

Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige

Edward Allison

**Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 632
(15 hp/ECTS credits)**



**Geologiska institutionen
Lunds universitet
2022**

Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige

Kandidatarbete
Edward Allison

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2022

Innehåll

1	Introduktion	7
1.1	Black Carbon	7
1.2	Effekter av BC	7
1.3	Genomförd forskning	7
1.4	Syfte	7
2	Metod och material	8
2.1	Material	8
2.1.1	Odensjön	8
2.1.2	Borrkärnan	9
2.2	Metod för BC-kvantifiering	9
3	Resultat	10
4	Diskussion	11
4.1	Resultatens säkerhet	11
4.2	Flux	12
4.3	Transport och atmosfärisk livslängd	13
4.4	Närhet till Vavihills mätstation	13
5	Slutsatser.....	13
6	Tack.....	13
7	Referenser.....	13

Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige

EDWARD ALLISON

Allison, E., 2022: Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 632, 14 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Black Carbon är resultatet av ofullständig förbränning av fossila bränslen och biomassa. Partiklarna blir luftburna i samband med förbränning och sprids över hela jorden. Utsläpp och spridning av BC är problematiskt, eftersom partiklarna har stor påverkan på människors hälsa och miljön. Metoder för utvinning och kvantifiering av BC ur olika material finns. I studien används en variant av CTO-375-metoden som med hjälp av förbränning och behandling med förångad HCl oxiderar övrigt kol ur materialet och möjliggör mätning av provernas BC-halt. Det undersökta materialet är en frysborrhärna från Odensjön i södra Sverige. Odensjön lämpar sig väl för den här typen av undersökning då den har begränsat tillflöde av ytvatten och stort djup relativt till sin diameter. Detta gör att varviga sediment kan bildas på dess botten. Sedimenten har tidigare daterats med ^{210}Pb - och ^{14}C -metoden. BC-halterna kunde därför åldersbestämmas och avsättningstakten av BC kunde beräknas. Det kunde konstateras att avsättningstakten ökat i samband med industrialiseringen. Troligtvis har även befolkningsökning och ökad energiutvinning ur biomassa bidragit, då avsättningstakten ökat även när data om CO_2 -utsläpp indikerat en minskning av utsläpp från förbränning av fossila bränslen under slutet av 1900-talet. Det är även möjligt att partiklarna har transporterats från kontinenten och därför inte återspeglar svenska utsläpp av BC. För att med säkerhet kunna konstatera vilket processmässigt och geografiskt ursprung partiklarna har krävs ytterligare undersökning av materialet.

Nyckelord: Black Carbon, Odensjön, chemo-thermal oxidation at 375°C, CTO-375, BC-flux, utsläpp från förbränning

Handledare: Karl Ljung

Ämnesinriktning: Kvärtärgeologi

Edward Allison, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.

E-post: edwardjgallison@gmail.com

Deposition of Black Carbon in sediments from Lake Odensjön, southern Sweden

EDWARD ALLISON

Allison, E., 2022: Deposition of Black Carbon in sediments from Lake Odensjön, southern Sweden. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 632, 14 pp. 15 hp (ECTS credits).

Abstract: Black Carbon is the product of incomplete combustion of fossil fuels and biomass. The particles become airborne during combustion and are effectively distributed all around the world. The release and distribution of BC is of concern because of the effect it has on our health and the environment. To be able to separate BC from sediment and quantify the amount, different methods have been developed. This study uses a variant of the CTO-375 method, which makes use of combustion and treatment with HCl to oxidize all carbon except BC from a sample. The samples are derived from a sediment core retrieved from Lake Odensjön in southern Sweden. Sediments from Lake Odensjön are suitable for this type of study. Not only is the influx of surface water restricted by the local topography, the deep but narrow lake also produces varved sediments. The sediments have been dated by a previous study using ^{210}Pb - and ^{14}C -dating. The BC-concentrations could therefore be dated, and the deposition rate calculated. The deposition rate of BC showed an increase during the rise of industrialization. However, the rate also increased during periods without increasing combustion of fossil fuels, as shown by comparison with CO_2 -emissions. The increase of BC during these periods is better explained by the burning of biomass, most likely by a growing population before industrialization and the growing use of biomass in energy production during the last 40 years. It is however possible that the BC-particles do not originate in Sweden and are better explained by other processes. To give a better estimate of the origin of the particles further studies are needed.

Keywords: Black Carbon, emissions, Odensjön, chemo-thermal oxidation, CTO-375, BC-flux

Supervisor: Karl Ljung

Subject: Quaternary Geology

*Edward Allison, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: edwardjgallison@gmail.com*

1. Introduktion

1.1 Black Carbon

Black Carbon, hädanefter kallat BC, är resultatet av ofullständig förbränning av fossila bränslen eller biomassa. Under förbränningsprocessen förbränns majoriteten av materialet, men delar av bränslet kan i stället förkolnas utan förbränning. Förbränningsgaser kan även kondensera till sotpartiklar. Detta kol och sot utgör BC. Förekommande partiklar är nästintill aldrig en ren sot- eller kolpartikel, utan är oftast ett resultat av både förkolning och kondensering (Goldberg, 1985). BC-partiklarna blir luftburna i samband med förbränningen och sprids sedan som aerosoler (Andreae & Gelencsér, 2006).

Som aerosoler kan BC få stor spridning. Hur länge partiklarna förblir luftburna avgörs delvis av partiklarnas storlek, med en genomsnittlig atmosfärisk livslängd på 4–12 dagar (Cape et al., 2012). Den atmosfäriska livslängden kan dock variera kraftigt. Påverkande faktorer som nederbörd kan kraftigt begränsa hur länge partiklarna är luftburna. Avsättningen ur atmosfären tros fördubblas vid nederbörd jämfört med vid uppehåll (Cape et al., 2012). Den uppskattningen förutsätter dock kontinuerliga utsläpp av partiklarna, något vi vet varierar kraftigt mellan årstid, veckodag, och även tid på dygnet (Bycenkiene et al., 2011). Det kan dock konstateras att lokala väderförhållanden oavsett påverkar avsättningen.

Partiklarnas regionala och globala transport påverkas i stället av regionala och globala vädermönster, med inte sällan långväga transport (Bycenkiene et al., 2011). Exempelvis har luftburet BC vid Sydamerikas kust provtagits och dess ursprung spårades till förbränning av biomassa på den afrikanska kontinenten (Holanda et al., 2020).

BC-partiklarnas effektiva spridning innebär att de förekommer över hela jorden, såväl vad gäller geografiskt läge som avsättningsmiljö. Utöver atmosfären förekommer partiklarna överallt de kan avsättas, och finns som följd bland annat i hav, vattendrag, sediment, och inlandsisar (Bond et al., 2013). De luftburna partiklarna kan även andas in och lagras i andningssystem (Janssen et al., 2011).

1.2 Effekter av BC

BC påverkar starkt människors hälsa. BC bedöms orsaka en dödlighetsgrad 5-14 gånger större än andra luftburna partiklar av liknande storlek (Janssen et al., 2011). Partiklarnas mest påtagliga effekt är dock som miljöförorening. Som luftburna partiklar påverkar de dels molnbildning genom att de utgör kondensationskärnor på vilka vattenånga kan kondensera. Det resulterande molntäcket ändrar atmosfärens albedo och förmåga att reflektera solljus, såväl som atmosfärens förmåga att reflektera jordens utgående värmestrålning (Ramanathan & Carmichael, 2008).

Utöver detta gör partiklarnas mörka färg att de effektivt absorberar solstrålning. Luftburna partiklar har oftast en albedo på 0,9-1,0, medan BC har en albedo på ca 0,5 (Goldberg, 1985). Genom att absorbera solljus höjer partiklarna temperaturen för det material

eller medium där de finns. Genom att avsättas i sediment och andra material har BC liknande effekt på deras egenskaper vad gäller att reflektera solstrålning. De mörka partiklarna absorberar den strålning som ljusa materials albedo annars skulle ha reflekterat. Effekten av detta blir särskilt märkbart i polarområden; inlandsisen, som annars effektivt hade reflekterat solstrålning, värms i stället upp av de ljusabsorberande partiklarna. Partiklarnas energieffekt på isen har beräknats till 20 W/m² (Ramanathan & Carmichael, 2008). Den sammanlagda effekten av BC på miljön gör det till det utsläpp med störst miljöpåverkan, efter CO₂ (Jacobson, 2001).

1.3 Genomförd forskning

Förekomsten av BC är väldokumenterad sedan 1970-talet. Samtidigt beskrevs hur partiklarnas morfologi är kopplad till deras ursprung (Goldberg, 1985). Med den kunskapen blev det möjligt att analysera avsatt BC och koppla det till specifika processer. Att utvärdera specifika avlagringars ursprung var första ledet i ökad förståelse för hur utsläppen kunde minskas.

Ytterligare framsteg gjordes när metoder för kvantifiering av mängden BC i specifika material utvecklades. Ett flertal metoder finns för att utvinna BC ur sediment, med tillhörande för- och nackdelar (Hammes et al., 2007). Metodernas resultat skiljs åt av mängden kol som finns kvar för analys efter preparering; vissa oxiderar allt utom de mest högkondenserade kolpartiklarna medan även lågkondenserade partiklar kan analyseras genom användning av skonsammare metoder (Hammes et al., 2007).

Tack vare metoderna för kvantifiering av BC kan man framgångsrikt beräkna mängden BC i sediment. En studie beräknade BC-fluxen, avsättningstakten av BC, i fem sjöar i norra Finland (Ruppel et al., 2015). Det kunde konstateras att de nordligaste av de fem sjöarnas BC-flux hade minskat sedan 1960-talet, men de sydligare sjöarnas flux ökat sedan 1970-talet. Värdena från de nordliga sjöarna kunde korreleras med luftmätningar och bedömdes som tillförlitliga. Slutsatsen drogs att den ökande fluxen i de sydliga sjöarna beror på lokal industripåverkan (Ruppel et al., 2015).

1.4 Syfte

Kunskapen kring BC har ökat sen den första beskrivningen. Slutsatser kan idag dras om hur mycket BC som avsätts och vilket ursprung partiklarna i fråga har. Metoder för kvantifiering av BC finns för olika material (Hammes et al., 2007).

För djupare förståelse av de processer som orsakar, avsätter, och lagrar BC krävs mer data. Mätningar från olika platser ger inte bara information om lokala och regionala förhållande, de möjliggör dessutom korrelation mellan dessa spridda mätpunkter. Då BC-utsläpp, som tidigare konstaterats, kan ha stor geografisk spridning är denna korrelation mellan olika lokaler nödvändig för att förstå spridningsprocesserna bättre.

Fler undersökningar tillåter dessutom utvärdering av metoder för provtagning och analys av sediment. De varierande egenskaperna hos sediment kan försvåra analys om inte metoden är anpassad för dessa variationer, och för att kunna anpassa metoden måste den

fortsatt testas och utvärderas. Utan testning och utvärdering kan den omöjligen anpassas.

I den här studien användes en borkärna från Odensjön för att kvantifiera mängden BC i sjösedimenten. Syftet med undersökningen är att:

- mäta BC-halt och flux från Odensjöns sediment.
- analysera mätresultaten och sätta dem i ett större samhälls- och utsläppsperspektiv.
- utifrån slutsatsen föreslå vidare undersökningar av materialet från Odensjön.

2. Metod och material

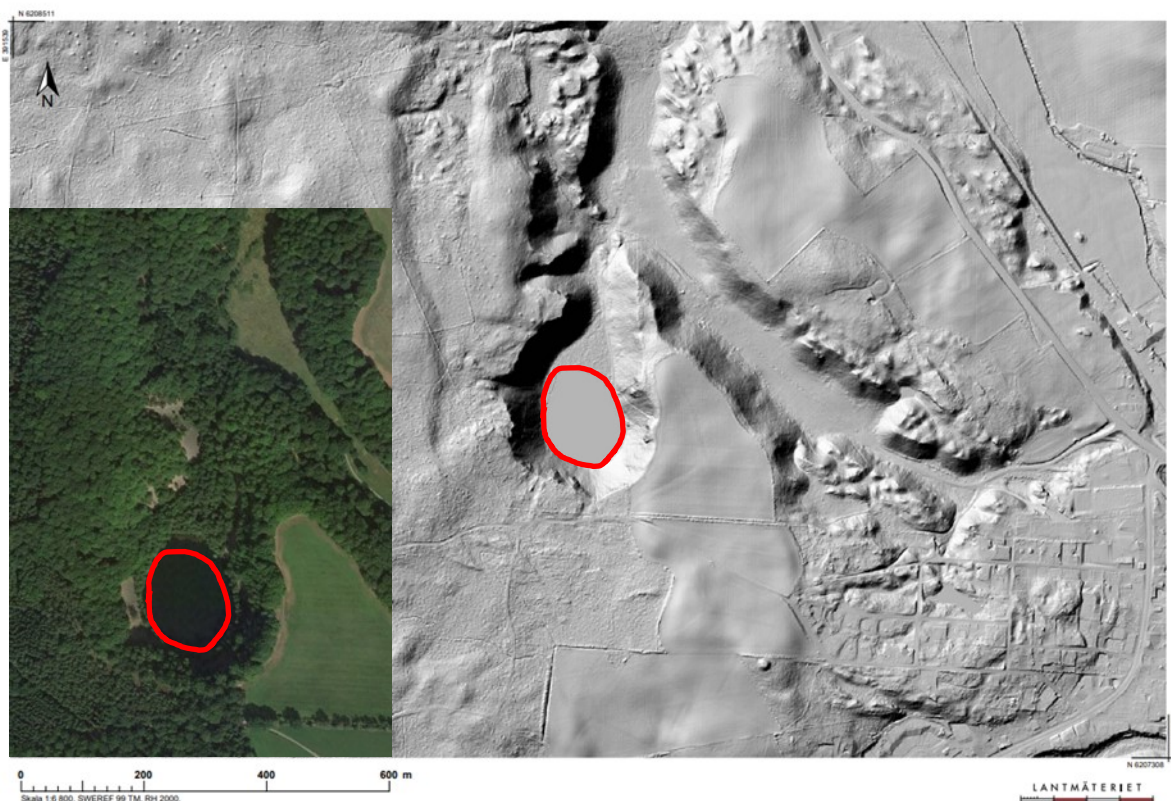
2.1 Material

2.1.1 Odensjön

Odensjön är belägen nära Röstånga i nordvästra Skåne (se figur 1) (Länsstyrelsen, 2022). Odensjön i sig har vissa egenskaper som gör den lämplig för den här typen av undersökning. Sjön är belägen på Söderåsen i en glaciärnisch eller nivationshåla; en av inlandsis eroderad djup håla med höga branter (Rapp, 1984). Dess läge och utformning gör att tillflödet av ytvatten är försumbart (se figur 2). Den absoluta majoriteten av vattentillförseln till sjön utgörs därför av nederbörd samt ett visst inflöde av grundvatten. Det gör att mängden BC som transporteras till sjön med ytvatten



Figur 1. Odensjön finns i nordvästra Skåne, här indikerad med rött. Modifierad från Lantmäteriet (2022).



Figur 2. Odensjön har bildats i en nivationshåla i Söderåsen. Sjöns utbredning har markerats på höjdkarta samt flygfoto. Idag är sjön omgärdad av bokskog. Modifierad från Lantmäteriet (2022) och Google Earth (2022).

är försumbar. I förlängningen är därför den BC som transporteras till sjön och ansamlas i botten-sedimenten representativ för atmosfärisk deposition av BC. Utöver detta är Odensjön djup relativ till sin diameter på 150 m. Vid provtagningsplatsen uppmättes vattendjup på 19,9 m (Damber, 2020). Det stora djupet gör att botten-sedimenten kan ansamlas utan att störas och resulterar i varviga sediment.

2.1.2 Borrkärnan

Borrkärnan är 91 cm lång och är en frysborrkärna. Metoden med frysborrkärnor lämpar sig väl för den här typen av undersökning då kärnan tas upp nästintill orörd. Metoden går ut på att en cylinder sänks ned i sedimentet. Cylindern fylls sedan med kolsyreis och tillåts sitta i sedimentet så att materialet kring cylindern fryser fast. När cylindern sedan tas upp följer det ostörda och fastfrusna materialet med.

Kärnans varvighet framstod direkt efter upptagning. Det kunde även konstateras att växligheten på platsen ändrades abrupt vid något tillfälle. Det förekommer rikligt med löv från lövträd i kärnans översta del, men några decimeter ned tar dessa slut vid en uppenbar gräns (se figur 3). Gränsen där löv börjar förekomma i kärnan återspeglar troligtvis en förändring i markanvändning vid sjön, som idag är omgärdad av bokträd (se figur 2) (Damber, 2020). Materialet kunde efter upptagning avlägsnas från cylindern och frystorkas för fortsatta undersökningar.

Varviga sediment kan användas för datering av material. För det här materialet är det inte möjligt att urskilja tydliga lager genom hela kärnan (Hertzman, 2021). Materialets varvighet är därför i denna studie till största del en indikator på avsättningsförhållanden (Brauer, 2001).

Datering av material har i stället gjorts med ^{210}Pb - och ^{14}C -metoden (Hertzman, 2021). De översta sedimenten har daterats till slutet av 2016, vilket sammanfaller med när materialet togs upp, medan botten av kärnan vid 91 cm djup har daterats till sekelskiftet 1400–1500 (Hertzman, 2021).

2.2 Metod för BC-kvantifiering

Det finns olika metoder för att kvantifiera mängden BC i sediment. I den här studien användes en variant av chemo-thermal oxidation at 375°C , hädanefter kallad CTO-375 (Gustafsson et al., 2001). Metoden bygger på att sedimentproverna prepareras i syfte att få bort det kol som inte har sitt ursprung i BC. Varianten på CTO-375 som används i den här studien är anpassad för att bättre hantera material där syretillförseln kan vara otillräcklig under förbränning och för att minska risken för kontaminering under prepareringen (Agarwal & Bucheli, 2011). Materialet från Odensjön har låg densitet vilket begränsar mängden material som kan vägas in i de enskilda proverna. Den använda metodvarianten ger bättre förutsättningar att uppnå fullständig förbränning av proverna trots deras packningsgrad och volym.

Innan preparering vägdes materialet in i lämpliga prover. Den frystorkade kärnan provtogs i intervall om 2 cm, vilka homogeniserades. Ur varje intervall vägdes prover på 1,5–6 mg in i silverkapslar. Provmängden



Figur 3. Den översta delen av kärnan innehåller rikliga mängder boklöv. I den nedre delen kan varvighet skönjas genom det lösa materialet utanpå kärnan. Foto: Karl Ljung

begränsades av silverkapslarnas storlek. Utöver proverna vägdes även referensmaterial in. Det finns ingen certifierad BC-standard. I stället användes diselsot, SRM2975, och sediment från en hamnbassäng, NIST1944, då de sedan tidigare har publicerade BC-halter.

Efter invägning placerades kapslarna i en ugn i 24h. Ugnen hade en temperatur på 375°C och ett konstant luftflöde på 250 ml/min. Luftflödet gör att organiskt material förbränns fullständigt utan kolbildning. Eftersom BC tål temperaturer på upp till 375°C påverkas inte BC-mängden i provet av förbränningen.

Enligt CTO-375-metoden ska proverna sedan in-situ-behandlas med syra. För att minska tillförsel av material vilket kan kontaminera proverna användes i stället en exsickator med förångad HCl för syrabehandling. Detta för att lösa upp de karbonater som kan finnas i proverna. Innan mätning torkades proverna genom att placeras på en värmeplatta. Värmeplattans temperatur var 50°C .

Proverna och referensmaterial packades sedan i tennkapslar. Tennkapslar användes för att uppnå en högre temperatur vid mätning. Mätningen genomfördes med hjälp av en elementanalysator av typen Costech ECS4010. Proverna förbrändes och förbränningsgaserna separerades med en 2 m packad kolonn. Därefter mättes kväve- och kolresponsen. Utifrån responsen beräknades sedan bland annat BC-halten som procent och den absoluta mängden BC i proverna.

Utöver proverna kördes även ett flertal kalibrerings- och testprover i elementanalysatorn. Detta för att kalibrera maskinen och testa kalibreringen regelbundet. Kalibrerings- och referenstesterna bestod av acetanilid, tomta kapslar samt jordprover med kända kolhalter.

Samtliga referensprover gav förväntade resultat (se tabell 1). Diselsoten, SRM2975, som vägts in i sex prover hade en genomsnittshalt på 69,2 % BC, vilket kan jämföras med publicerat värde på 68,2 ± 0,9 % (Gustafsson et al., 2001). NIST1944, som även det vägdes in i sex prover, hade en medelhalt av BC på 0,9 %. I den citerade studien finns två publicerade värden för kolhalten i NIST1944, 0,66 ± 0,16 och 0,8 ± 0,2 (Gustafsson et al., 2001).

Fyra prover vägdes in av referensmaterialet B2152 med en genomsnittlig kolhalt på 1,49 %. Materialet har ett publicerat värde på 1,44 % ± 0,08% (Elemental Microanalysis, u.å.-b). Referensmaterialet B2150 vägdes likaså in i fyra prover med en genomsnittlig kolhalt på 7,26 %. Detta kan jämföras med publicerat värde på 7,45 ± 0,14 % (Elemental Microanalysis, u.å.-a).

Densitetsdata från Hertzman (2021) användes vid beräkning av flux. Dock var bara densitetsdata för de översta 35 cm av kärnan tillgänglig. Ett genomsnitt av de understa fem densitetsmätningarna har därför använts som värde för den del av provet där uppgifter saknas.

Efter att BC-halterna tagits fram beräknades BC-flux. BC-flux är ett mått på hur mycket BC som avsätts per areaenhet under en viss tid. Fluxen beskrivs i mg/cm²/år och beräknas på följande sätt:

$$\text{flux} = \text{sedimentationstakt} \times \text{densitet} \times \text{BC fraktion}$$

3. Resultat

Alla prov gav mätbara resultat över detektionsgränsen. Resultaten visar på tydliga skillnader mellan de olika lagrens BC-halter (se figur 4). Det prov med högst uppmätt BC-halt innehöll 0,94 % BC. Det prov med lägst uppmätt BC-halt innehöll 0,34 % BC. BC-haltens variation går att dela in i sektioner efter de trender som resultaten visar.

Det översta provet visar en låg BC-halt på 0,45 %. Lagren, som provet är taget ur, är tydligt varviga och

cirka 4–5 mm mäktiga. Lagren har inte kompakterats som underliggande lager vilket gör att de har en låg densitet på 0,01 g/cm³. Medeldensiteten av resterande lager är tre till fyra gånger högre.

BC-halten är högre mellan 2–8 cm djup. På bilden syns att årslagren har kompakterats i intervallet (se figur 4). Varvigheten med tydliga lager finns kvar, men lagren är cirka två mm tjocka. Lagrens tjocklek ökar i intervallet 8–10 cm till 3–4 mm. Intervallet 8–10 cm har en BC-halt på 0,57 %, lägre än både sedimentet över och under.

BC-halten når en topp mellan 10–15 cm djup, för att sedan långsamt minska till 20 cm djup. Samma intervall visar en tydlig variation i lagertjocklek; vid 12 cm djup är lagren knappt skönjbara, för att successivt öka i tjocklek till 2–3 mm.

Högre BC-halter uppmättes vid 22–33 cm djup, med det högsta värdet 0,94 % vid 31 cm djup. Lagren i intervallet kan inte alltid särskiljas. Proverna i intervallet har dessutom de högsta densiteterna på uppemot 0,05 g/cm³, alltså fem gånger högre än det översta provet.

Vid 35 cm djup börjar en gradvis minskning av BC-halten. Mellan 35 cm och 59 cm djup minskar BC-halten från 0,69 % till 0,39 %. Undantaget för trenden är mätvärdet vid 45 cm djup, vilket är 0,1 procentenheter högre än trenden. Sedimentet mellan 35–59 cm djup är tydligt varvigt och tycks ha jämna tjocklekar, med ett undantag vid 43–45 cm där lagren framstår som en homogen massa.

Den tydliga och jämna varvigheten fortsätter i resten av provet. Enstaka variationer av lagertjocklek förekommer till exempel vid 61 cm, 67 cm och 86 cm djup. BC-halterna varierar mellan 0,34–0,44 % inom intervallet, men visar inga tydliga trender.

BC-halten ger information om hur mängden BC varierar genom borrhöret. För att kunna få bättre förståelse för hur BC-koncentrationen har varierat i miljön behöver BC-halten omvandlas sedan till flux. Fluxen beskriver BC-depositionen i mg/cm²/år (se figur 5).

Fluxen har varierat kraftigt under den undersökta tidsperioden. Det lägsta och högsta värdet är 0,024 respektive 0,152 mg/cm²/år. Det lägsta värdet är daterat till 1599 och föregås av minskande värden under 1500-talet. Under större delen av 1600-talet är fluxen relativt stabil, innan en långsam ökning börjar vid sekelskiftet 1600–1700.

Ökningen är gradvis och fortsätter utan större variationer till 1850. Från 1850 ändras trenden till en exponentiell ökning vilken fortsätter till den absoluta toppen 1991. Från 1991 vänder trenden till att bli snabbt avtagande, bortsett från ett värde som tyder på en ökning i flux.

Tabell 1. Tabellen visar resultaten från referensproverna med medelhalt och standardavvikelse. Publicerade värde för materialen är inkluderade.

Värden i procent	B2150	B2152	NIST1944	SRM2975
Uppmätta värden	7,26 ± 0,05	1,49 ± 0,08	0,90 ± 0,08	69,21 ± 0,48
Publicerat värde	7,45 ± 0,14	1,44 ± 0,08	0,66 ± 0,16 0,8 ± 0,2	68,2 ± 0,9

4. Diskussion

4.1 Resultatens säkerhet

Mätresultaten framstår som rimliga vid jämförelse med resultat från liknande undersökning (Ruppel et al., 2015). Materialets låga densitet skapade ursprungligen en osäkerhet i huruvida provernas BC-värden skulle vara mätbara eller döljas av bakgrundshalten av BC. Detta då provernas absoluta BC-mängd riskerade att inte överstiga detektionsgränsen. De uppmätta värdena överstiger avsevärt bakgrundshalten av BC.

Borrkärnans översta prov bör dock bortses från. Detta då provet vid upptagning av borrkärnan utgjorde sjöbotten. Materialet i provet var därför inte kompakterat, vilket i förlängningen gör densitetsberäkningen osäker. Provets BC-halt avviker dessutom anmärkningsvärt från uppmätta halter från övriga prover. Därför kommer ingen vikt läggas i det översta provet i resterande del av diskussionen.

Att verkliga densitetsdata saknas behöver tas i beaktning vid analys av flux. Sedimentationstakten mellan 1600–1880 uppvisar nästintill ingen variation. Den jämna sedimentationstakten är troligtvis ett resultat av dateringen.

De översta 33 cm av kärnan har daterats med ^{210}Pb vilket har en god precision. I större delen av samma intervall finns även väl synliga årsvarv med vilka ^{210}Pb -dateringarna har kunnat korreleras. Från 33 cm djup sker datering i stället med ^{14}C (Hertzman, 2021). ^{14}C -datering medför en större osäkerhet än ^{210}Pb . Datering av de understa 58 cm har därför utöver ^{14}C -datering tagits fram med hjälp av statistiska modeller. De statistiska modellerna medför en linjär kronologi av kärnans understa del. Detta då modellen inte tar hänsyn till eventuella variationer i sedimentationstakt.

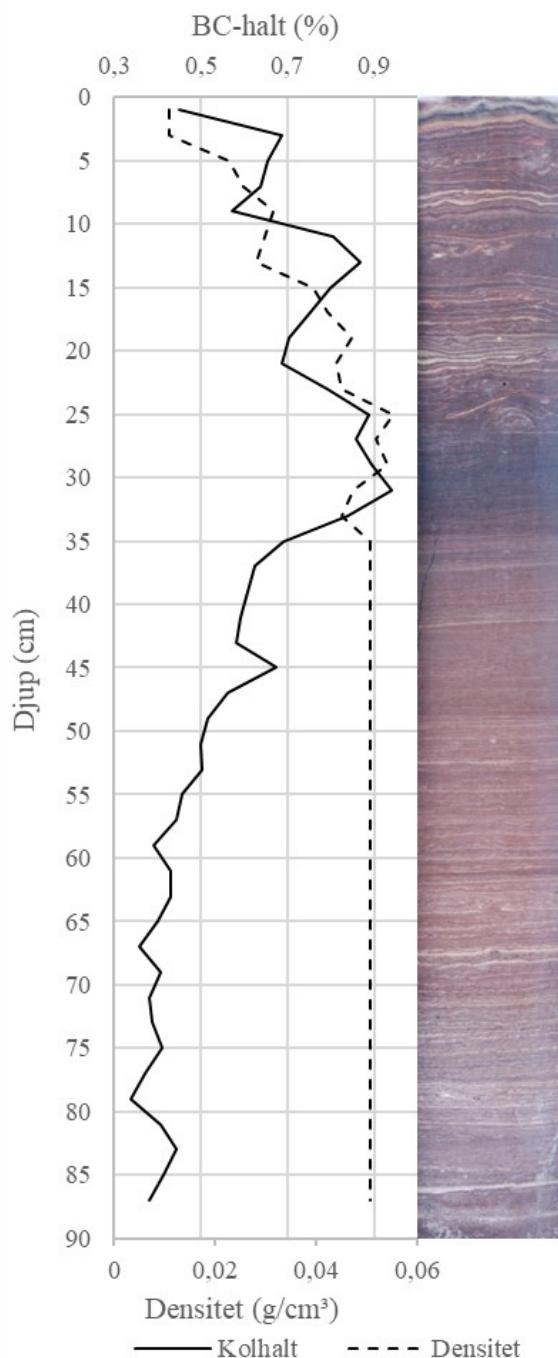
Ytterligare faktorer bör tas i beaktning. Fluxkurvans nedgång under 1500-talet är med stor sannolikhet en artefakt av den genomsnittliga densitet som används för prover från före 1880. I stället för att visa en minskning i flux visar kurvan troligtvis en ökning i densitet som på grund nämnda antaganden felrepresenteras.

Dessa faktorer bör tas i beaktning vid analys av fluxen före år 1880, då den beräknats både utifrån den genomsnittliga densiteten och den linjära kronologin. Till exempel bör fluxens nedgång under 1500-talet tolkas som en direkt effekt av förändring i den uträknade sedimentationstakten snarare än en representation av verkliga förändringar. Detta då det inte finns någon rimlig förklaring till en liknande nedgång i flux under 1500-talet.

Sedimentationstakten och kronologin har dock, som konstaterats, god säkerhet efter år 1880. Likaså har BC-halterna god säkerhet med undantag för det översta provet. Därför kan flera slutsatser dras från resultaten.

Bland annat så visar BC-haltskurvan intressanta variationer som kan kopplas till samhällsutvecklingen. I relation till provernas djup visar kurvan de högsta halterna vid 20–35 cm djup, eller motsvarande år 1870–1960. Genom jämförelse med fluxkurvan för samma period kan det dock konstateras att de höga kolhalterna snarare beror på sedimentologiska fak-

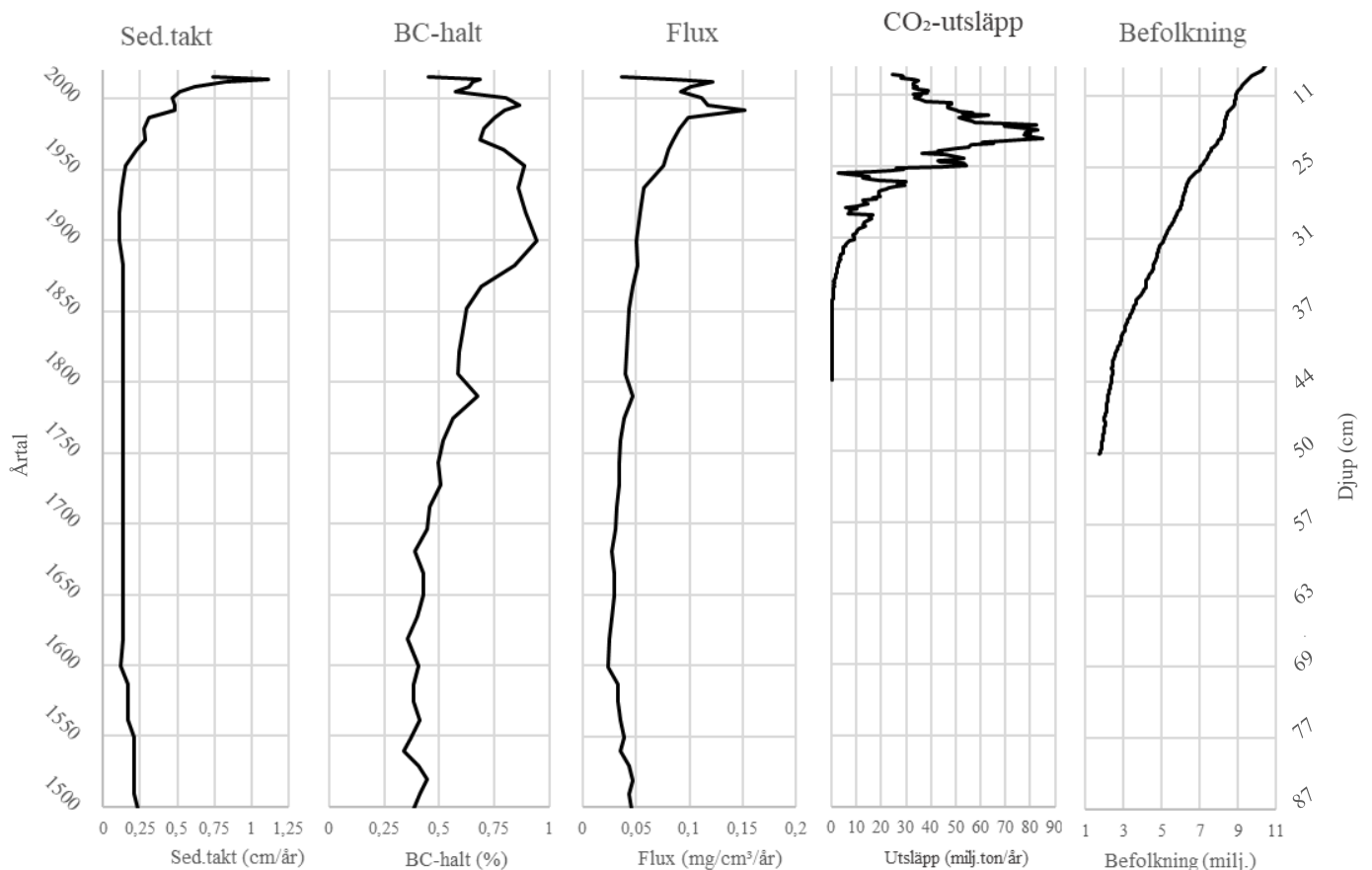
Densitet och BC-halt



Figur 4. Figuren visar provernas BC-halt och densitet mot tid. En bild på lagerföljden illustrerar skillnader i kärnan.

torer. De höga kolhalterna sammanfaller med ett intervall med hög densitet och utan synlig varvighet. Om samma resonemang appliceras på liknande anomalier i kolhaltskurvan så kan antaganden om densitet göras även där densitetsdata saknas.

Vid 45 cm djup, vilket motsvarar en period runt 1780, syns en markant ökning i kolhalt. Borrkärnan visar dock samma brist på årsvarv och en mörkare färg som vid intervall med högre densitet. Ökningen vid



Figur 5. Figuren visar data om sedimentationstakt, BC-halt, flux, CO₂-utsläpp samt Sveriges befolkning över tid, samt relativt till borrhärens djup.

45 cm djup, tillsammans med liknande anomalier vid exempelvis 54, 59 samt 67 cm djup, förklaras därför bättre med densitetsförändringar än förändring i BC-halter och dess avsättning (se figur 5).

4.2 Flux

Om anomalier, som kan förknippas med densitetsförändringar, bortses från ur fluxkurvan kvarstår en svagt ökande trend från 1600-talets början. Ökningen övergår till att bli exponentiell vid 1850. Från 1850 kan den exponentiella ökningen förklaras med ökade utsläpp i samband med förbränning av fossila bränslen, för vilka CO₂ är en proxy. Vid jämförelse med Sveriges CO₂-utsläpp för samma period (Kander & Lindmark, 2004) så kan det konstateras att kurvorna har många likheter. Med undantag för utsläppsminskningarna i samband med de två världskrigen så visar kurvorna liknande amplitud och trend.

Omfattningen av CO₂-data är begränsad till en period mellan 1800–2015 vilket innebär att ingen jämförelse kan göras mellan flux och CO₂-utsläpp före perioden. Under 1800-talet första hälft var svenska CO₂-utsläpp dock begränsade och utan större förändring vad gäller mängd. Med tanke på den svenska industrins utveckling kan det antas att inga större mängder CO₂ släpptes ut före 1800 (Schon & Krantz, 2012). Likväl visar fluxkurvan en stadigt ökande trend från år 1600 som inte nödvändigtvis kan förklaras med densi-

tetskillnader. Ytterligare förklaring krävs för denna tidiga ökning.

BC har sitt ursprung inte bara i förbränning av fossila bränslen, utan även i förbränning av biomassa. Ökningen i flux mellan 1600–1850 kan därför återspegla en ökad småskalig förbränning av biomassa i samband med en befolkningsökning. Sveriges befolkning har ökat stadigt sedan 1700-talet (SCB, 2022). En ökning i befolkning medför en proportionell ökning i antal hushåll och i förlängningen vedeldning, svedjebbruk och andra aktiviteter som innebär förbränning av biomassa. Ett rimligt antagande är att denna ökning avspeglas i atmosfärisk BC-halt, och därför kan förklara den ökande fluxen före CO₂-utsläppens ökning. En annan möjlig förklaring är BC-avsättning från partiklar som transporterats från kontinenten. Som tidigare konstaterat är långväga transport av BC-partiklar möjlig och de avsatta partiklarna kan därför ha ursprung i länder vars industrialisering påbörjades före Sveriges (Landes, 2003).

Den senaste ökningen i flux kan dock inte förklaras med varken en ökande befolkning eller förbränning av fossila bränslen. Om den sista mätningen i fluxkurvan bortses från, i och med dess osäkerhet, så visar kurvan en tydlig ökning sedan millennieskiftet. Samma ökning har konstaterats i BC-undersökningar från andra platser (Ruppel et al., 2015). En troligare anledning än ökade utsläpp från fossila bränslen är en ökande förbränning av biomassa. En omställning till fossilfria bränslen kan ha orsakat en ökning av BC-

utsläpp genom förbränning av biomassa, till exempel från värmekraftverk som drivs med biomassa (Hansen & Berlina, 2018).

4.3 Transport och atmosfärisk livslängd

Ovanstående resonemang bygger på antagandet att det avsatta kolet har lokalt eller regionalt ursprung. Det har tidigare konstaterats att atmosfäriskt BC kan vara luftburet i flera dagar och vindtransporteras över hundratal kilometer (Cape et al., 2012).

Materialet i Odensjön kan därför ha annat ursprung än lokalt eller regionalt. Jämförelse med svensk industri- och befolkningsutveckling kan i förlängningen vara missvisande. Utan att undersöka partiklarna i sig är det dock inte möjligt att bestämma partiklarnas ursprung och på så vis har de lika troligt ursprung i svensk samhällsutveckling, med vilken de har korrelerats ovan.

4.4 Närhet till Vavihills mätstation

Odensjön är väl lämpad för den här typen av undersökning. Sjöns material har gett goda resultat i den del av materialet som har daterats och testats. Sjön har ytterligare en fördel i sin närhet till mätstationen Vavihill. Vavihill har mätt atmosfäriskt BC under senare delen av 2010-talet (SMHI, 2022). Dessvärre var inte kärnans resultat från det överlappande året tillförlitligt. Ytterligare sediment har dock avsatts på Odensjöns botten sedan den undersökta kärnan togs upp. En ny borrhärla med nya mätningar från sjön hade med stor sannolikhet gett bättre information om sjöns BC-flux från samma tid som Vavihills atmosfäriska mätningar gjordes. Förhoppningsvis hade sådana resultat möjliggjort korrelation mellan atmosfäriska data och BC-flux från sedimenten. Korrelation mellan atmosfäriska data och historisk BC-flux hade tillåtit vidare analys och djupare förståelse för historiska atmosfäriska BC-halter.

5. Slutsatser

Undersökningen och analysen har tillåtit att flera slutsatser kunnat dras. Vissa av slutsatserna resulterar också i förslag på fortsatt undersökningar:

- Agharwal och Buchelis (2011) variant av CTO-375 kan användas för kvantifiering av BC i sediment även när sedimentets densitet förhindrar att använda den rekommenderade provmängden. Det förutsätter dock att BC-halten är tillräckligt hög i sedimentet.
- Det är stor skillnad mellan BC-halt i sedimentet och BC-flux. Utan att beräkna BC-flux kan man inte med säkerhet konstatera något om avsättningen. Beräkningen av flux begränsades i studien av tillgängliga densitetsmätningar. Därför rekommenderas att hela kärnans densitet bestäms. Då kan mer välgrundade slutsatser även dras om tidigare BC-flux i Odensjön.
- Utan att veta vilket ursprung BC i borrhärlan har kan bara begränsade slutsatser dras. För att kunna vidareutveckla diskussionen kring vilka

processer som orsakat föroreningarna måste partiklarna undersökas i detalj. Vidare undersökning av partiklarnas morfologi rekommenderas därför. Genom att klassificera partiklarna efter morfologi kan slutsatser om deras ursprung dras.

- Partiklarna har ett process- och materialmässigt ursprung, men även ett geografiskt ursprung. Om partiklarnas fysiska egenskaper, som till exempel storlek, bestäms så kan eventuellt användning av vädermodeller ge information om deras geografiska ursprung. Om den informationen går att ta fram kan processerna som styr spridning av BC, och i förlängningen dess miljöpåverkan, utvärderas.

6. Tack

Först och främst vill jag framföra ett stort tack till min handledare Karl Ljung. Inte bara för din vägledning och expertis, utan även för att du har väckt mitt intresse för ämnet. Din handledning har varit ovärderlig.

Jag vill även tacka Lasse för hjälp med korrekturläsning. Dina synpunkter om ämnet och kvartärgeologins roll har varit motiverande.

Sist men absolut inte minst vill jag tacka min familj för stöd och korrekturläsning. Ni kan den här texten bättre än jag vid det här laget.

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>
- Andreae, M. O., & Gelencsér, A. (2006). Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6(10), 3131-3148. <https://doi.org/10.5194/acp-6-3131-2006>
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Karcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., . . . Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 118(11), 5380-5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- Brauer, A. (2001, Sep 26). Annually laminated lake sediments and their palaeoclimatic relevance. Gkss School of Environmental Research [Climate in historical times: Towards a synthesis of holocene proxy data and climate models]. KIHZ Meeting 2001, Wilhelmshaven, GERMANY.
- Bycenkiene, S., Ulevicius, V., & Kecorius, S. (2011). Characteristics of black carbon aerosol mass concentration over the East Baltic region from two-year measurements. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(4), 1027-1038. <https://doi.org/10.1039/c0em00480d>
- 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>
- Damber, M. (2020). A palaeoecological study of the establishment of beech forest in Söderåsen National Park, Sweden (Publication Number 608) Lund University]. Dissertations at Lund University. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9033035>
- Elemental Microanalysis. (u.å.-a). Certificate of Analysis - High organic sediment Standard - B2150. In: Elemental Microanalysis. (u.å.-b). Certificate of Analysis - Low organic content soil standard - B2152. In.
- Goldberg, E. D. (1985). Black carbon in the environment. John Wiley & Sons.
- Google. (2022). Google Earth. In Google Earth: Google.
- 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/10.1029/2000gb001380>
- Hammes, K., Schmidt, M. W. I., Smernik, R. J., Currie, L. A., Ball, W. P., Nguyen, T. H., Louchouart, P., Houel, S., Gustafsson, O., Elmquist, M., Cornelissen, G., Skjemstad, J. O., Masiello, C. A., Song, J., Peng, P. a., Mitra, S., Dunn, J. C., Hatcher, P. G., Hockaday, W. C., . . . Ding, L. (2007). Comparison of quantification methods to measure fire-derived (black/elemental) carbon in soils and sediments using reference materials from soil, water, sediment and the atmosphere. *Global Biogeochemical Cycles*, 21(3), Article Gb3016. <https://doi.org/10.1029/2006gb002914>
- Hansen, A. C., & Berlina, A. (2018). Bioenergy Development in Sweden - Frameworks for Success. In W. L. Filho (Ed.), *Towards a Sustainable Bioeconomy: Principles, Challenges and Perspectives*. Springer International Publishing AG. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-73028-8_23
- Hertzman, H. (2021). Odensjön - A new varved lake sediment record from southern Sweden (Publication Number 611) Lund University]. Dissertations in Geology at Lund University. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9050993>
- Holanda, B. A., Pohlker, M. L., Walter, D., Saturno, J., Sorgel, M., Ditas, J., Ditas, F., Schulz, C., Franco, M. A., Wang, Q. Q., Donth, T., Artaxo, P., Barbosa, H. M. J., Borrmann, S., Braga, R., Brito, J., Cheng, Y. F., Dollner, M., Kaiser, J. W., . . . Pohlker, C. (2020). Influx of African biomass burning aerosol during the Amazonian dry season through layered transatlantic transport of black carbon-rich smoke. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(8), 4757-4785. <https://doi.org/10.5194/acp-20-4757-2020>
- Jacobson, M. Z. (2001). Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 409(6821), 695-697. <https://doi.org/10.1038/35055518>
- Janssen, N. A. H., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., van Bree, L., ten Brink, H., Keuken, M., Atkinson, R. W., Anderson, H. R., Brunekreef, B., & Cassee, F. R. (2011). Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5. *Environmental Health Perspectives*, 119(12), 1691-1699. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003369>
- Kander, A., & Lindmark, M. (2004). Energy consumption, pollutant emissions and growth in the long run: Sweden through 200 years. *European Review of Economic History*, 8, 297-335. <https://doi.org/10.1017/s1361491604001224>
- Landes, D. S. (2003). The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511819957>
- Lantmäteriet. (2022). Min karta. In: minkarta.lantmateriet.se: Lantmäteriet.
- Länsstyrelsen. (2022). Söderåsens nationalpark. Länsstyrelsen Skåne. Retrieved 2022-05-16 from <https://www.lansstyrelsen.se/skane/besoksmal/nationalparker/soderasens-nationalpark.html?sv.target=12.382c024b1800285d5863a89a&sv.12.382c024b1800285d5863a89a.route=/&search-String=&counties=&municipalities=&reserveType=s=&natureTypes=&facilities=>
- Ramanathan, V., & Carmichael, G. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*, 1(4), 221-227. <https://doi.org/10.1038/ngeo156>
- Rapp, A. (1984). Nivation Hollows and Glacial Cirques in Söderåsen, Scania, South Sweden [research-article]. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 66(1/2), 11-28. <https://doi.org/10.2307/520937>
- Ruppel, M. M., Gustafsson, O., Rose, N. L., Pesonen, A., Yang, H., Weckstrom, J., Palonen, V., Oinonen, M. J., & Korhola, A. (2015). Spatial and Temporal Patterns in Black Carbon Deposition to Dated Fennoscandian Arctic Lake Sediments from 1830 to 2010. *Environmental Science & Technology*, 49(24), 13954-13963. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01779>
- SCB. (2022). Befolkningsutveckling 1749-2021. In [be0101_tab9utv1749-2021](https://www.scb.se) (Ed.). scb.se: SCB.
- Schon, L., & Krantz, O. (2012). The Swedish economy in the early modern period: constructing historical national accounts. *European Review of Economic History*, 16, 529-549. <https://doi.org/10.1093/ereh/hes015>
- SMHI. (2022). Datavärdskaap luft. Retrieved 2022-05-17 from <https://datavardluft.smhi.se/portal/yearly-statistics?M=1214&S=106&P=391&vs=0:0:0:161:0:0:0>

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

579. Eggert, David, 2019: Using Very-Low-Frequency Electromagnetics (VLF-EM) for geophysical exploration at the Albertine Graben, Uganda - A new CAD approach for 3D data blending. (45 hp)
580. Plan, Anders, 2020: Resolving temporal links between the Högberget granite and the Wigström tungsten skarn deposit in Bergslagen (Sweden) using trace elements and U-Pb LA-ICPMS on complex zircons. (45 hp)
581. Pilser, Hannes, 2020: A geophysical survey in the Chocaya Basin in the central Valley of Cochabamba, Bolivia, using ERT and TEM. (45 hp)
582. Leopardi, Dino, 2020: Temporal and genetical constraints of the Cu-Co VenaDampetorp deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hp)
583. Lagerstam Lorient, Clarence, 2020: Neck mobility versus mode of locomotion – in what way did neck length affect swimming performance among Mesozoic plesiosaurs (Reptilia, Sauropterygia)? (45 hp)
584. Davies, James, 2020: Geochronology of gneisses adjacent to the Mylonite Zone in southwestern Sweden: evidence of a tectonic window? (45 hp)
585. Foyn, Alex, 2020: Foreland evolution of Blåisen, Norway, over the course of an ablation season. (45 hp)
586. van Wees, Roos, 2020: Combining luminescence dating and sedimentary analysis to derive the landscape dynamics of the Velická Valley in the High Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
587. Rettig, Lukas, 2020: Implications of a rapidly thinning ice-margin for annual moraine formation at Gornergletscher, Switzerland. (45 hp)
588. Bejarano Arias, Ingrid, 2020: Determination of depositional environment and luminescence dating of Pleistocene deposits in the Biely Váh valley, southern foothills of the Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
589. Olla, Daniel, 2020: Petrografisk beskrivning av Prekambriska ortognejser i den undre delen av Särviskollan, mellersta delen av Skollenheten, Kaledonska orogenen. (15 hp)
590. Friberg, Nils, 2020: Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen? (15 hp)
591. Brakebusch, Linus, 2020: Klimat och väder i Nordatlanten-regionen under det senaste årtusendet. (15 hp)
592. Boestam, Max, 2020: Stränder med erosion och ackumulering längs kuststräckan Trelleborg - Abbecks under perioden 2007 -2018. (15 hp)
593. Agudelo Motta, Laura Catalina, 2020: Methods for rockfall risk assessment and estimation of runout zones: A case study in Gothenburg, SW Sweden. (45 hp)
594. Johansson, Jonna, 2020: Potentiella nedslagskratrar i Sverige med fokus på Östersjön och östkusten. (15 hp)
595. Haag, Vendela, 2020: Studying magmatic systems through chemical analyses on clinopyroxene - a look into the history of the Teno ankaramites, Tenerife. (45 hp)
596. Kryffin, Isidora, 2020: Kan benceller bevaras över miljontals år? (15 hp)
597. Halvarsson, Ellinor, 2020: Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden. (15 hp)
598. Jirdén, Elin, 2020: Kustprocesser i Arktis – med en fallstudie på Prins Karls Forland, Svalbard. (15 hp)
599. Chonewicz, Julia, 2020: The Eemian Baltic Sea hydrography and paleoenvironment based on foraminiferal geochemistry. (45 hp)
600. Paradeisis-Stathis, Savvas, 2020: Holocene lake-level changes in the Siljan Lake District – Towards validation of von Post’s drainage scenario. (45 hp)
601. Johansson, Adam, 2020: Groundwater flow modelling to address hydrogeological response of a contaminated site to remediation measures at Hjortsberga, southern Sweden. (15 hp)
602. Barrett, Aodhan, 2020: Major and trace element geochemical analysis of norites in the Hakefjorden Complex to constrain magma source and magma plumbing systems. (45 hp)
603. Lundqvist, Jennie, 2020: ”Man fyller det med information helt enkelt”: en fenomenografisk studie om studenters upplevelse av geologisk tid. (45 hp)
604. Zachén, Gabriel, 2020: Classification of four mesosiderites and implications for their formation. (45 hp)
605. Viðarsdóttir, Halla Margrét, 2020: Assessing the biodiversity crisis within the Triassic-Jurassic boundary interval using redox sensitive trace metals and stable carbon isotope geochemistry. (45 hp)
606. Tan, Brian, 2020: Nordvästra Skånes prekambriiska geologiska utveckling. (15 hp)
607. Taxopoulou, Maria Eleni, 2020: Metamorphic micro-textures and mineral assemblages in orthogneisses in NW Skåne – how do they correlate with technical properties? (45 hp)
608. Damber, Maja, 2020: A palaeoecological study of the establishment of beech forest in Söderåsen National Park, southern Sweden. (45 hp)
609. Karastergios, Stylianos, 2020: Characterization of mineral parageneses and metamorphic textures in eclogite- to highpressure granulite-facies marble at Allmenningen, Roan, western

- Norway. (45 hp)
610. Lindberg Skutsjö, Love, 2021: Geologiska och hydrogeologiska tolkningar av SkyTEM-data från Vombsänkan, Sjöbo kommun, Skåne. (15 hp)
611. Hertzman, Hanna, 2021: Odensjön - A new varved lake sediment record from southern Sweden. (45 hp)
612. Molin, Emmy, 2021: Rare terrestrial vertebrate remains from the Pliensbachian (Lower Jurassic) Hasle Formation on the Island of Bornholm, Denmark. (45 hp)
613. Höjbert, Karl, 2021: Dendrokronologi - en nyckelmetod för att förstå klimat- och miljöförändringar i Jämtland under holocen. (15 hp)
614. Lundgren Sassner, Lykke, 2021: A Method for Evaluating and Mapping Terrestrial Deposition and Preservation Potential for Palaeostorm Surge Traces. Remote Mapping of the Coast of Scania, Blekinge and Halland, in Southern Sweden, with a Field Study at Dalköpinge Ängar, Trelleborg. (45 hp)
615. Granbom, Johanna, 2021: En detaljerad undersökning av den mellanordoviciska "furudalkalkstenen" i Dalarna. (15 hp)
616. Greiff, Johannes, 2021: Oolites from the Arabian platform: Archives for the aftermath of the end-Triassic mass extinction. (45 hp)
617. Ekström, Christian, 2021: Rödfärgade utfällningar i dammanläggningar orsakade av *G. ferruginea* och *L. ochracea* - Problemstatistik och mikrobiella levnadsförutsättningar. (15 hp)
618. Östsjö, Martina, 2021: Geologins betydelse i samhället och ett första steg mot en geopark på Gotland. (15 hp)
619. Westberg, Märta, 2021: The preservation of cells in biomineralized vertebrate tissues of Mesozoic age – examples from a Cretaceous mosasaur (Reptilia, Mosasauridae). (45 hp)
620. Gleisner, Lovisa, 2021: En detaljerad undersökning av kalkstenslager i den mellanordoviciska gullhögenformationen på Billingen i Västergötland. (15 hp)
621. Bonnevier Wallstedt, Ida, 2021: Origin and early evolution of isopods - exploring morphology, ecology and systematics. (15 hp)
622. Selezneva, Natalia, 2021: Indications for solar storms during the Last Glacial Maximum in the NGRIP ice core. (45 hp)
623. Bakker, Aron, 2021: Geological characterisation of geophysical lineaments as part of the expanded site descriptive model around the planned repository site for high-level nuclear waste, Forsmark, Sweden. (45 hp)
624. Sundberg, Oskar, 2021: Jordlagerföljden i Højeådal utifrån nya borrhningar. (15 hp)
625. Sartell, Anna, 2021: The igneous complex of Ekmanfjorden, Svalbard: an integrated field, petrological and geochemical study. (45 hp)
626. Juliusson, Oscar, 2021: Implications of ice-bedrock dynamics at Ullstorp, Scania, southern Sweden. (45 hp)
627. Eng, Simon, 2021: Rödslam i svenska kraftdammar - Problematik och potentiella lösningar. (15 hp)
628. Kervall, Hanna, 2021: Feasibility of Enhanced Geothermal Systems in the Precambrian crystalline basement in SW Scania, Sweden. (45 hp)
629. Smith, Thomas, 2022: Assessing the relationship between hypoxia and life on Earth, and implications for the search for habitable exoplanets. (45 hp)
630. Neumann, Daniel, 2022: En mosasaurie (Reptilia, Mosasauridae) av paleocensk ålder? (15 hp)
631. Svensson, David, 2022: Geofysisk och geologisk tolkning av kritskollors utbredning i Ystadsområdet. (15 hp)
632. Allison, Edward, 2022: Avsättning av Black Carbon i sediment från Odensjön, södra Sverige. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund

