

Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts av ljusexponering under laboratorieförhållanden?

Rebecka Stjern

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 519
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2017

Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts av ljusexponering under laboratorieförhållanden?

Kandidatarbete

Rebecka Stjern

Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts av ljusexponering
under laboratorieförhållanden?

Geologiska institutionen

Lunds universitet

2017

Innehåll

1 Introduktion	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte och frågeställningar	7
2 Teori	7
2.1 Luminiscensdatering	7
2.3 Optisk stimulerad luminiscens (OSL).....	7
2.4 SAR – <i>Single Aliquot Regenerate dose</i>	8
2.5 Faktorer som påverkar nollställning av luminiscenssignaler	8
3. Material och metod	9
3.1 Sedimentprover	9
3.2 Ljuskällor	10
3.3. Experiment	10
3.4 Spektrometermätning	11
3.5 OSL-analys	11
4. Resultat	12
5. Diskussion	13
6. Slutsatser	14
7.Tack	15
8. Referenser	15
Bilaga 1	16
Bilaga 2	17

Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts av ljusexponering under laboratorieförhållanden?

REBECKA STJERN

Stjern, R., 2017: Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts av ljusexponering under laboratorieförhållanden?. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 519, 17 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Luminiscensdatering är ett viktigt verktyg inom geologin för att tidsbestämma geologiska avsättningsprocesser i jordens historia. Grundförutsättningen för en korrekt datering är att luminiscenssignalen genererad från ett mineral nollställs vid kontakt med solljus. Vid insamling och preparering av provmaterial är det därför av yttersta vikt att ingen ljusexponering inträffar som eventuellt nollställer luminiscenssignalerna innan dateringen. Syftet är att undersöka hur luminiscenssignalen från kvarts påverkas med avseende på förändringar av den naturliga dosen efter kvartsen utsatts för olika artificiella ljuskällor i laboratoriemiljö. Genom att fastställa hur lång ljusexponering samt vilken intensitet som krävs för en eventuell försämring av provresultaten. Studien baserades på tre prover av kvarts med material från en flygsanddyn, ett islävsdelta och en fluvialavsättning. Experimenten utfördes genom att exponera proverna för lysrörsbelysning, ljusinsläpp från dörr, ljus alstrat från datorskärm och mörkrumsbelysning under olika lång tid. Proverna analyserades därefter med optiskt stimulerad luminiscens (OSL) för att se förändringar av den naturliga dosen. Resultatet visar att en stor del av luminiscenssignalerna kvarstår för exponeringstider under 60 sekunder för samtliga ljuskällor. Den ljuskälla som påverkar proverna mest konstaterades vara lysrörsbelysningen där de kvarvarande signalerna ligger på $6,4 \pm 0,6$ Gy, $6,8 \pm 0,8$ Gy och $9,9 \pm 0,3$ Gy (~ 5 % av ursprungsdosen) efter 15 minuters exponeringstid. Ljus med högre intensitet har större påverkan och exponeringstider över 60 sekunder krävs för en påtaglig effekt i nollställningen av luminiscenssignalen genererad från kvarts. Utifrån de erhållna resultaten kan det konstateras att oavsiktlig ljusexponering under laboratoriemomentet leder till en viss påverkan av den naturliga dosen och således en försämring av provresultaten med avseende på felbedömningar av åldern på det avsatta sedimentet.

Nyckelord: Luminiscensdatering, Optisk stimulerad luminiscens (OSL), kvarts, luminiscenssignaler, blekning

Handledare: Helena Alexanderson

Ämnesinriktning: Kwartärgeologi

Rebecka Stjern Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: rebecka.stjern@hotmail.com

How are luminescence signals from quartz affected by light exposure under laboratory conditions?

REBECKA STJERN

Stjern, R., 2017: How are luminescence signals from quartz affected by light exposure under laboratory conditions? *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 519, 17 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: Luminescence dating provides an important tool in geology to reconstruct geological depositions events in the Earth's past. The basic assumption for a reliable dating is that luminescence generated from minerals resets at the time when it was last exposed to sunlight. The accuracy and precision of luminescence dating is therefore strongly dependant on preparation of the sediment to be in dark conditions. If the minerals are exposed to light before the analysis, there is a chance of releasing the stored energy and thus resetting the luminescence signal. The aim is to observe the effect of luminescence signals from quartz in response to change in the natural dose after exposure to artificial light in a laboratory. By determining the time for exposure and which intensity required for a possible effect on the test result. This study has been based on three quartz samples originating from an aeolian-, a glaciofluvial delta- and a fluvial deposition. The experiments were performed by exposing the quartz samples to fluorescent lighting, light inlet from a door, light generated from a computer screen and dark room lighting with different times of exposure. The samples have been analyzed with optically stimulated luminescence (OSL) to observe changes in the natural dose. The result shows that a large part of the luminescence signals remains for exposure times shorter than 60 seconds for all light sources. The light source which affects the samples the most was found to be the fluorescent lighting, where the remaining signals are $6,4 \pm 0,6$ Gy, $6,8 \pm 0,8$ Gy and $9,9 \pm 0,3$ Gy (~ 5 % remaining signal) after 15 minutes of exposure. Light with more intensity affects luminescence signals more than light with lower intensity. Exposure times over 60 seconds are required to significantly affect the resetting of the luminescence signal generated by quartz. Based on the obtained results, an assumption is that unintentional exposure to light in the luminescence laboratory leads to a certain effect on the signal, and thus a possible misjudging of the test results through incorrect estimates of the age of the deposited sediment.

Keywords: : Luminescence dating, optically stimulated luminescence (OSL), quartz, luminesces signals, bleaching

Supervisor(s): Helena Alexanderson

Subject: Quaternary Geology

Rebecka Stjern, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: rebecka.stjern@hotmail.se

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Luminiscensdatering är en väl använd metod inom såväl arkeologi som geologi och är applicerbar på vanligt förekommande mineral som kvarts och fältspater vilka har egenskapen att sända ut luminiscens. Metoden är användbar på sedimentära avlagringar och är framförallt lämpad för material innehållande kvartskorn. Det är en metod som kan tillämpas på många olika material och ger möjlighet att åldersbestämma i intervallet 10 - 200 000 år (Duller 2008). Luminiscensdatering ger en betydande möjlighet att precist fastställa sedimentära avlagringars ålder och därmed möjligheter att rekonstruera paleomiljöer.

Optisk stimulerad luminiscens (OSL) är en metod som introducerades av Huntley et al. (1985). Metoden visade sig vara mycket lämpad för sedimentdatering och är idag en vitt erkänd metod (Huntley et al. 1985; Godfrey-Smith et al. 1988; Aitken 1998). OSL baseras på att mineral vid kortare exponering av solljus nollställs, en process även kallad blekning. Händelsen som dateras är således sista tillfället kornet var i kontakt med solljus (Huntley et al. 1985). För att metoden skall fungera korrekt och en pålitlig ålder erhållas är det därför en förutsättning att materialet som skall dateras inte utsätts för ljus under insamling eller preparering. Det grundläggande antagandet är att luminiscenssignalen nollställs av solljus då sedimentet avsätts. De ljuskänsliga elektronerna måste således förbli opåverkade innan OSL-mätningar utförs. Där med finns ett potentiellt problem i att mineralkornen i provet oavsiktligt nollställs vid kontakt med ljus under laborationsmomentet.

En god förståelse av hur luminiscenssignaler påverkas av olika ljuskällor, och vilken intensitet samt exponeringstid som krävs för en korrekt datering, är angelägen för att på ett bra sätt kunna arbeta i luminiscenslaboratoriet och erhålla pålitliga resultat från OSL.

Detta projekt undersökte vilken effekt olika artificiella ljuskällor har på luminiscenssignaler genererade från kvarts. Studien baserades på tre kvartsprover med olika geologiskt ursprung vilka analyserades med optiskt stimulerad luminiscens. Resultaten tolkades att sedan i efterbearbetningsprogram.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med kandidatarbetet är att undersöka hur kvartsprovers naturliga dos påverkas efter att de utsätts för olika artificiella ljuskällor och fastställa hur lång ljus-exponering samt vilken intensitet som krävs för en eventuell försämring av provresultaten.

Målet är att besvara dessa frågeställningar:

- Påverkar ljus från datorskärm nollställning av proverna?
- Påverkar mörkrumsbelysning nollställning av proverna?
- Påverkar ljusinsläpp från dörr nollställning av proverna?

- Påverkar ljus från lysrörsbelysning nollställning av proverna?

Då nollställning av proverna beror av våglängd och intensitet från stimulerande ljus antas hypotesen att starkt ljus nollställer signalen och försämrar provresultatet, exempelvis lysrörsbelysning. Svagare ljus, exempelvis mörkrumsbelysning, med ett rött ljusspektrum och mindre energi förmodas inte försämrare provet. Blekningen av proverna antas bli större desto längre proverna exponeras för ljus.

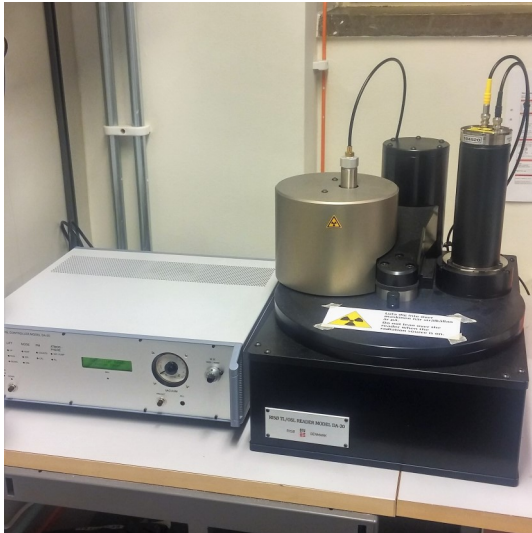
2. Teori

2.1 Luminiscensdatering

Principen bakom luminiscensdatering är att mineral som kvarts och fältspater avger ljus i form av fotoner. Luminiscens kan förklaras som ett materials förmåga att avge ljus. De fotoner som avges har energi vilken lagrats i elektronfällor hos mineralkornets kristallstruktur. Energin utgörs av naturlig strålning från radioaktiva isotoper (uran, torium och kalium) som ger upphov till att elektroner omplaceras och fångas i elektronfällor i kristallstrukturen (Huntley et al. 1985). När mineralkornet exponeras för ljus eller värme antingen naturligt eller artificiellt frigörs de fångade elektronerna igen varvid fotoner sänds ut och när alla elektronfällor tömts nollställs slutligen luminiscenssignalen. För att datera en avsättning mäts antalet fotoner som avges från mineralet som en funktion av en given dos ljus eller värme. Åldern för avsättningen fås genom att dividera mängden absorberad strålning sedan den senaste exponeringen för solljus, den ekvivalenta dosen (D_e) vilken mäts i Gray (Gy), med den naturliga dosraten, bakgrundsstrålningen (Gy/ka) (Duller 2008).

2.3 Optiskt stimulerad luminiscens (OSL)

Denna metoden är en variant av luminiscensdatering där en optisk källa används för att frigöra elektronerna ur sina elektronfällor i kristallstrukturen. OSL-analys utförs genom att maskinen (Figur 1) avger en artificiell stråldos till varje prov baserad på provets naturliga dos, vilket motsvarar mängden absorberad strålningseenergi under avsättningsperioden, för att generera en luminiscenssignal från mineralkornen. Olika våglängder på det stimulerande ljuset tillämpas beroende av vilket mineral som skall analyseras då luminiscenssignalen emitterar i olika ljusspektrum. För kvarts används ett intensivt blått ljus (Rhodes 2011). Som nämnt ovan töms och omplaceras den absorberade energin från den naturliga strålningen i elektronfällor i mineralets kristallstruktur. Då elektronerna töms ur sina fällor uppstår negativt laddade oregelbundenheter, så kallade luminiscenscenter. Dessa blir attraktiva för de fria elektronerna och när elektronerna hamnar i ett av centren avges således luminiscens som respons på ljusstimuleringen. Signalen avtar snabbt till en början för att därefter bromsas upp efterhand som fler elektroner som töms ur hålrummen (Huntley et al. 1985; Rhodes 2011).

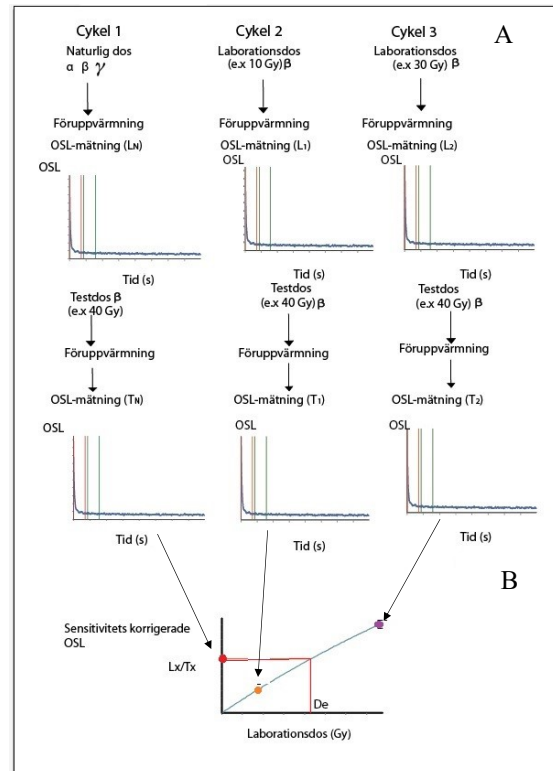


Figur 1. OSL-reader, Risø TL/OSL model DA-20 i Lunds luminiscenslaboratorium. Foto: Rebecka Stjern.

2.4 SAR – Single Aliquot Regenerate dose

Single aliquot regenerate dose protokoll (SAR) tillämpas för att kvalitativt bestämma den ekvivalenta dosen (D_e), den strålningsdos i laboratoriet som krävs för att producera en luminiscenssignal som är ekvivalent med den naturliga dosen absorberad av mineralkornet sedan senaste exponering för solljus eller värme. Då ett prov består av många korn som kan ha olika egenskaper ger dessa avvikelser i mätningarna vilket kan leda till osäkerhet i dateringen till följd av spridda D_e -värden. Vid tillämpning av SAR-protokoll bestäms den ekvivalenta dosen för varje delprov (*aliquot*) istället för hela provet. Vilket gör en väsentlig minskning av problemet eftersom skillnader i sensitivitet kan kontrolleras genom att utnyttja responsignalen från en bestämd testdos för exakt samma delprov (Murray & Wintle 2002, 2003).

Sensitiviteten kan beskrivas som den mängd luminiscens som avges från ett korn eller delprov med många korn i respons på en given stråldos vilken som nämnt ovan varierar med kvartsmineralets egenskaper (Preusser et al. 2009). När upprepade mätningar appliceras för ett enskilt delprov kan man korrigera för sensitivitetsändring över en mätcykel. I första steget hetas provet upp för att få bort ostabila elektroner från grunda elektronfällor med funktionen att endast bevara de elektroner som är stabila över en geologisk tidsperiod. I andra steget (Figur 2 A) ges provet en känd laborationsdos (β -strålning) som varierar för var mätcykel och därefter erhålls en responderande OSL-signal. I tredje steget ges en testdos (β -strålning) vilken är samma för alla mätomgångar, för att kontrollera att ändringar i mätresultaten är desamma för var omgång (Duller 2008). Mätningar av den naturliga dosen korrigeras mot ändringar i sensitiviteten hos luminiscenssignalen genom responsen från testdosen. För varje delprov jämförs tillväxtkurvan för signalen genererad av laborationsdoserna med den naturliga dosen för att fastställa den ekvivalenta dosen (D_e) och på så vis erhålls sensitivitetskorrigerade värden för provet (Figur 2 B) (Murray & Wintle 2000).



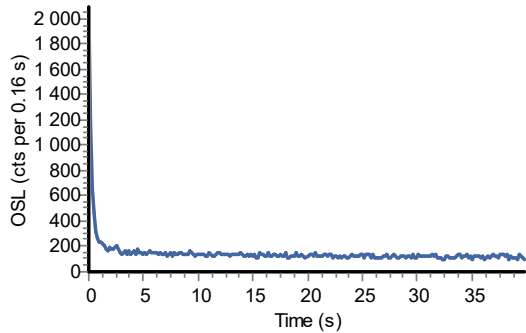
Figur 2. A: Principiellt tillvägagångssätt vid tillämpning av *Single Aliquot Regenerative dose* protokoll.

B: Sensitivitetskorrigerade OSL från den regenererade dosen (L_x) dividerat med (T_x) testdosen. Modifierad från Duller 2008.

2.5 Faktorer som påverkar nollställning av luminiscenssignaler

Nollställningen av kvarts är en komplex process och beror av en mängd olika faktorer som geologisk härkomst, transport, depositionsmiljö, intensitet på ljuset och infallande ljusspektrum samt den tid provet exponerats för ljus eller värme. Vad gäller material som härstammar från olika depositionsmiljöer kan generellt konstateras att eoliskt avsatt material har en mer komplett nollställning än fluvialt. Detta eftersom fluvialt material inte exponeras för ljus med hög energi i samma utsträckning då det kraftigt begränsas av vatten (Singarayer et al. 2005). Kvarts som härstammar från nyligen eroderat material har visat sig alstra en svagare signal och blir därmed relativt svåra att nollställa medan kvarts som transporterats flera gånger exempelvis de från sanddyner genererar en stark signal och snabbare nollställning (Preusser et al. 2009).

Intensiteten på ljuset och infallande ljusspektrum påverkar OSL-signalerna på så vis att korta våglängder med högre fotonenergi ger en snabbare avtagning i intensiteten på luminiscenssignalen. Det leder till olika effektivitet på blekningshastigheten för olika ljuskällor (Singarayer et al. 2005). Godfrey Smith et al. (1988) gjorde försök som visade på en minskning av OSL-signalen till 1% redan efter 10 sekunders exponering av solljus och på en mulen dag visade sig blekningshastigheten vara 10 gånger långsammare. Således kan blekningshastigheten antas vara proportionerlig mot intensiteten på ljuset och därmed långsammare för



Figur 3. Avklingningskurva för OSL-signalen från kvarts vid ljusstimulering med blå LED. Signalen visar en avtagande intensitet med tid för ljusstimulering. Diagram utfört i Risø Luminescence Analyst v 4.31.9.

begränsat/svagt ljus. Även stimulering med blå LED (light emitting diode) medför en minskning av OSL-signalerna vid några sekunders belysning (Figur 3). Generellt uppvisar signalerna en avtrappning i strålningsdos med ökad ljusintensitet och längre exponeringstid. Det som avgör om elektronerna frisläpps ur ljussynpunkt är således energin av ljuset (intensiteten) och exponeringstiden (Spooner 1994; Singarayer & Bailey 2004).

Generellt i inomhusmiljö kan en punktformig ljuskälla antas ha lika emission i alla riktningar och avta omvänt proportionellt mot avståndet (Goetz 1994). Därav är även avståndet en betydande faktor för intensiteten på det stimulerande ljuset. Ljus emitterar i olika delar av ljusspektrumet beroende av våglängd. Det synliga ljuset finns i ett spektrum från violett till rött, där violett har kortast våglängder och därmed störst intensitet. Rött ljus likt de som används i mörkrumsförhållanden har en kortare våglängd och således mindre energi än starkare ljus.

De risker för nollställning som kan uppstå i samband med laboratoriemomentet innefattar ljus från lysrörsbelysning i taket, datorskärmar eller ljusinsläpp till mörkrummet vid exempelvis in- och utgång i laboratoriet. Möjliga konsekvenser av detta är att ljuset orsakar en frisläppning av elektronerna från deras fällor i kristallstrukturen likt vid exponering för solljus. OSL-signalerna från ljuskänsliga elektronfällor kan tömmas från ljus över ett brett ljusspektrum, från violett till nära infrarött (Spooner 1994). I samband med detta finns en potentiell risk för felaktigheter med avseende på ålder om luminiscenssignalerna oavsiktligt nollställs innan analysmomentet (Rhodes 2011).

3. Material och metod

3.1 Sedimentprover

För att utföra de olika experimenten användes sedimentprover av kvarts. Valet av prover gjordes för att testa material med olika geologiskt ursprung beroende på att undersöka eventuella skillnader där. Prover som sedan tidigare analyser visat bra OSL-signalers valdes för att undvika problem med utebliven eller svag luminiscens. Studien baseras på tre kvartsprover (15096, 13039, 13017) från tidigare insamlat och behandlat

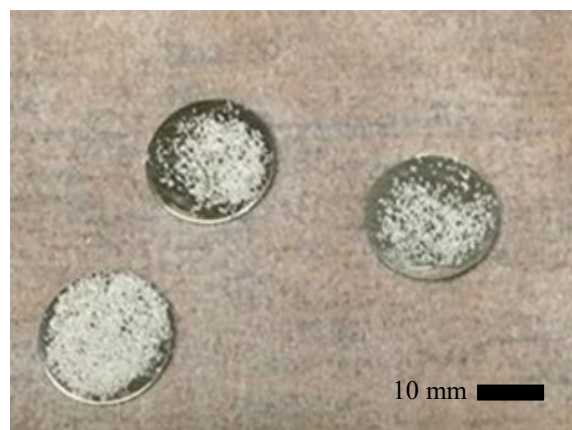
material. Prov 13017 består av material från en flygsanddyn i Starmoen, sydöstra Norge, prov 13039 av material från ett isälvsdelta i Orsa, Dalarna och prov 15096 av material från ett fluvialtsediment i norra Slovakien (Alexanderson & Henriksen 2015; Alexanderson & Bernhardson 2016; Olszak J opubl.).

För kvarts finns det generellt tre signalkomponenter som beskriver OSL-signalen baserat på fotonavgivelsen vid omplaceringen av de tidigare fångade elektronerna i luminiscenscentren; snabb, medel och långsam (Preusser et. al 2009). Fotonavgivelsen är en funktion av intensiteten och våglängden på det stimulerande ljuset, temperaturen och fotojonisationen (jonisering genom verkan av elektromagnetiskstrålning) från elektronfällorna (Jain et al. 2003). Med styrkan för proverna avses intensitet på OSL-signalen (OSL counts per dosrat).

OSL-mätningar på kvartsproverna i denna undersökning visar snabb, svag-medel (13017) -, snabb, mycket stark (13039)-, och ganska snabb-snabb, medel-stark (15096) luminiscenssignal (Alexanderson & Henriksen 2015; Alexanderson & Bernhardson 2016; Olszak J opubl.).

Proverna har sedan tidigare genomgått efterföljande behandling:

- Våtskiktning för att få fram en kornstorlek av 180-250 μm .
- Behandling med 10% HCl för att bli av med karbonater och 10% H₂O₂ för att bli av med organiskt material.
- Densitetsseparering på 2,62 g/cm³ för att separera kvartsen från fältspaten.
- Resterande kvarts har behandlats med 38% HF och ytterligare 10% HCl för att få bort övriga orenheter och fluorider.



Figur 5. Kvarts som placerats på metallbrickor. Foto: Rebecka Stjern.

3.2 Ljuskällor

Tre olika ljuskällor användes för att genomföra studien: lysrör, datorskärm och mörkrumsbelysning. Information om deras ljusegenskaper kommer huvudsakligen från tekniska specifikationer. Försök att bestämma irradiansen på ljuset gjordes med spektrometer (ASD FieldSpec FR) men på grund av tekniska problem vid öppning av datafilerna samt mätning i mörkaförhållanden kunde spektrometer endast användas för lysrörsbelysningen. Fotonenergi har beräknats enligt formlerna i Bilaga 1 för att ta reda på vilken approximativ energi ljuset har.

Lysröret är av märket T5 ECO SAVER HE och har en styrka på 32 W (AuraLight 2014). Utifrån spektromettermätningar uppskattas ljuset bestå av olika våglängder med en dominans i spektrumet 540 och 620 nm med en irradians på 0.06 respektive 0.08 W/m² (Figur 4). Irradiansen i de tekniska specifikationerna (AuraLight 2014) samstämmer med de uppmätta värdena från spektromettermätningen. Fotonenergin beräknas vara 2,3 eV för 540 nm och 2,00 eV för 620 nm (Bilaga 1).

Datorskärmen är av märket Fujitsu L20T-3 LED. I de tekniska specifikationerna kan avläsas att den typiska ljusstyrkan ligger på 250 cd/m² (1 W/cm²/sr = 6,83 x 10⁶ lm/m²/sr vid 555 nm = 683 cd/cm² vid 555 nm). Då candela är ett mått på ljusstyrka baserat på enbart en specifik våglängd (555 nm; där det mänskliga ögat är som mest ljusmottagligt, sr; ljusets vinkel) används spektromettermätningar utförda av Cajochen et al. (2011) på en likadan typ av LED-skärm med

samma ljusstyrka (250 cd/m²) för att se vilka våglängder ljuset emitterar i. Spektromettermätningar visade på dominerande våglängder i ljusspektrumet vid 460 nm, 530 nm och 650 nm.

Fotonenergin beräknas vara 2,68 eV för 460 nm, 2,34 eV för 530 nm och 1,91 eV för 650 nm (Bilaga 1).

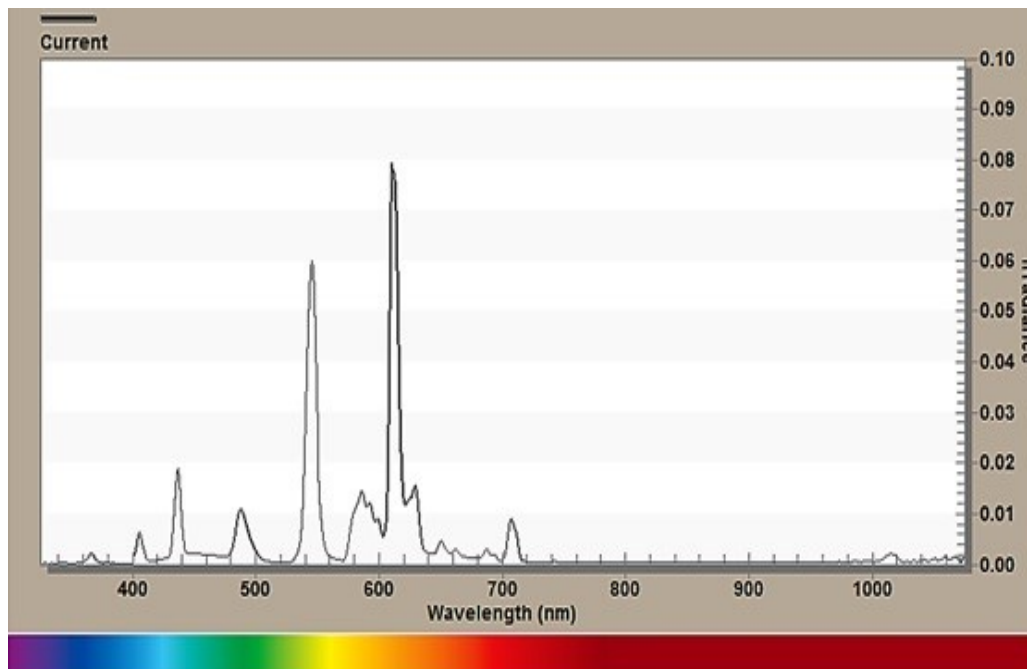
Mörkrumsbelysningen som använts i studien utgörs av en glödlampa med en styrka av 15 watt bakom ett rött transparent glasfilter (Fotokemika zaštitni filter crveni providni C-15). Inga detaljerade tekniska specifikationer för detta har hittats. Filtret har som funktion att hindra ljus med annat ljusspektrum än rött att släppas igenom.

3.3. Experiment

Experimenten utfördes i luminiscenslaboratoriet på Lunds universitet och förberedelser gjordes under mörkrumsförhållanden. För varje experiment sprayades metallbrickor (8 mm) med silikonspray och en likvärdig mängd kvarts placerades på respektive bricka (Figur 5). Proverna placerades sedan på en större träbricka och exponerades för respektive ljuskälla. Prover på träbrickan som inte skulle exponeras täcktes med porslins- eller metallbehållare.

I det första experimentet användes 36 provbrickor varav 12 för varje prov. De exponerades för lysrörsbelysning under 10 s, 30 s, 60 s, 5 min och 15 min. Lysröret var placerat rakt ovanför proven på 140 cm avstånd (Figur 6 A).

Det andra experimentet utfördes på så vis att en

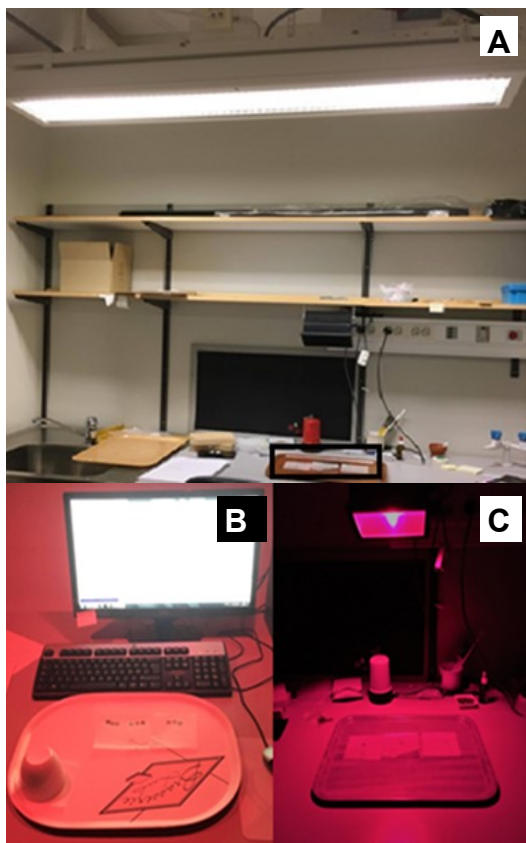


Figur 4. Diagrammet visar våglängder och irradians för lysrörsbelysning (T5 ECO SAVER HE). Ljuset dominerar i våglängderna 540 nm och 620 nm och irradiansen är 0.06 respektive 0.08 (W/m²/nm). Irradians är ett mått på instrålningstäthet och definieras som den elektromagnetiska strålning som per tid och area faller på ett referensplan (Analytical Spectral Devices 1999).

dörr öppnades från ett upplyst rum med samma lysrörsbelysning som i ovanstående experiment. Ett mörkerskynke som inte var helt täckande satt för dörröppningen då detta som regel används i laboratoriet. Dörren öppnades på vid gavel och proverna exponerades sedan för det inströmmande ljuset under 10 s, 30s, 60 s och 5 min. Proverna var placerade på en bänk 80 cm framför dörröppningen

För det tredje experimentet preparerades 45 provbrickor varav 15 för vardera prov. Därefter exponerades proverna för ljus alstrat av en datorskärm under 10 s, 30 s, 60 s, 5 min och 15 min. Bakgrunden på datorskärmen var konstant vit med programmet Sequence Editor igång. Proverna var placerade 30 cm framför datorskärmen (Figur 6 B). Kompletterande försök gjordes på samma vis för prov 13017 under 5 min och 15 min och för prov 13039 under 15 min då de första resultaten visat på högre D_e än ursprungsdosen.

För att undersöka påverkan av mörkrumsbelysning placerades 3 brickor av varje prov under en glödlampa med rött transparent filter i 24 timmar. Provbrickorna var placerade 53 cm från belysningen (Figur 6 C).

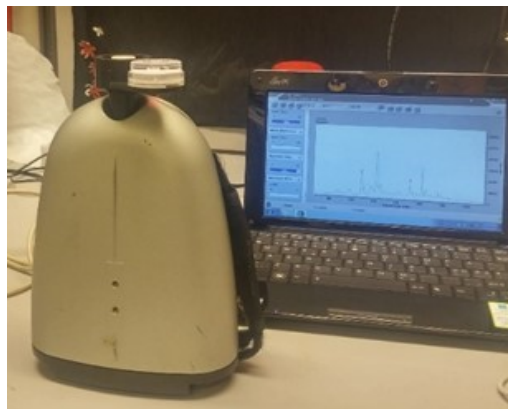


Figur 6. A: Experiment där kvartsprover exponeras för lysrörsbelysning (prover markerade med svart rektangel). B: Kvartsprover som exponeras för ljus från datorskärm C: Kvartsprover som exponeras för mörkrumsbelysning. Foto: Rebecka Stjern.

Kompletterande försök utfördes på samma vis för prov 15096 då första mätningen av D_e visade på högre värden än ursprungsdosen.

3.4 Spektrometermätning

För att fastställa intensiteten av lysrörsbelysningen användes en spektrometer av modellen ASD FieldSpec FR (Figur 7). Spektrometern placerades 120 cm under lysröret som använts vid experimentet. Innan mätningen startades värmdes spektrometern upp under 30 minuter. Därefter slogs spektrometern på och optimerades mot bakgrundsljus. Efter detta startades mätningen av irradiansen på det emitterande ljuset. Resultaten av mätningarna samlades i mjukvaruprogrammet ASD RS3 V 6.4.3.



Figur 7. Mätning av irradians för lysrörsbelysning med spektrometer (ASD FieldSpec FR). Foto: Rebecka Stjern.

3.5 OSL-analys

Samtliga prover analyserades i OSL-reader Risø TL/OSL DA-20 (Figur 1) i luminiscenslaboratoriet. Läsaren består av olika komponenter för uppvärmning, ljusstimulering och bestrålning samt en detektor för mätning av OSL-signalen. Som ljusstimulering användes blå LED (450 nm) med detekteringsfilter, 7,5 mm Hoya U-340, för att påvisa den uppkomna luminiscensen. Som strålkälla användes Sr90/Y90 β -strålning (Bøtter-Jensen et al. 2002). Dosraten var 0,17 Gy/s. För att bestämma den ekvivalenta dosen (D_e) användes SAR-protokoll (Murray & Wintle 2000). För tre av experimenten (lysrör, mörkrum och ljusinsläpp från dörr) användes kort SAR med tre stycken mätomgångar (Tabell 1 och Bilaga 2). För experimentet med datorskärmsexponering användes normal SAR (Tabell 1 och Bilaga 2). Ett förkortat SAR-protokoll användes på grund av begränsad tillgång till maskintid och eftersom tidigare mätningar visat att dessa prover hade goda luminiscenssignaler (H. Alexanderson, pers. kom. 2017-05-19).

För analys och bearbetning av OSLdata användes Risø Sequence Editor v 4.45 och Risø Luminescence Analyst v 4.31.9. D_e beräknades genom exponentiell interpolering av OSL-signalerna. Delprover accepterades om Recycling ratio (korrigerig av sensitivitetsförändringar) var inom 20 % och felmarginalen för testdosen var >20% (responderade signal från given

testdos). Resultaten av mätningarna exporterades in i Microsoft Excel där medelvärden för D_e beräknades och applicerades på en kurva för att visa ändringar av

den naturliga dosen i förhållande till ljusstimulering och exponeringstid.

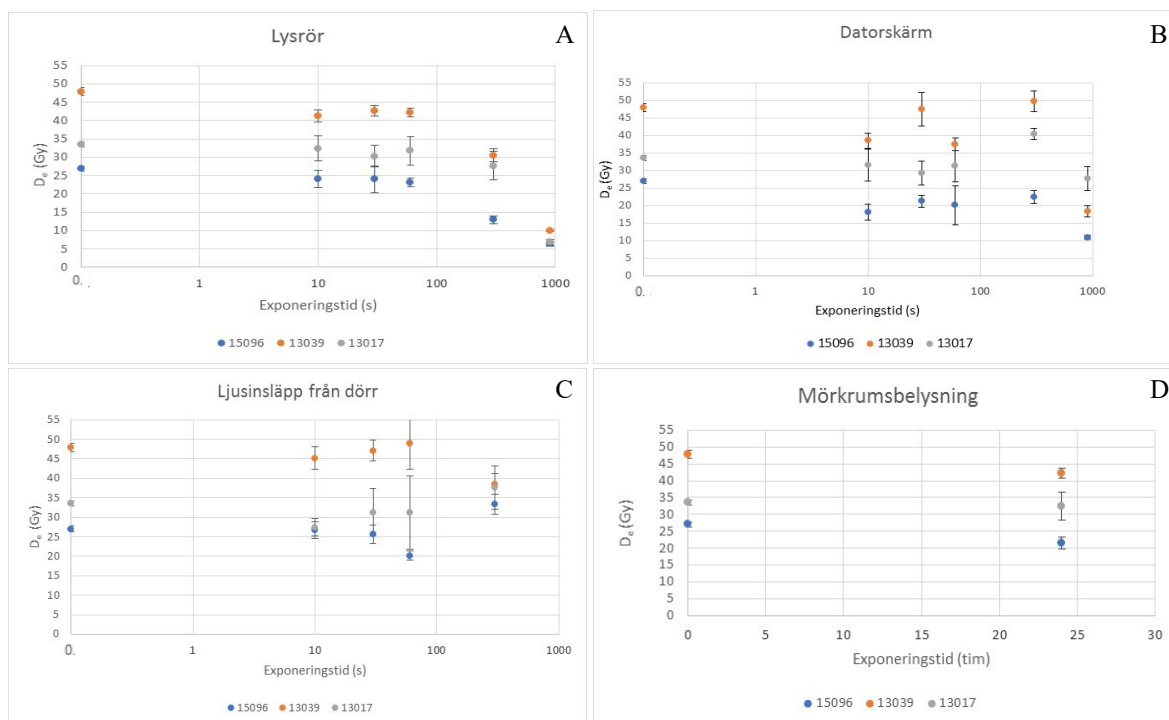
Tabell 1. SAR-protokoll som visar de olika stegen i OSL-analysen.

Bestämning av naturlig dos
1. Föruppvärmning vid 260°/220°/260° (15096/13039/13017) i 10 s
2. OSL-stimulering vid 125° med blå LED under 40 s
Mätning av OSL-signalerna genererade från laborationsdoser
3. Testdos på 10,5 Gy/7,0 Gy/13,9 Gy (15096/13039/13017)
4. Termoluminiscens vid 220°/200°/240° (15096/13039/13017)
5. OSL-stimulering med blå LED vid 125 ° i 40 s
6. Regenererad dos på 19,0 Gy, 30,0 Gy, 20,7 Gy (15096/13039/13017)
Upprepning av steg 1–6 i flera omgångar med andra givna β -doser (Gy).

4. Resultat

Resultaten av OSL-analyserna är sammanfattade i Tabell 2. Alla ekvivalenta doser har ett värde >5 Gy och inga kvartsprover nollställdes komplett under något av experimenten. För experimentet med lysrörsbelysning visar resultaten av de uppmätta doserna ett konstant avtagande värde (Figur 8 A). Efter 900 sekunders ljusexponering har D_e sjunkit från de ursprungliga halterna 27,0 \pm 0,7 Gy till 6,4 \pm 0,6 Gy för prov 15096, från 47,9 \pm 1,1 Gy till 6,8 \pm 0,8 Gy för prov 13039 och för prov 13017 har dosen sjunkit från 33,5 \pm 0,7 Gy till 9,9 \pm 0,3 Gy (Figur 8 och Tabell 2), vilket motsvarar ~ 5 % av den ursprungliga dosen. Prov 15096 visar efter 300 sekunders exponering att D_e på 12,9 \pm 1 Gy vilket motsvarar en knapp halvering (48 % kvarvarande dos) jämfört med den ursprungliga dosen. Prov 13039 visar på en kvarvarande dos motsvarande 35 % av ursprungsdosen. I övrigt är påverkan vid kortare exponeringstid liten för samtliga prover (Figur 8 och tabell 2).

Resultaten för experimentet med datorskärmen visar varierande minskning av den ekvivalenta dosen (Figur 8 B och Tabell 2). För några av exponeringstiderna är värdet högre än för den opåverkade dosen. Efter 900 sekunders exponering har D_e sjunkit till 10,9 \pm 0,6 Gy för prov 15096, 18,3 \pm 1,6 Gy för



Figur 8. Diagram över ekvivalent dos (Gy) i förhållande till exponeringstid för tre kvartsprover efter de utsatts för A: Lysrörsbelysning. B: Ljus från datorskärm med vit bakgrund. C: Ljus från insläpp via dörröppning med svart skyneke för. D: Mörkrumsbelysning med rött transparent filter. Varje punkt representerar ett medelvärde för tre stycken prover. Observera att skalan på x-axeln är logaritmisk för A, B och C.

Tabell 2. Resultat av OSL-analys som visar den ekvivalenta dosen efter exponering för olika ljuskällor.

Prov nr	Exponeringstid	Mörkrum	Dörr	Datorskärm	Lysrör
		D _e (Gy)	D _e (Gy)	D _e (Gy)	D _e (Gy)
15096	0s	27,0±0,7	27,0±0,7	27,0±0,7	27,0±0,7
	10 s		26,7±2,1	18,2±2,3	24,1±2,4
	30 s		25,6±2,4	21,2±1,6	24,0 ±3,7
	60 s		20,1±1,2	20,1±5,5	23,1±1,2
	300 s		33,3±2,5	22,4±1,8	12,9±1,0
	900 s			10,9±0,6	6,4±0,6
	24tim	21,4±1,8			
13039	0s	47,9±1,1	47,9±1,1	47,9±1,1	47,9±1,1
	10 s		45,1±2,9	38,5±2,1	41,2±1,6
	30 s		47,1±2,7	47,4±4,8	42,6±1,4
	60 s		48,9±6,7	37,4±1,8	42,2±1,2
	300 s		38,5±2,7	49,7±3,0	30,5±1,7
	900 s			18,3±1,6	9,9±0,3
	24tim	42,1± 1,5			
13017	0s	33,5±0,7	33,5±0,7	33,5±0,7	33,5±0,7
	10 s		27,4±2,3	31,6±4,5	32,4±3,4
	30 s		31,2±6,1	29,3±3,4	30,3±3,0
	60 s		31,2±9,5	31,2±4,5	31,8±3,9
	300 s		37,6±5,6	40,4±1,6	27,7±3,9
	900 s			27,7±3,4	6,8±0,8
	24tim	32,4±4,2			

prov 13039 och till 27,7±3,4 Gy för prov 13017 (Figur 8 B och tabell 2). Efter 300 sekunder kan än högre dos än den ursprungliga observeras för prov 13039, dock med stor felmarginal, och för prov 1307 (Tabell 2). Vid försöket med ljusinsläpp från dörr är resultaten likaså varierande. Doserna visar en långsam avtagning för de tre första exponeringstiderna vad gäller prov 15096 men ökar igen för tider över 300 sekunder (Figur 8 C och Tabell 2). Generellt observeras en mindre avtrappning i doshalt än vid försöken med lysrör- och datorskärm. De kvarvarande luminescenssignalerna är jämförelsevis höga: 72 % för 15096, 80 % för 13039 och 82 % för 13017.

De kvartskorn som enbart utsatts för mörkrumsbelysningen visar en svag minskning av signalerna jämfört med resterande experiment. Efter 24 timmar ligger doserna på 21,4±1,8 Gy för prov 15096, 42,1± 1,5 Gy för prov 13039 och 32,4±4,2 Gy för prov 13017 (Figur 8 D och Tabell 2). Prov 15096 och 13039 har minskat något mer än prov 13017 då de två första har en kvarvarande dos på 79 % respektive 89 % jämfört med 97 %.

Överlag har prov 13039 med kvarts från isälvsdelta de största skillnaderna mellan ursprungliga dos

och kvarvarande dos för samtliga experiment i studien. Prov 13017 med kvarts från flygssanddyn och 15096 från fluviala sediment visar på mer likvärdiga resultat i kvarvarande procentandel av luminescenssignalen, 15096 visar dock något större differens för lysrörsbelysningen. I övriga försök är differensen mellan ursprunglig och kvarvarande dos större för prov 13017 än 15096 (Tabell 2).

5. Diskussion

Baserat på resultaten kan det konstateras att signalerna till viss del påverkas av ljusstimulering för alla ljuskällor i studien. Det ljus som resulterat i störst påverkan av signalerna är lysrörsbelysningen. Intensiteten på ljuset är störst för lysrörsbelysningen och datorskärm vilket påverkar blekningshastigheten då elektronerna lättare töms ur elektronfällorna vid ljus med högre fotonenergi (Spooner 1994; Singarayer et al. 2005).

Att OSL-signalerna inte påverkas i större utsträckning förrän efter 300 och 900 sekunders exponering för lysrörsbelysningen är något oväntat då enligt hypotesen ljuset skulle vara så pass intensivt

att signalerna skulle nollställas. Detta kan bero på att intensiteten av ljuset trots allt är betydligt svagare än solljus eller blå LED som normalt nollställer signalerna redan efter några sekunders exponeringstid (Rhodes 2011). Artificiellt ljus emitterar också i färre våglängder än solljus vilket kan vara en bidragande faktor (Choi et al. 2009).

Proverna som exponerades för datorskrämljuset visar näst efter lysrörsexperiment mest påverkan av doserna. Även i detta fall sker inget påtagligt avtagande av dosen innan 300 och 900 sekunder då 80–90 % av den ursprungliga dosen kvarstår. Experimenten med ljusinsläpp från dörr och mörkrumsbelysningen resulterade i minst påverkan av signalerna då större procentandelen av den ursprungliga dosen kvarstår för alla exponeringstider. Tidigare studier visar att luminiscenssignaler nollställs eller delvis nollställs vid exponering för solljus och andra artificiella ljuskällor. Antagandet är att optiskt utsända signaler från kvarts blir komplett nollställda till följd av exponering för solljus (Huntley et al. 1985). Det har även påvisats att begränsat ljus exempelvis mulna dagar ger en långsammare blekningshastighet än för klara dagar. (Huntley et al. 1985; Godfrey-Smith et al. 1988; Alexanderson & Bernhardson 2016). Baserat på resultaten för denna studie kan det konstateras att blekning även sker av ljus i inomhusmiljö men blekningen tar betydligt längre tid.

Antagandet var att mörkrumsbelysningen inte skulle påverka signalerna, vilket den faktiskt visar sig göra då OSL-signalerna minskat några procent. Sohbaty et al. (2017) har undersökt påverkan på luminiscenssignaler från olika typer av mörkrumsbelysning baserat på att den maximala förlusten av luminiscenssignalen bör ligga på $\leq 1\%$ vid 48 timmars exponering, för ett acceptabelt resultat. Både Spooner et al. (1994) och Sohbaty et al. (2017) fann att fotonenergin hos rött ljus och inte enbart UV-komponenterna i solljus kan ha en inverkan på luminiscenssignalen likt resultaten från mina försök.

Lysrörsexperimentet är det enda av försöken som visar konstant avtagande luminiscenssignaler. Resultaten från dörrexperimentet visade på ett ojämnt avklingningsförlopp. I det experimentet placerades provbrickorna på en bänk där ljuset i större utsträckning förmodas ha nått de prover som placerats på raden närmast dörren, då ljustrimman som släpptes in var mycket begränsad av skynket. Vid försök med datorskrämen visade ljusexponering under 300 sekunder högre D_e jämfört med kortare exponeringstider för samtliga prover. I detta fall förmodas de provbrickor som exponerats i 300 sekunder placerats något längre ifrån ljuskällan samt skymts av de objekt som placerades ovanpå framförvarande provbrickor med funktionen att förhindra ljusinsläpp innan och efter belysningen. Eftersom samtliga prover uppvisar höga respektive låga D_e vid samma exponeringstider (Tabell 2) är antagandena rimliga då inga tekniska mätfel noterats. Att signalerna från proverna utsatta för lysrörbelysningen avtar proportionellt med tiden till skillnad från de andra experimenten kan bero på att vinkeln av det infallande ljuset är rakt ovan ifrån och belyser samtliga provbrickor i samma omfattning. Skillnaden i fördelningen av det infallande ljuset för-

modas vara orsaken till de ojämnt avtagande värdena för försöket med datorskräm och ljusinsläpp från dörr. I vilken utsträckning exponeringstiden påverkar avgivandet av luminiscenssignalen är svårt att konstatera för de försök där förändringarna av D_e inte är proportionerliga. För den kvarts som utsatts för lysrörbelysning och ljus alstrat från datorskrämen visar OSL-mätningarna att avtagandet är genomgående svagt för exponeringstider under 60 sekunder för samtliga prover (Tabell 2). Efter 900 sekunder syns dock en betydande skillnad från den ursprungliga dosen. I dessa båda fallen kan det alltså konstateras att luminiscenssignalen avtar mer desto längre det utsätts för ljusstimulering, vilket stämmer med det generella antagandet är att ju längre exponeringstid desto mindre kvarvarande OSL-signal (Singerayer et al. 2005; Duller 2008).

Det finns en liten skillnad i responsen på ljusstimuleringen från prov till prov. Resultaten förväntades inte skilja sig i avseende på geologisk avsättningsmiljö eftersom de sedan innan visas ha bra respons på ljusstimuleringen vid OSL (Alexanderson & Henriksen 2015; Alexanderson & Bernhardson 2016; Olszak J opubl.). Materialet från isälvsdelta (13039) visar något större differens mellan ursprunglig dos och kvarvarande dos. Att prov 13039 visar på en snabbare avtagning än de andra två kan eventuellt bero på att provet är en snabb komponent med mycket stark signal. Denna skillnad även större för prov 13039 i de tidigare OSL-mätningarna vad gäller maximal och minimal dos. (Alexanderson & Bernhardson 2016).

Vid analys av resultaten kan det konstateras att de kvartsprover som utsattes för ljus under laboratoriemomentet avger en del av den absorberade strålningens energi som mineralkornen ansamlat under deponeringstiden. Detta kan resultera i att mätningarna från OSL blir missvisande då metoden baseras på datering av senaste tillfället avsättningen var i kontakt med solljus. Frisläppning av elektronerna kan leda till att mängden ansamlad energi beräknas vara mindre än den i själva fallet är och således ges materialet en för ung ålder.

Slutligen bör det beaktas att de dominerande våglängderna i studien är approximativa och inte baserade på direkta mätningar. De tekniska specifikationerna kan skilja sig från verkligheten. Vad gäller mörkrumsbelysningen bör det tas hänsyn till att proverna vanligtvis inte exponeras under 24 timmar då de som regel förvaras i ljusstäta förpackningar och endast tas fram strax innan preparering eller analys.

6. Slutsatser

De i studien framkomna resultaten antyder att luminiscenssignalerna påverkas genom en minskning av den naturliga dosen efter exponering för samtliga ljuskällor. Därav motbevisas hypotesen om opåverkade signaler efter att kvartsproverna under 24 timmar utsatts för mörkrumsbelysning. Ljusets påverkan varierar med ljusstyrka, infallande ljusvinkel och exponeringstid. Ljus med störst intensitet tycks generellt resultera i en större påverkan av luminiscenssignalen och exponeringstider över 60 sekunder krävs sannolikt för en betydande verkan. Hypotesen att lysrörbelysningen förmodades ha störst påverkan på luminiscenssignalerna kan där-

med bekräftas. Dock nollställdes inte luminiscenssignalerna utan minskade till ~ 5 % av den ursprungliga dosen vilket motsäger hypotesen om den förmodade nollställningen. Tiden för exponering är en betydande faktor men det bör observeras att resultaten skiljer sig för de olika ljuskällorna och hypotesen om större blekning efter längre exponeringstid kan endast bekräftas för lysrörs-, datorskärm- och mörkrumsexperimentet. Studiens begränsningar ligger i att intensiteten på ljuset inte kunde fastställas i den mån som var önskvärt och fler försök kunde gjorts för att eliminera felkällor under experiment tillfället. Baserat på resultaten från denna studie bör det i enighet med tidigare antaganden beaktas en fortsatt försiktighet för att undvika oavsiktlig exponering vid hantering av provmaterial som skall användas för OSL-datering för att få pålitliga och korrekta resultat.

7. Tack

Jag vill tacka min handledare, professor Helena Alexanderson för all vägledning och hjälp under arbetets gång. Jag vill också tacka Maria Tagle Casapia för hjälp och tips i samband med spektrometermätningar.

8. Referenser

- Aitken, M. J., 1998: *An introduction to optical dating : the dating of quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence*. Oxford : Oxford Univ. Press, 1998.
- Alexanderson, H. & Bernhardson, M., 2016: OSL dating and luminescence characteristics of aeolian deposits and their source material in Dalarna, central Sweden: *Boreas* 45, 876-893. doi: 10.1111/bor.12197
- Alexanderson, H. & Henriksen, M., 2015: A short-lived aeolian event during the Early Holocene in southeastern Norway: *Quaternary Geochronology* 30, 175.
- AuraLight, 2014: Technical Data Sheet T5 ECO SAVER HE. <https://media.auralight.com/api/resource/3416/TDS%20T5%20ECO%20SAVER%20HE.pdf>
- Bøtter-Jensen, L., Bulur, E., Murray, A. S. & Poohton, N. R. J., 2002: Enhancements in luminescence measurement techniques: *Radiation Protection Dosimetry* 101, 119-124.
- Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Späti, J., Bues, M., Pross, A., Mager, R., Wirz-Justice, A. & Stefani, O., 2011: Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance: *Journal of Applied Physiology* 110, 1432.
- Choi, J. H., Murray, A. S., Cheong, C. S. & Hong, S. C., 2009: The dependence of dose recovery experiments on the bleaching of natural quartz OSL using different light sources: *Radiation Measurements* 44, 600-605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2009.02.018>
- Duller, G. A. T., 2008: *Luminescence Dating: guidelines on using luminescence dating in archaeology*. Swindon, English Heritage.
- Fujitsu, 2011; Data Sheet Fujitsu Display L20T-3 LED Display. <http://www.aryan.es/info/papers/S26361-K1409-V1360.pdf>
- Godfrey-Smith, D. I., Huntley, D. J. & Chen, W. H., 1988: Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts: *Quaternary Science Reviews* 7, 373-380. doi: [http://doi.org/10.1016/0277-3791\(88\)90032-7](http://doi.org/10.1016/0277-3791(88)90032-7)
- Goetz, F. H. A. Curtiss, B., 1994: FIELD SPECTROMETRY: TECHNIQUES AND INSTRUMENTATION. In: David Hatchell (red.) *International Symposium on Spectral Sensing Research.*, Boulder, Colorado 80309-0449, USA, Analytical Spectral Devices, Inc.
- Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I. & Thewalt, M. L. W., 1985: Optical dating of sediments: *Nature [London]* 313, 105-107.
- Jain, M., Murray, A. S. & Bøtter-Jensen, L., 2003: Characterisation of blue-light stimulated luminescence components in different quartz samples: implications for dose measurement: *Radiation Measurements* 37, 441-449. doi: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00052-0)
- Murray, A. S. & Wintle, A. G., 2000: Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol: *Radiation Measurements* 32, 57-73. doi: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(99\)00253-X](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(99)00253-X)
- Murray, A. S. & Wintle, A. G., 2003: The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability: *Radiation Measurements* 37, 377-381. doi: 10.1016/S1350-4487(03)00053-2
- Olszak J, K. J., Alexanderson H, Krapiec M. , opubl.: Integrated OSL and 14C dating of alluvial sediments. M.in prep. Opublicerat material. .
- Preusser, F., Chithambo, M. L., Götte, T., Martini, M., Ramseyer, K., Sendezera, E. J., Susino, G. J. & Wintle, A. G., 2009: Quartz as a natural luminescence dosimeter: *Earth Science Reviews* 97, 184-214. doi: 10.1016/j.earscirev.2009.09.006
- Rhodes, E. J., 2011: Optically stimulated luminescence dating of sediments over the past 200,000 years: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39, 461-488. doi: 10.1146/annurev-earth-040610-133425
- Singarayer, J. S. & Bailey, R. M., 2004: Component-resolved bleaching spectra of quartz optically stimulated luminescence: preliminary results and implications for dating: *Radiation Measurements* 38, 111-118. doi: [http://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00250-6](http://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00250-6)
- Singarayer, J. S., Bailey, R. M., Ward, S. & Stokes, S., 2005: Assessing the completeness of optical resetting of quartz OSL in the natural environment: *Radiation Measurements* 40, 13-25. doi: <http://>

[dx.doi.org/10.1016/
j.radmeas.2005.02.005](https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.02.005)

- Sohbati, R., Murray, A., Lindvold, L., Buylaert, J.-P. & Jain, M., 2017: Optimization of laboratory illumination in optical dating: *Quaternary Geochronology* 39, 105-111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2017.02.010>
- Spoooner, N. A., 1994: On the optical dating signal from quartz: *Radiation Measurements* 23, 593-600. doi: 10.1016/1350-4487(94)90105-8

Bilaga 1

Beräkningar av fotonenergin (eV) för de olika ljuskällorna beräknades utifrån:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

λ = Våglängden (m)

Ljusets hastighet;

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Plank's constant (h);

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Elektronvolt (eV);

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Bilaga 2

Protokoll använt i Risø Sequence Editor 4.45 för analys i OSL-Reader. Protokollet användes för prover som exponerats för lysrörsbelysning, ljusinsläpp från dörr och mörkrumbelysning.

Samples	Run 1	Run 2	Run 3
1-3		Beta 50s	Beta 220s
4-6		Beta 50s	Beta 300s
7-9		Beta 50s	Beta 250s
1-3	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
4-6	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
7-9	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
1-9	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
1-3	Beta 60s	Beta 60s	Beta 60s
4-6	Beta 40s	Beta 40s	Beta 40s
7-9	Beta 80s	Beta 80s	Beta 80s
1-3	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
4-6	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
7-9	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
1-9	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
1-9	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	

Protokoll använt i programmet SequenceEditor 4.45 för analys i OSL-reader. Protokollet användes för prover som exponerats för ljus från datorskärm.

Samples	Run 1	Run 2	Run 3
1-15		Beta 50s	Beta 110s
16-30		Beta 50s	Beta 150s
31-45		Beta 50s	Beta 120s
1-15	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
16-30	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
31-45	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
1-45	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
1-15	Beta 60s	Beta 60s	Beta 60s
16-30	Beta 40s	Beta 40s	Beta 40s
31-45	Beta 80s	Beta 80s	Beta 80s
1-15	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
16-30	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
31-45	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P
1-45	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
1-45	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0

Run 4	Run 5	Run 6
Beta 220s	Beta 0s	Beta 50s
Beta 300s	Beta 0s	Beta 50s
Beta 250s	Beta 0s	Beta 50s
Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s	Pre Heat 260°C;5°C/s;10s
OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
Beta 60s	Beta 60s	Beta 60s
Beta 40s	Beta 40s	Beta 40s
Beta 80s	Beta 80s	Beta 80s
TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 220°C, 5.00°C/s, 250F
TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250F
TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 240°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 240°C, 5.00°C/s, 250F
OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;
Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0	

Tidigare skrifter i serien

”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

465. Hajny, Casandra, 2016: Sedimentological study of the Jurassic and Cretaceous sequence in the Revinge-1 core, Scania. (45 hp)
466. Linders, Wictor, 2016: U-Pb geochronology and geochemistry of host rocks to the Bastnäs-type REE mineralization in the Riddarhyttan area, west central Bergslagen, Sweden. (45 hp)
467. Olsson, Andreas, 2016: Metamorphic record of monazite in aluminous migmatitic gneisses at Stensjöstrand, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
468. Liesirova, Tina, 2016: Oxygen and its impact on nitrification rates in aquatic sediments. (15 hp)
469. Perneby Molin, Susanna, 2016: Embryologi och tidig ontogeni hos mesozoiska fisködlor (Ichthyopterygia). (15 hp)
470. Benavides Höglund, Nikolas, 2016: Digitization and interpretation of vintage 2D seismic reflection data from Hanö Bay, Sweden. (15 hp)
471. Malmgren, Johan, 2016: De mellankambrika oelandicuslagren på Öland - stratigrafi och facietyper. (15 hp)
472. Fouskopoulos Larsson, Anna, 2016: XRF-studie av sedimentära borrhärdar - en metodikstudie av programvarorna Q-spec och Tray-sum. (15 hp)
473. Jansson, Robin, 2016: Är ERT och Tidsdomän IP potentiella karteringsverktyg inom miljögeologi? (15 hp)
474. Heger, Katja, 2016: Makrofossilanalys av sediment från det tidig-holocena undervattenslandskapet vid Haväng, östra Skåne. (15 hp)
475. Swierz, Pia, 2016: Utvärdering av vattenkemisk data från Borgholm kommun och dess relation till geologiska förhållanden och markanvändning. (15 hp)
476. Mårdh, Joakim, 2016: WalkTEM-undersökning vid Revingehed provpumpningsanläggning. (15 hp)
477. Rydberg, Elaine, 2016: Gummigranulat - En litteraturstudie över miljö- och hälsopåverkan vid användandet av gummigranulat. (15 hp)
478. Björnfors, Mark, 2016: Kusterosion och äldre kustdyners morfologi i Skålderviken. (15 hp)
479. Ringholm, Martin, 2016: Klimatutlöst matbrist i tidiga medeltida Europa, en jämförande studie mellan historiska dokument och paleoklimatarkiv. (15 hp)
480. Teilmann, Kim, 2016: Paleomagnetic dating of a mysterious lake record from the Kerguelen archipelago by matching to paleomagnetic field models. (15 hp)
481. Schönström, Jonas, 2016: Resistivitets- och markradarmätning i Ängelholmsområdet - undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar. (15 hp)
482. Martell, Josefín, 2016: A study of shock-metamorphic features in zircon from the Siljan impact structure, Sweden. (15 hp)
483. Rosvall, Markus, 2016: Spår av himlakropps-kollisioner - bergarter i nedlagsskratrar med fokus på Mien, Småland. (15 hp)
484. Olausson, My, 2016: Resistivitets- och IP-mätningar på den nedlagda deponin Gustavsfält i Halmstad. (30 hp)
485. Plan, Anders, 2016: Markradar- och resistivitetsmätningar - undersökningar utav korrosionsförhöjande markegenskaper kring fjärrvärmeledningar i Ängelholm. (15 hp)
486. Jennerheim, Jessica, 2016: Evaluation of methods to characterise the geochemistry of limestone and its fracturing in connection to heating. (45 hp)
487. Olsson, Pontus, 2016: Ekologiskt vatten från Lilla Klåveröd: en riskinventering för skydd av grundvatten. (15 hp)
488. Henriksson, Oskar, 2016: The Dynamics of Beryllium 10 transport and deposition in lake sediments. (15 hp)
489. Brådenmark, Niklas, 2016: Lower to Middle Ordovician carbonate sedimentology and stratigraphy of the Pakri peninsula, north-western Estonia. (45 hp)
490. Karlsson, Michelle, 2016: Utvärdering av metoderna DCIP och CSIA för identifiering av nedbrytningszoner för klorerade lösningsmedel: En studie av Färgaren 3 i Kristianstad. (45 hp)
491. Elali, Mohammed, 2016: Flygsanddyners inre uppbyggnad - georadarundersökning. (15 hp)
492. Preis-Bergdahl, Daniel, 2016: Evaluation of DC Resistivity and Time-Domain IP Tomography for Bedrock Characterisation at Önnelöv, Southern Sweden. (45 hp)
493. Kristensson, Johan, 2016: Formation evaluation of the Jurassic Stø and Nordmela

- formations in exploration well 7220/8-1, Barents Sea, Norway. (45 hp)
494. Larsson, Måns, 2016: TEM investigation on Challapampa aquifer, Oruro Bolivia. (45 hp)
495. Nylén, Fredrik, 2017: Utvärdering av borrhålskartering avseende kalksten för industriella ändamål, File Hajdarbrottet, Slite, Gotland. (45 hp)
496. Mårdh, Joakim, 2017: A geophysical survey (TEM; ERT) of the Punata alluvial fan, Bolivia. (45 hp)
497. Skoglund, Wiktor, 2017: Provenansstudie av detritala zirkoner från ett guldförande alluvium vid Ravlunda skjutfält, Skåne. (15 hp)
498. Bergcrantz, Jacob, 2017: Ett fönster till Kattegatts förflutna genom analys av bottenlevande foraminiferer. (15 hp)
499. O'Hare, Paschal, 2017: Multiradionuclide evidence for an extreme solar proton event around 2610 BP. (45 hp)
500. Goodship, Alastair, 2017: Dynamics of a retreating ice sheet: A LiDAR study in Värmland, SW Sweden. (45 hp)
501. Lindvall, Alma, 2017: Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden? (15 hp)
502. Sköld, Carl, 2017: Analys av stabila isotoper med beräkning av blandningsförhållande i ett grundvattenmagasin i Älvkarleby-Skutskär. (15 hp)
503. Sällström, Oskar, 2017: Tolkning av geofysiska mätningar i hammarborrhål på södra Gotland. (15 hp)
504. Ahrenstedt, Viktor, 2017: Depositional history of the Neoproterozoic Visingsö Group, south-central Sweden. (15 hp)
505. Schou, Dagmar Juul, 2017: Geometry and faulting history of the Long Spur fault zone, Castle Hill Basin, New Zealand. (15 hp)
506. Andersson, Setina, 2017: Skalbärande marina organismer och petrografi av tidigcampanska sediment i Kristianstadsbassängen – implikationer på paleomiljö. (15 hp)
507. Kempengren, Henrik, 2017: Föreningsspridning från kustnära deponi: Applicering av Landsim 2.5 för modellering av lakvattentransport till Östersjön. (15 hp)
508. Ekborg, Charlotte, 2017: En studie på samband mellan jordmekaniska egenskaper och hydrodynamiska processer när erosion påverkar släntstabiliteten vid ökad nederbörd. (15 hp)
509. Silvén, Björn, 2017: LiDARstudie av glaciala landformer sydväst om Söderåsen, Skåne, Sverige. (15 hp)
510. Rönning, Lydia, 2017: Ceratopsida dinosauriers migrationsmönster under kritiden baserat på paleobiogeografi och fylogeni. (15 hp)
511. Engleson, Kristina, 2017: Miljökonsekvensbeskrivning Rivinge brunnsfält. (15 hp)
512. Ingered, Mimmi, 2017: U-Pb datering av zirkon från migmatitisk gnejs i Delsjöområdet, Idefjordenterrängen. (15 hp)
513. Kervall, Hanna, 2017: EGS - framtidens geotermiska system. (15 hp)
514. Walheim, Karin, 2017: Kvartsmineralogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering. (15 hp)
515. Aldenius, Erik, 2017: Lunds Geotermisystem, en utvärdering av 30 års drift. (15 hp)
516. Aulin, Linda, 2017: Constraining the duration of eruptions of the Rangitoto volcano, New Zealand, using paleomagnetism. (15 hp)
517. Hydén, Christina Engberg, 2017: Drumlinerna i Löberöd - Spår efter flera isrörelseriktningar i mellersta Skåne. (15 hp)
518. Svantesson, Fredrik, 2017: Metodik för kartläggning och klassificering av erosion och släntstabilitet i vattendrag. (45 hp)
519. Stjern, Rebecka, 2017: Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts under laboratorieförhållanden? (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund