I Öjesjön prov togs två punkter dels i den djupaste delen av sjön och ett prov strandnära. BC-halterna i dessa varierade starkt, halterna visade på mer än en fördubbling vid jämförelse mellan strandnära och djupaste delarna. Den stora variationen indikerar att BC deposition har en relativt stor variation beroende på sjödjupet.

4.2 Förväntat resultat

Det visar sig att deponeringen av BC efter skogsbranden är komplex, och att spridningen samt halterna av BC inom brandgränsen inte är den samma hos de undersökta sjöarna. Variationerna mellan sjöarna påvisar att det inte enbart är skogsbranden som påverkar BC-halterna utan att det samtidigt också finns andra underliggande faktorer som styr den totala deponeringen av BC i sjöarna. Det verkar finnas en större lokal variation av deponeringen av BC. I och med variationen och avsaknaden av tydligt förhöjda halter som kan knytas till branden leder detta till ett resultat där brandevent inte kan detekteras med hög noggrannhet. När och på vilket djup på sedimentkärnan eventet skett är också svår tolkad. Det man i stället kan se är att skogsbranden har haft en påverkan inom området samt att det har deponerats BC inom området.

Det förväntade resultatet hade varit att man sett en konsekvent ökning av BC i samtliga sjöar och att responsen hade uppkommit vid samma djup. Vid en tydlig signal hade man kunnat se en tydlig koppling mellan BC deponeringen och skogsbranden. För att kunna koppla BC deponeringen till brandeventet måste fler undersökningar göras.

4.3 Faktorer som styr den totala deponeringen av BC i sjöar

4.3.1 Sjö areal och sjöns egenskaper

BC deponeringen efter en skogsbrand i sjösediment påverkas i stor utsträckning av arealen av sjöarna. De sjöar med större arealer ackumulerar betydligt större mängder BC, där halterna i procent också är avsevärt högre. Anledningen till det ökade ackumuleringen av BC i större sjöar kan påverkas av det större tillrinningsområdet samt att de större sjöarna som Märrsjön och Öjesjön har fler direkta tillrinningar i form av anslutande vattendrag. Samtidigt påverkas mindre sjöar snabbare av deponering eftersom koncentrationerna ökar på grund av mindre volymer, på så sätt påverkas dessa snabbare och kan leda till större deponeringar av sediment och BC. Djupet i sjöarna har också en viss påverkan. BC partiklar är väldigt små partiklar, strömhastigheten och turbulens i vatten kan göra att ansamling och deponeringen inte sker i samma utsträckning som exempelvis i lugna djupare delar av sjön. Detta återspeglas i Öjesjön där man kunde se variation i resultatet mellan provtagningsplatserna i den djupa zonen kontra den strandnära zonen.

Liknande studier har gjorts i Boreal skog där man undersökt hur kol och pollen transporterats, vilka har gett liknande resultat där sjöns area hade en stor påverkan på deponeringen av kolpartiklar och pollen (Hennebelle et al., 2020).

Sjöars totala yta och det maximala vattendjupet är troligtvis de två viktigaste faktorerna som styr deponering av sot och kolpartiklar efter en brand. Det är två faktorer som också med storsannolikhet påverkar sedimentsammansättningen och omrörningen i sedimentet (Gardner & Whitlock, 2001).

4.3.2 Erosion och laterala rörelser

Efter en skogsbrand lämnas mycket förkolnat material i det översta jordlagret. I det översta jordlagret finns stora mängder pyrogen kol och därtill även BC. BC och PyC hamnar i sjösedimentet genom laterala förflyttningar. Rörelsemönstret för BC förändras eftersom skogsbränder orsakar landskaps- och vegetationsförändringar. Landskapet som en skogsbrand lämnar efter sig är framför allt avsaknaden av vegetation. Utan vegetation har man sett att avrinningshastigheten och flödena från nederbörd ökar kraftigt. Med mindre vegetation minskar avdunstningen och vegetationens förmåga att bära vatten (Pimentel & Arheimer, 2021). Med högre avrinningshastigheter ökar också markerosionen som i sin tur även ökar tillförseln av minerogent material till sjöar och vattendrag. Vid analys med hjälp av sjösediment

om hur skogsbränder påverkar olika faktorer, bör därför minst 5 år ha gått mellan brandeventet och provtagning för att få en så representativ bild på brandeventets påverkan (Hennebelle et al., 2020). Men denna tidsperiod är en rekommendation och intervallet varierar mellan olika lokaler.

4.3.3 Vindriktning och väderförhållanden

Vid en skogsbrand kommer en stor del av utsläppen av kolpartiklar ske via atmosfären. I atmosfären transporteras BC som aerosoler, dessa kan deponeras i sjöar via transport via vind. Hur länge BC är suspenderad i luften beror på storleken av partiklarna (Cape et al., 2012). Men deponeringen kan bli betydligt snabbare eftersom denna process kan påverkas av nederbörd. Vid nederbörd minskar den atmosfäriska livslängden avsevärt (Cape et al., 2012).

Vindriktning och vindhastighet under och efter brandförloppet påverkar transporten av makroskopiska kolpartiklar. Abundans av kolpartiklar ökar i sjösediment längs med brandens medvindssida (Gardner & Whitlock, 2001). Under branden i Västmanland uppmättes vindriktningen, då varierade vindriktningen mellan sydvästliga och sydostliga vindar. En analys över spridningen av branden under olika tidpunkter har inte gjorts i detta arbete. För lite underlag för att analysera huruvida vindriktningen påverkat depositionen av BC har därför inte kunnat göras.

4.4 Utmaningar och kompletterande studier i framtiden

Resultatet som är framtaget om BC-halterna med CTO-375 håller hög noggrannhet och kvalitet. Men det finns möjligheter att resultaten kan förbättras ytterligare. För att öka precisionen och noggrannheten av resultatet hade en möjlighet varit att köra samma analys med samma prover i syfte att ytterligare kunna utesluta mätfel. Kalibreringen av elementanalysatorn kräver väldigt små mängder acetanilide, att väga upp dessa små mängder leder till att marginalerna är små som i sin tur ökar risken för mätfel. Vikten av sedimentprover i kapslarna är delvis begränsade av storleken men att öka vikten kan också leda till att förbränningen inte blir optimal. Detta är en avvägning och bedöms efter materialets densitet och innehåll. Vid möjlighet hade det varit av intresse att eventuellt öka mängden i kapslarna.

Tolkningen av resultaten har gjorts med förenklade modeller där antaganden har gjorts. Vid beräkningen av BC-stock har varje lager antagits vara homogen där täckningen är den samma över hela arealen. I verkligheten ser batymetrin annorlunda ut eftersom den dels är oregelbunden och egenskaperna i de olika delarna av sjön ser annorlunda ut. Detta antagande har gjorts eftersom det inte finns tillräckligt många provtagningar i en och samma sjö. Materialet att tillgå var primärt ett prov per sjö. För

att förbättra analysen om stor påverkan sjö arealen inverkar på BC deposition kräver ytterligare undersökningar. Fler provtagningar i respektive sjö och analyser kring batymetri för att minska de antaganden som används.

Förslag på framtida undersökningar för att hitta sambandet mellan brandeventet och BC deposition, är att det krävs fler analyser där man kan knytta samman fler resultat och bilda sig en bättre helhetsbild. Genom att hitta vilka faktorer som faktiskt påverkar BC deponeringen i sjösediment och hur stor inverkan respektive faktor utgör kan bidra till en ökad förståelse av BC rörelsemönster. Hur förhåller sig mängden markbundet kol med BC deponeringen i sjösediment är en intressant parameter eftersom man kan se att en stor del av tillförseln sker genom överföring genom laterala rörelsemönster. Att åldersdatera sedimentproverna ger en möjlighet att se tidsordningen av deponeringen man kan då också se huruvida sedimentet tillförts efter, under eller innan skogsbranden.

Eftersom provtagningen av sjösedimentet enbart var i de översta 50mm är det svårt att se hur höga bakgrundshalterna av BC var. En djupare BC borrhärna hade gett möjligheten till att studera denna aspekt. Men bakgrundshalterna av BC har gjorts på andra platser där man sett ett mönster att BC halterna sedan 1930 har ökat snabbt. Denna ökning av utsläpp har ett starkt samband med att industrialisering och användningen av fossila bränslen och förbränning av biomassa (Ljung et al., 2023). För att exakt kunna räkna ut hur mycket BC som tillförs branden hade en djupare borrhärna varit av intresse.

Utifrån de resultat som producerats hade kontrollprover på sjöar i liknande system utanför brandområdet kunnat ge svar på om halterna har liknande variationer och mönster. Är halterna av BC lägre eller högre i relation till de prover som testats innanför brandgränsen. Om halterna av BC är mindre än innanför brandgränsen kan detta visa på att skogsbranden lett till en lokal ökning av BC deponeringen. Beroende på vad proverna visar för värde kan analyser utanför brandgränsen visa på rörligheten och transporten av BC.

5. Slutsats

Denna studie har visat att kvantifiering av BC med CTO-375 metoden är ett lämpligt protokoll att använda. Protokollet är lämpligt eftersom det är en effektiv metod där kontamineringsriskerna minimeras och genererar data med hög precision. BC halterna i sjösedimentet innanför brandgränsen uppmättes till 0,059–0,285%, 0,006–0,029 mg. BC halterna i sjöarna visar på relativt stor variation, detta gör det svårt att avgöra huruvida Hälleskogsbrännan påverkat BC deponeringen. Men vid jämförelse av BC halterna på övre och undre stratigrafien kan man se en svag antydning på större deposition av BC i den övre stratigrafien. Denna ökning kan eventuellt vara orsakad av skogsbranden.

Kvantifieringen av BC halterna visar på ett svårtolkat resultat, det finns utmaningar att avgöra hur stor del av deponeringen som orsakats till följd av skogsbranden. För att kunna hitta brandeventets exakta inverkan krävs fler analyser som åldersdatering och provtagning på fler platser.

Utifrån analyserna av BC kvantifieringen tillsammans med kartdata finns det tecken på att den totala deponeringen av BC i sjöarna styrs av faktorer som sjöns areal. Sjöarealen visar sig vara en av den viktigare faktorn. Att just sjöarealen har en så stor påverkan kan vara ett tecken på att BC deponering via luft utgör en stor del av det totala BC innehållet i sjöar. De lokala förutsättningarna inom brandgränsen styr deponeringen mer än vad man initialt trott. Att göra ytterligare studier för att hitta vilka faktorer som är mest kritiska, skulle kunna leda till att man i framtiden kan göra bättre modeller och analyser där skogsbränder används för att återskapa och förstå BC deponeringen och utsläppen.

Utsläpp av BC ökar och utgör en fara både för klimatet och för människors hälsa. Därför bör utsläppen av BC minskas genom effektivare förbränningsprocesser, renare bränslen samt bedriva en skogsskötsel för att minska risken för skogsbränder.

6. Tackord

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Karl Ljung som varit min vägvisare, inspirationskälla, uppslagsverk och stöttepelare under hela arbetsgången. Tack för att du introducerat och inspirerat mig till detta viktiga och intressanta ämne kring Black carbon. Jag vill även tacka alla personer som varit involverade i detta projekt som hjälpt till med allt från provtagningar till analyser. Sista tacket får jag lämna till alla nära och kära som stöttat mig, ni vet vilka ni är. Tack!

7. Referenser

- Agarwal, T., & Bucheli, T. D. (2011). Adaptation, validation and application of the chemo-thermal oxidation method to quantify black carbon in soils. *Environmental Pollution*, 159(2), 532–538. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.012>
- Amiro, B. D., Alexander, M. E., Flannigan, M. D., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2001). Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire*, 10(3–4), 405–413–413. <https://doi.org/10.1071/wf01038>
- Cape, J. N., Coyle, M., & Dumitrean, P. (2012). The atmospheric lifetime of black carbon. *Atmospheric Environment*, 59, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.030>
- Climate and clean air coalition. (u.å). Black carbon. Hämtad den 10 okt 2023 från <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/black-carbon>
- Coppola, A. I., Wagner, S., Lennartz, S. T., Seidel, M., Ward, N. D., Dittmar, T., Santín, C., & Jones, M. W. (2022). The black carbon cycle and its role in the Earth system. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(8), 516–532. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00316-6>
- Coppola, A. I., Ziolkowski, L. A., Masiello, C. A., & Druffel, E. R. M. (2014). Aged black carbon in marine sediments and sinking particles. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2427–2433. <https://doi.org/10.1002/2013GL059068>
- Eckdahl, J. A., Rodriguez, P. C., Kristensen, J. A., Metcalfe, D. B., & Ljung, K. (2022). Mineral Soils Are an Important Intermediate Storage Pool of Black Carbon in Fennoscandian Boreal Forests. *Global Biogeochemical Cycles BECC: Biodiversity and Ecosystem Services in a Changing Climate*, 36(11). <https://doi.org/10.1029/2022GB007489>
- Gardner, J. J., & Whitlock, C. (2001). Charcoal accumulation following a recent fire in the Cascade Range, northwestern USA, and its relevance for fire-history studies. *The Holocene*, 11(5), 541–549.
- Goldberg, E. D. (1985). Black carbon in the environment. *John Wiley & Sons*.
- Gustafsson, O., Bucheli, T. D., Kukulska, Z., Andersson, M., Largeau, C., Rouzaud, J.-N., Reddy, C. M., & Eglinton, T. I. (2001). Evaluation of a protocol for the

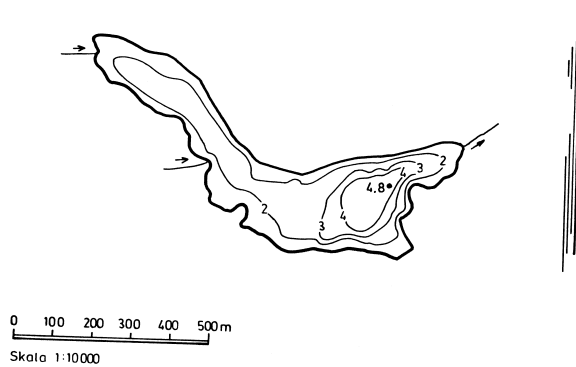
- quantification of black carbon in sediments. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 881–890. <https://doi.org/10.1029/2000GB00138>
- Gustafsson, L., Berglind, M., Granström, A., Grelle, A., Isacson, G., Kjellander, P., Larsson, S., Lindh, M., Pettersson, L. B., Strengbom, J., Stridh, B., Sävström, T., Thor, G., Wikars, L. O., & Mikusiński, G. (2019). Rapid ecological response and intensified knowledge accumulation following a north European mega-fire. *Scandinavian Journal of Forest Research BECC: Biodiversity and Ecosystem Services in a Changing Climate*, 34(4), 234–253. <https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1603323>
- Hansson, H. C. (2011). Black carbon : possibilities to reduce emissions and potential effects. *Department of Applied Environmental Science*, [Stockholm University].
- Hennebelle, A., Aleman, J. C., Landry, J., Blarquez, O., Ali, A. A., Bergeron, Y., Carcaillet, C., & Grondin, P. (2020). The reconstruction of burned area and fire severity using charcoal from boreal lake sediments. *Holocene*, 30(10), 1400-1409–1409. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1177/0959683620932979>
- Ljung, K., Schoon, P. L., Rudolf, M., Charrieau, L. M., Ni, S., & Filipsson, H. L. (2022). Recent Increased Loading of Carbonaceous Pollution from Biomass Burning in the Baltic Sea. *ACS Omega MERGE: Modelling the Regional and Global Earth System*, 7, 35102–35108. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04009>
- Ljung, K., Allison, E., Silvester, Hertzman and Hammarlund, D., 2023. Lake record of black carbon reveals increased flux in the early 18th century in south Sweden. INQUA2023, Rome.
- Koelmans, A. A., Jonker, M. T. O., Cornelissen, G., Bucheli, T. D., Van Noort, P. C. M., & Gustafsson, Ö. (2006). Black carbon: The reverse of its dark side. *Chemosphere*, 63(3), 365–377. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.chemosphere.2005.08.034>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2015). Observatörsrapport: Skogsbranden i Västmanland 2014. <https://rib.msb.se/filer/pdf/27530.pdf>
- Naturvårdsverket. (u.å). Fakta om partiklar i luft (PM2,5 och PM10). Hämtad den 8 okt 2023 från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/luftforeoreningar-och-dess-effekter/fakta-om-partiklar-i-luft-pm25-och-pm10/>
- Pimentel, R., & Arheimer, B. (2021). Hydrological impacts of a wildfire in a Boreal region: The Västmanland fire 2014 (Sweden). *Science of the Total Environment*, 756. <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1016/j.scitotenv.2020.143519>

Sasha Wagner, Alysha I. Coppola, Aron Stubbins, Thorsten Dittmar, Jutta Niggemann, Travis W. Drake, Michael Seidel, Robert G. M. Spencer, & Hongyan Bao. (2021). Questions remain about the biolability of dissolved black carbon along the combustion continuum. *Nature Communications*, 12(1), 1–4.
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24477-y>

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (u.å). Brandrisker idag och i framtiden. Hämtad den 8 okt 2023 från
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimateffekter/brandrisker-idag-och-imorgon-1.87501>

Wang, W., Khanna, N., Lin, J., & Liu, X. (2023). Black carbon emissions and reduction potential in China: 2015-2050.

8. Bilagor



669473-152742

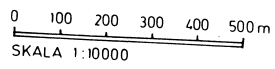
126:38 GÄRSJÖN (1981)

	Sjöareal	0,16 km ²
	Sjövolym	0,37 milj m ³
SJÖNR DJUPARKIV: 4729	Medeldjup	2,3 m
	Maximidjup	4,8 m
KARTNR DJUPARKIV: 3-4336	Avrinningsområdets areal	21,35 km ²
	Årlig avrinning	5,72 milj m ³ /år
	Teoretisk omsättningstid	0,06 år
	"_	24 dygn



SJÖNR DJUPARKIV: 4763

KARTNR DJUPARKIV: 3-4368



126:15 ÖJESJÖN (1979) 163783-152414

Sjöareal	0,53 km ²
Sjövolym	1,58 milj m ³
Medeldjup	3,0 m
Maxdjup	11,0 m
Avrinningsområdets areal	5,15 km ²
Årlig avrinning	1,30 milj m ³ /år
Teoretisk omsättningstid	1,2 år
"	444 dygn



0 100 200 300 400 500m

Skala 1:10000

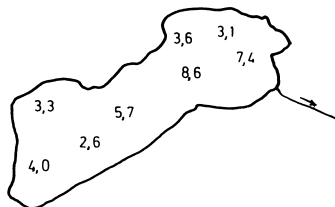
125:78 MÄRRSJÖN (1981) 664715 - 151400

Sjöareal	0,52 km ²
Sjövolym	1,48 milj m ³
Medeldjup	2,8 m
Maxdjup	8,0 m

SJÖNR DJUPARKIV: 4778

KARTNR DJUPARKIV: 3-4378

Avrinningsområdets areal	2,50 km ²
Årlig avrinning	0,67 milj m ³ /år
Teoretisk omsättningstid	2,21 år
"	806 dygn



664174 - 151789

125:56 BJÖRKTJÄRNE (1981)

SJÖNR DJUPARKIV: 4770

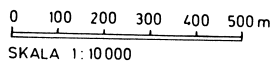
KARTNR DJUPARKIV: 3-9375

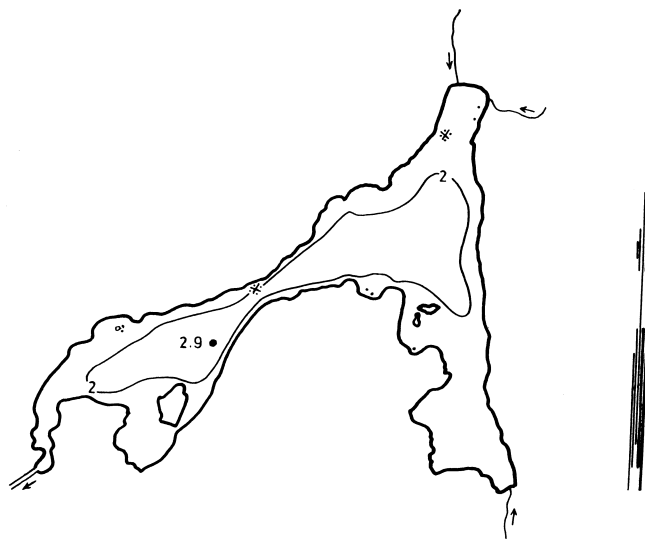
Sjöareal
Sjövolym
Medeldjup
Maxdjup

0,12 km²
0,58 milj m³
4,8 m
8,6 m

Avrinningsområdets areal
Årlig avrinning
Teoretisk omsättningstid
"-

1,15 km²
0,31 milj m³/år
1,87 år
683 dygn





0 100 200 300 400 500 m
Skala 1:10000

125:52 STORA VALLSJÖN (1981) (64364-151737)

Sjöareal	0,26 km ²
Sjövolym	0,37 milj m ³
Medeldjup	1,4 m
Maxdjup	2,9 m

SJÖNR DJUPARKIV: 4769

KARTNR DJUPARKIV: 5-4374

Tillrinningsområdets areal	14,74 km ²
Årlig avrinning	3,95 milj m ³ /år
Teoretisk omsättningstid	0,09 år
"	34 dygn



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund