

# Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden?

*Alma Lindvall*

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 501  
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2017



# **Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden?**

Kandidatarbete  
Alma Lindvall

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2017

# Innehållsförteckning

<b>1 Introduktion</b> .....	<b>7</b>
1.1 Syfte och frågeställning .....	7
1.2 Avgränsningar .....	7
<b>2 Bakgrund</b> .....	<b>7</b>
2.1 Nollställning och ofullständig nollställning .....	7
2.2 Subatomära processer .....	8
2.3 Analysering med OSL och åldersbestämning .....	8
2.3.1 Mätning av $D_c$ .....	8
2.3.2 Mätning av bakgrundsstrålning .....	9
<b>3 Material och metod</b> .....	<b>9</b>
3.1 Prover .....	9
3.2 Förberedelser .....	11
3.3 Experiment .....	11
3.4 Mätning med OSL .....	11
3.5 Beräkning av dos .....	12
<b>4 Resultat</b> .....	<b>12</b>
4.1 Experiment 1—soligt ljusförhållande .....	12
4.1.1 Prov 13039 .....	12
4.1.2 Prov 13028 .....	12
4.1.3 Prov 15001 .....	12
4.2 Experiment 2—molnigt ljusförhållande .....	14
4.2.1 Prov 13039 .....	14
4.2.2 Prov 13028 .....	14
4.2.3 Prov 15001 .....	14
4.3 Experiment 3—skymning och natt .....	16
4.3.1 Prov 13039 .....	16
4.3.2 Prov 13028 .....	16
4.3.3 Prov 15001 .....	16
4.4 Sammanfattning av resultat .....	18
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>20</b>
5.1 Felkällor .....	20
5.2 Tolkning av resultat .....	20
<b>6 Slutsats</b> .....	<b>21</b>
<b>7 Tack</b> .....	<b>22</b>
<b>8 Referenser</b> .....	<b>22</b>
8.1 Publicerat material .....	22
8.2 Övriga referenser .....	22

**Bilaga 1**—Ordlista

**Bilaga 2**—Inställningarna som användes vid mätningarna i OSL-läsaren.

# Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden?

ALMA LINDVALL

Lindvall, A., 2017: Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden? *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 501, 22 sid. 15 hp.

**Sammanfattning:** Optiskt stimulerad luminiscens, OSL, är en dateringsmetod som går att tillämpa på geologiska material med en ålder på ca 1 år-200 000 år. Dateringsmetoden grundar sig i att mineralkorn påverkas av naturlig, radioaktiv bakgrundsstrålning och därför ackumulerar energi inom sig, en process som endast sker under mörka/svala förhållanden. Denna energi kan sedan frigöras genom att mineralkornet utsätts för ljus, antingen i naturen eller under kontrollerade former i laboratorier. När energin frigörs omvandlas den till fotoner, luminiscens. Eftersom ackumuleringen endast pågår under mörka/svala förhållanden och mängden ansamlad energi ökar med tiden går det att mäta mängden luminiscens och således avgöra hur länge provet legat begravt, d.v.s. provet kan dateras. Utsätts mineralkornet för tillräckligt mycket energi frigörs all ackumulerad strålning och kornet blir nollställt. Kornet kan också bli ofullständigt nollställt, vilket betyder att bara en del av den ackumulerade energin har frigjorts.

Genom att utsätta prover från tre olika lokaler, samtliga med olika genes, för tre olika typer av ljusförhållanden under olika exponeringstider undersöktes hur lång tid det tar innan luminiscenssignalen i proverna påverkas, d.v.s. innan de börjar sända ut luminiscens, och om de hinner nollställas helt. Syftet var att bidra med information och således också ge ökad förståelse för hur snabbt luminiscenssignaler påverkas och nollställs. Experimenten utfördes genom att proverna sattes fast i ljustäta burkar. Locken på burkarna togs sedan av under ett bestämt tidsintervall och proverna blev exponerade för ljus en solig dag, en molnig dag samt under skymnings-/nattljus, från fem sekunder till tre timmar.

Resultaten visar att proverna, oavsett ursprung, snabbt påverkas av ljusexponering i dagsljus. Resultaten från försöken som utfördes i skymnings- och nattljus påvisade ingen tydligt nedåtgående trend, d.v.s. att luminiscenssignalen i materialet minskade efter hand exponeringstiden ökade. Detta betyder att sediment som transporteras och begravs nattetid inte nollställs. Experimenten var av grundläggande karaktär och det bör således tas i beaktning att de naturliga processerna kan vara betydligt mer komplexa varvid resultaten endast bör användas vägledande. Det kan dock konstateras att fortsatt försiktighet vid uttag av prover krävs, då exponering för solljus kan leda till missvisande resultat vid datering. Trots detta är snabb nollställning av luminiscenssignaler något att eftertrakta för att undgå datering som resulterar i att provmaterial får en skenbart för hög ålder.

**Nyckelord:** datering, luminiscens, optiskt stimulerad luminiscens, OSL, nollställning, ofullständig nollställning

**Handledare:** Helena Alexanderson

**Ämnesinriktning:** Kvartergeologi

*Alma Lindvall, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: alma.27@hotmail.com*

# Impact and bleaching of luminescence signals during natural light conditions

ALMA LINDVALL

Lindvall, A., 2017: Impact and bleaching of luminescence signals during natural light conditions. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 501, 22 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

**Abstract:** Optically stimulated luminescence, OSL, is a dating method applicable to geological material with an age of ca. 1 year-200 000 years. The dating method is based on the mineral grains reaction to natural, radioactive background radiation, and their ability to accumulate energy within themselves, a process that takes place continuously during dark/cool conditions. This energy may be released by subjecting the mineral grain to light, either in nature or under controlled forms, in laboratories. When the energy is released, it is converted into photons, luminescence. Since the accumulation is only taking place during dark/cool conditions and the amount of accumulated energy increases over time, it is possible to measure the amount of emitted luminescence and thus determine how long the sample has been buried. Through measurements and calculations of the luminescence, the age of the sample is determined. If the mineral grains are exposed to sufficient energy, all accumulated radiation is released and the grain gets bleached. The grain may also become incompletely bleached, which means that only a part of the accumulated energy has been released.

By exposing sand samples of various origin to three different types of light conditions during different exposure times, it was possible to examine how long it takes before the luminescence signal is affected, thus before the samples start to emit light, and if, or after how long, they get fully bleached. The purpose of this study was to provide information and thus also provide a better understanding of how quickly luminescence signals are affected and bleached. The experiments were performed by attaching the samples in the bottom of opaque metal cans. The covers of the cans was then removed for a fixed amount of time, from five seconds to three hours, and therefore the samples were exposed to light during three types of light conditions: a sunny day, a cloudy day and twilight/nightlight.

The results show that the samples, regardless of origin, are affected already after a short amount of time in exposure to light during sunny and cloudy conditions. The result of the experiment that was made during twilight/nightlight did not show the same kind of downward trend as the others samples, thus that the remaining luminescence signal in the material decreased gradually as the time of exposure increased. This means that sediments transported and buried at night do not bleach. It is important to take into account that these experiments was of fundamental character whilst the natural processes are more complex and therefore the results should be used as a guidance. It can be noted that continued caution when sampling is required since exposure to sunlight can result in inaccurate results when dating of material is applied. Nevertheless, rapid impact and bleaching of luminescence signals is desirable to avoid incorrect dating of sediments.

**Keywords:** dating, luminescence, optically stimulated luminescence, OSL, bleaching, incomplete bleaching

**Supervisor:** Helena Alexanderson

**Subject:** Quaternary Geology

*Alma Lindvall, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: alma.27@hotmail.com*

# 1 Introduktion

En ny dateringsmetod, optiskt stimulerad luminiscens (OSL), beskrivs av Huntley et al. (1985). OSL har sen dess fått en allt större spridning och är idag en välanvänd dateringsmetod som går att tillämpa på material som är 1 år-200 000 år gammalt (Rhodes 2011). Metoden är applicerbar på grund av ett minerals förmåga att emittera, d.v.s. sända ut, ljus. Detta fenomen uppstår till följd av defekter i mineralet på subatomär nivå vilket gör att kornen fungerar som dosimetrar, de reagerar på radioaktiv strålning och kan lagra energi. Denna process sker hela tiden, men energin lagras endast i materialet under mörka och svala omständigheter, förutsättningar som uppstår i geologiska sedimentationsprocesser. När kornet sedan utsätts för ljus frigörs den ansamlade energin och omvandlas till ljus, luminiscens. Vid datering med OSL mäts mängden luminiscens och med hjälp av ytterligare analys används resultatet för att datera provet, d.v.s. beräkna under hur lång tid det legat begravt.

## 1.1 Syfte och frågeställning

Godfrey-Smith et al. (1988) har i sin studie undersökt och redogjort för hur snabbt luminiscenssignaler nollställs genom att exponera material för ljus under en klar och solig samt en molnig dag. Syftet med denna studie var att göra ytterligare undersökningar om hur snabbt dessa processer sker. Detta testades genom att ett antal prover utsattes för olika typer av ljusförhållanden under olika långa tidsintervall vilket förväntades ge viktig kunskap eftersom ljusets påverkan på ett mineralkorn är en viktig felkälla att ta i beaktning då det kan resultera i påtagliga fel vid mätning med OSL. Om mineralkornet inte nollställs, d.v.s. att all ackumulerad energi frigörs, vid avsättningstillfället innan det begravs, fås en skenbar för hög ålder vid datering. Om mineralkornet däremot utsätts för ljus vid eller efter provtagning sker det motsatta, d.v.s. att provet verkar skenbart för ungt. Denna studie skulle således kunna kan således viktig information erhållas som kan utgöra ett stöd vid planering och utförande av framtida provtagning för datering av geologiskt material.

Projektet hade följande huvudsakliga frågeställningar:

- Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler en solig och klar dag?
- Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler en molnig dag?
- Påverkas luminiscenssignalerna under mörkare förhållanden, såsom i skymnings- och nattljus?

## 1.2 Avgränsningar

I studien undersöktes endast tre olika typer av ljusmiljöer; en solig dag, en mulen dag och skymnings-/nattljus, och endast ett begränsat antal prover samt tidsintervall för varje miljö. Dessa avgränsningar fick till största del göras p.g.a. av tidsmässiga skäl. Att undersöka ytterligare miljöer med ljus av annan våglängd eller styrka hade varit av intresse för att kunna jämföra de olika resultaten med varandra ytterligare och koppla dessa till naturliga processer. Till exempel hade effekterna av att ha utsatt ett prov för ljus när det ligger under vatten eller delvis är täckt av annat material varit intressant att jämföra med den typ av

ljusexponering som användes i denna studie, d.v.s. att proverna är helt blottade för ljus.

# 2 Bakgrund

I detta kapitel behandlas bakgrunden till datering med OSL. Först beskrivs begreppen nollställning och ofullständig nollställning. Därefter görs en mer ingående teknisk beskrivning av hur luminiscenssignalen uppkommer på subatomär nivå. Slutligen beskrivs vilka faktorer som krävs för att datering ska vara möjlig.

## 2.1 Nollställning och ofullständig nollställning

Som ovan nämnt är datering med OSL applicerbar p.g.a. ett minerals förmåga att lagra energi och emittera ljus. Detta sker till följd av att mineralkorn påverkas av naturlig bakgrundsstrålning. När ett mineralkorn begravs under mörka/svala förhållanden absorberas radioaktiv strålning genom att elektroner flyttar sig och fastnar i s.k. elektronfällor. När mineralet blir belyst frigörs den ansamlade energin och sänds ut i form av fotoner, luminiscens (Duller 2008a).

Två viktiga begrepp inom ämnet är nollställning samt ofullständig nollställning. Vid nollställning har samtliga elektroner som fastnat i elektronfällor frigjorts och återgått till sitt ursprungliga tillstånd (Duller 2008a). När kornet sedan hamnar under mörka/svala förhållanden, t.ex. när de överlagras av annat sediment under långsamma geologiska processer såsom en flygsanddyn under uppbyggnad, eller snabbare processer som ett jordras som på enstaka sekunder överlagrar mineralet, börjar kornet ackumulera energi.

Om ett mineralkorn blottas för ljus och därefter begravs igen finns risk att mineralkornet endast blivit delvis nollställt, d.v.s. ofullständigt nollställt, alltså att samtliga elektroner som fastnat i elektronfällor inte hunnit frigöras p.g.a. kort exponering av tillförd energi (Duller 2008a). Detta leder till att när bakgrundsstrålningen på nytt ackumuleras i kornet börjar inte ansamlingen på noll utan lagras "ovanpå" tidigare ackumulerad energi. Vid OSL-dateringen kommer kornet därför att ge en skenbart för hög ålder. Det omvända problemet kan också förekomma: om ett prov utsätts för ljus under eller efter provtagning, innan det mäts i OSL-läsaren, kan en del av elektronerna ha hunnit frigöras. Vid datering kan detta leda till att provet verkar skenbart för ungt (Alexanderson, pers. komm.).

Ljus gör alltså att elektronerna börjar lossna från defekterna i atomen, men olika typer av ljus, alltså ljus med olika våglängd och intensitet, har olika effekt på processen. Solens ljus täcker spektrumet 300-4000 nm där ca 8 % utgörs av ultraviolett ljus, 44 % av infrarött ljus och de resterande 48 % utgörs av synligt ljus (SMHI 2013). Moln inverkar på solinstrålningen i den mån att den kan mattas av, d.v.s. intensiteten avtar. Hur stor effekten blir beror på dels på våglängderna men också storleken på dropparna i molnet (SMHI 2013; Göteborgs universitet 2011). Enligt Josefsson (SMHI, pers. komm. 2017) skiljer sig olika dagar inte avsevärt med avseende på den spektrala variationen, men klara dagar kan skilja sig åt beroende på bl.a. mängd vattenånga, ozon och aerosoler. En molnig dag ses relativt sett som mer variabel eftersom molnens egenskaper varierar.

Vid mätning av OSL i laboratorium, d.v.s. vis stimulering av proverna, används främst ljus från det synliga spektrumet såsom ljus från en LED-lampa med en våglängd på 470 nm (blått-grönt ljus) alternativt grön laser med en våglängd på 514 eller 532 nm (Rhodes 2011).

## 2.2 Subatomära processer

De processer som gör att mineral lagrar energi som sedan sänds ut i form av luminiscens sker på subatomär nivå (Fig. 1). När mineralet utsätts för strålning i form av alfa- ( $\alpha$ ), beta- ( $\beta$ ) och gammastrålning ( $\gamma$ ) från de radioaktiva isotoperna av uran, torium och kalium, samt av kosmisk strålning, tillförs så mycket energi att elektroner som under vanliga förhållanden finns i valensbandet höjs upp till ledningsbandet (Fig. 1A) (Duller 2008a). Fig. 1A visar också hur elektronerna förflyttas och fastnar i defekter inom kristallen, så kallade elektronfällor. Elektronerna kan fastna på olika nivåer inom kristallen och ju djupare de sitter desto längre exponeringstid (mer energi) krävs för att de ska frigöras.  $F_1$  och  $F_2$  anger två möjliga elektronfällor.  $E$  anger djupet på en av elektronfällorna. I Fig. 1B redovisas ett "stabil stadium", när energi varken tillförs eller avges. I det tredje och sista steget, Fig. 1C, tillförs energi i form av ljus. Här frigörs elektronerna från defekterna och den energi som blev tillförd under perioden då mineralet utsattes för strålning omvandlas till fotoner, luminiscens. Så fort materialet blir belyst börjar elektronerna lossna från defekterna i kristallen. Efter hand som elektronerna frigörs klingar luminiscensen av tills mineralkornet slutligen är helt nollställt (Duller 2008a).

Många mineral har förmågan att sända ut luminiscens, bl.a. fältspat, calcit och zirkon. Det mineral som anses vara bäst lämpat för datering med OSL är emellertid kvarts, vilket beror på att när elektronerna fastnat

i defekterna blir de relativt stabila vid jämförelse med t.ex. fältspat (Duller 2008a).

## 2.3 OSL-analys och åldersbestämning

För att kunna räkna ut avsättningsåldern på ett sediment krävs två parametrar. Den första parametern är den så kallade ekvivalenta dosen,  $D_e$ , som är den totala strålningen som ackumulerats i mineralet sedan det begravdes. Den andra är bakgrundsstrålningen, dosraten, som berättar hur hög strålning mineralet blivit utsatt för per år. För att få en uppfattning om på vilket sätt luminiscenssignaler påverkar åldersbestämningen redogörs nedan hur de olika parametrarna används i en ekvation. För att ta reda på när ett mineral senast blev belyst används faktorerna i en ekvation på följande sätt:

$$\text{ålder} = \frac{\text{total strålning ackumulerad i mineralet}}{\text{mängden strålning som mineralet blivit utsatt för per år}}$$

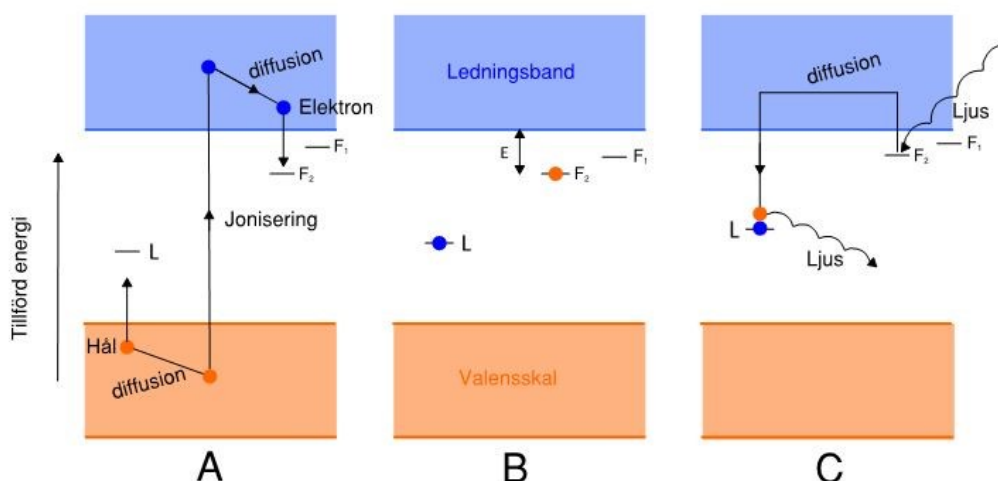
Formeln

kan även skrivas om enligt följande:

$$\text{ålder (år)} = \frac{\text{ekvivalent dos } (D_e) \text{ [Gy]}}{\text{bakgrundsstrålning [Gy/år]}}$$

### 2.3.1 Mätning av $D_e$

För att mäta den ekvivalenta dosen,  $D_e$ , kan något som kallas för regeneration tillämpas. Regeneration går ut på att den mängd luminiscens ett mineralkorn ackumulerat under naturliga förhållanden mäts med hjälp av OSL och på så vis blir nollställt. Därefter utsätts samma prov för en bestämd mängd strålning för att sedan mätas och nollställas igen. Då testas hur mycket strålning som motsvarar den mängd luminiscens som mättes efter att provet endast blivit utsatt för sin naturliga dos.



Figur 1. De processer som gör datering med OSL möjlig sker på subatomär nivå. (A) Energi tillförs och elektroner exciteras från valensbandet till ledningsbandet. Härifrån förflyttas de sig och fastnar i defekter inom atomen, så kallade elektronfällor ( $F_1$  och  $F_2$ ). (B) Atomen i stabilt läge, när energi varken tillförs eller avges. (C) Energi tillförs i form av ljus. Elektronerna frigörs från defekterna och ackumulerad energi omvandlas till fotoner, luminiscens (Modifierad från Duller 2008a).



Vid regeneration används något som kallas för SAR-protokoll (Murray & Wintle 2000, 2003), där SAR står för *single aliquot regenerative dose*. SAR-protokollet består av olika mätcykler, där målet är att ta reda på hur hög dos mineralet ackumulerat under tiden som det legat begravt. I sammanhanget används enheten Gray (Gy), som är detsamma som J/kg och anger den absorberade strålningsdosen.

Figur 2 visar de olika cyklerna som utgör ett SAR-protokoll. Varje cykel består av ett antal steg. I varje cykel ingår förvärmning av provet för att elektroner i instabila fällor ska försvinna. Tid och temperatur varierar från prov till prov. Därefter mäts provet i OSL-läsaren och en kurva erhålls (Duller 2008a). Kurvan visar hur delproverna emitterar luminiscens under mätningens gång. Ett prov som anses vara bra för mätning med OSL har en kurva som snabbt avtar och sedan planar ut.

Vid mätning belyses (stimuleras) delproverna med en bestämd våglängd, som beror på vilken ljuskälla som används (t.ex. om det är LED eller laser). För att mäta luminiscensen används en fotomultiplikator. Fotomultiplikatorn läser av de våglängder som delproverna sänder ut, men de våglängder som används för att stimulera delproverna stängs ute (Rhodes 2011). Som steg två i varje cykel utsätts provet för en testdos som undersöker provets luminiscenskänslighet, d.v.s. om provets egenskaper förändras mellan de olika cyklerna (Duller 2008a). Testdosen är densamma för samtliga delprover, i detta exempel 5 Gy. I varje experiment utförs upp till 6-7 cykler.

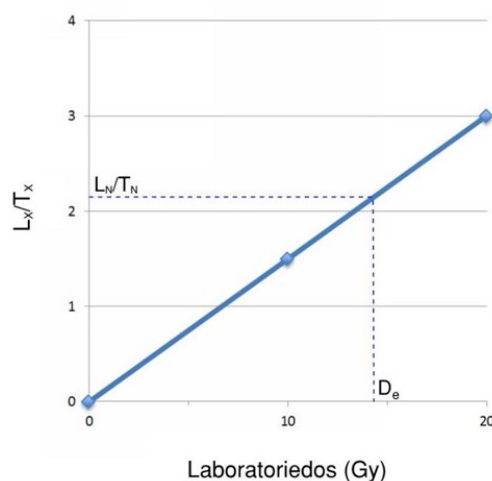
För att räkna ut  $D_e$  divideras den naturliga eller regenererade dosen ( $L_x$ ) med testdosen ( $T_x$ ) från samma cykel, d.v.s.  $L_N/T_N$ ,  $L_1/T_1$  o.s.v. Resultaten plottas i en graf (Fig. 3) och således kan  $D_e$  beräknas (Duller 2008a).

### 2.3.2 Mätning av bakgrundsstrålning

För att kunna beräkna åldern på ett mineral korns krävs förutom den ekvivalenta dosen även att mängden bakgrundsstrålning mäts. Vid mätning av bakgrundsstrålning undersöks hur mycket strålning ett prov absorberat under ett år. Det finns fyra olika typer av naturlig strålning: alfastrålning ( $\alpha$ ), betastrålning ( $\beta$ ), gammastrålning ( $\gamma$ ) och kosmisk strålning (Duller 2008a). Alfa-, beta- och gammastrålning härstammar från den omgivande miljön, men kan även komma från mineralet själv. Majoriteten av strålningen härstammar från isotoper av uran, torium och kalium. För att beräkna mängden alfa-, beta- och gammastrålning finns två tillvägagångssätt. Det första sättet innebär att koncentrationen av uran, torium och kalium mäts och används för att beräkna hur mycket strålning provet blivit utsatt

för. Det andra alternativet innebär en direkt mätning av strålningen, t.ex. genom att använda en gamma-spektrometer (Duller 2008a).

Den fjärde strålningstypen, kosmisk strålning, härstammar från rymden. För att beräkna mängden kosmisk strålning finns standardberäkningar (Prescott & Hutton 1994) där den viktigaste faktorn utgörs av tjockleken på överliggande avlagringar eller berg. Beräkningarna blir följaktligen mer komplexa om tjockleken på överliggande massor förändrats drastiskt sedan provmaterialet begravdes (Duller 2008a).



Figur 3. För att räkna ut  $D_e$  används provets naturliga dos och genom att plotta in resultaten från när provet blivit bestrålat på konstgjord väg, d.v.s. i laboratoriet, går det att avläsa hur hög laboratoriedos som motsvarar värdet från provets naturliga dos (Modifierad från Rhodes 2011).

## 3 Material och metod

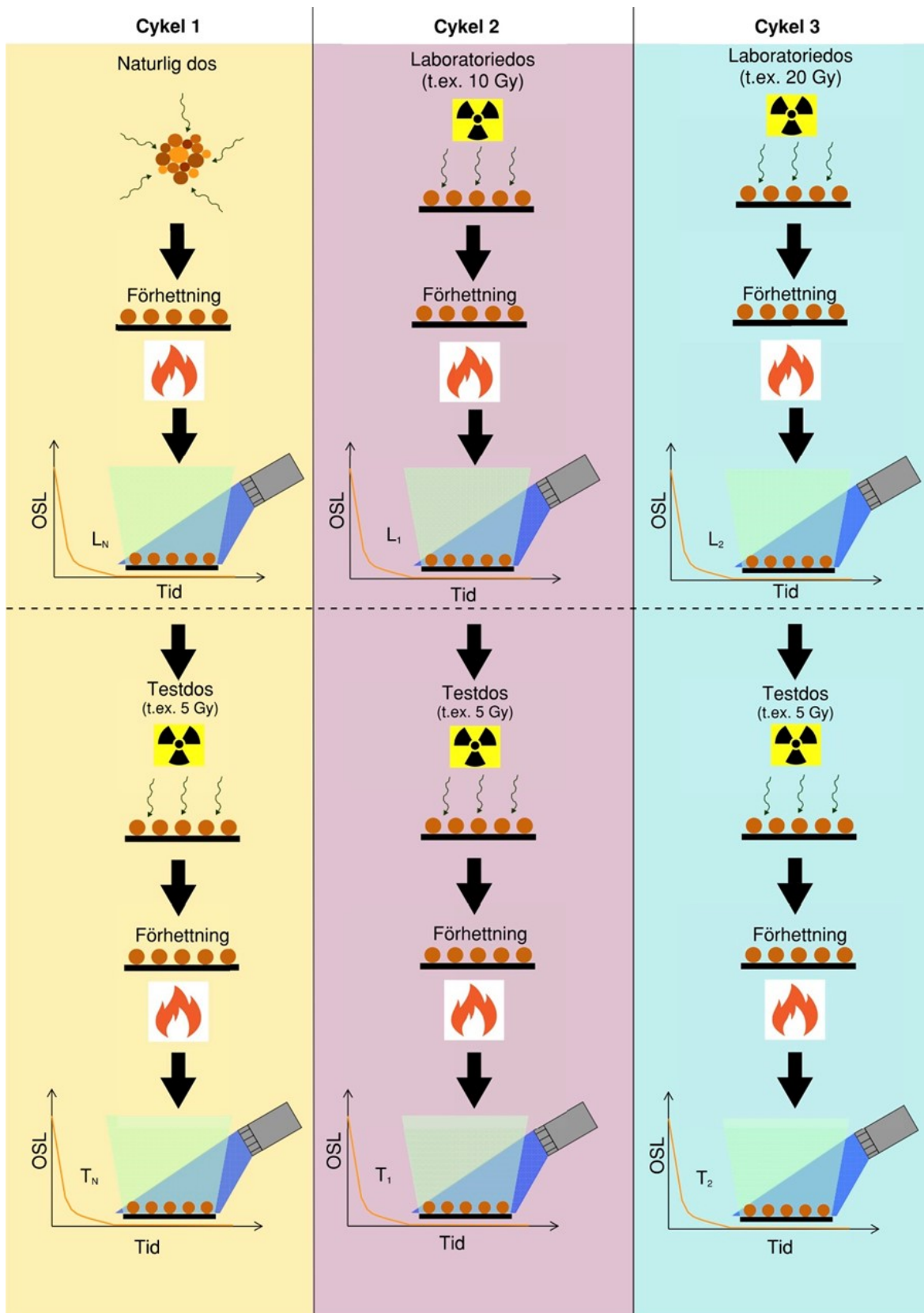
I detta avsnitt behandlas material och tillvägagångssätt för utförda experiment. Först presenteras vilka prover som användes vid experimenten och vilka förberedelser som gjordes. Därefter nämns hur experimenten utfördes och slutligen beskrivs mätningarna i OSL-läsaren.

### 3.1 Prover

Till försöken användes tre olika prover, samtliga med olika ursprung och ekvivalent dos (Tabell 1). Samtliga prover har uttagits av Helena Alexanderson. Analyserna utfördes på de alla naturligt ingående kornstorlekar som dominerades av sandfraktionen för samtliga av proverna.

Tabell 1. Sammanställning av de använda provernas ursprung, deras naturliga dos samt i vilka publikationer proverna finns omnämnda.

Provnr	Lokal	Område	Genes	Dos (Gy)	Referens
13039	Orsa	Dalarna	Isälvsdelta	47,9±1,1	Alexanderson & Bernhardson (2016)
13028	Skattungheden	Dalarna	Flygsanddyn	36,4±0,6	Alexanderson & Bernhardson (2016)
15001	Höllviken	Skåne	Strandsand	4,9±0,1	Alexanderson, opublicerad

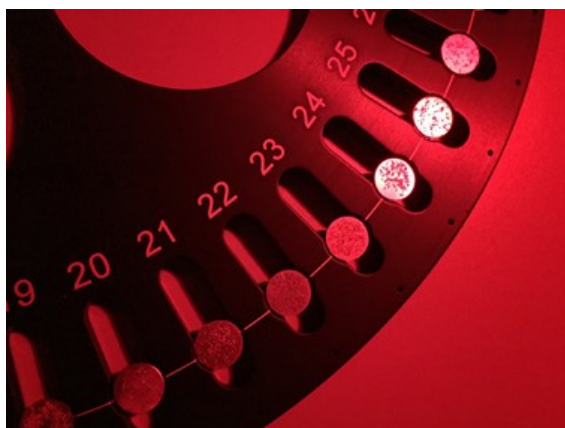


Figur 2. Exempel på tre cykler som kan ingå i ett SAR-protokoll. (Cykel 1) Provet förvärms och dess naturliga dos mäts med OSL. (Cykel 2) Provet bestrålas med 10 Gy, förvärms och mäts med OSL. (Cykel 3) Provet bestrålas med 20 Gy, förvärms och mäts med OSL. Efter varje mätning av naturlig dos eller laboratoriedos bestrålas provet även med en testdos, i detta fall 5 Gy, för att undersöka dess luminiscenskänslighet (Modifierad från Duller 2008a).

### 3.2 Förberedelser

Materialet var opreparerat och för att uppnå bättre resultat vid mätning i OSL-läsaren utfördes en densitetsseparation på samtliga prover med syfte att separera kvarts från fältspat. Separationen utfördes i mörkrum och vätskan som användes var LST Fastfloat med en densitet på  $2,62 \text{ g/cm}^3$ . Detta resulterade i att den lättare fältspaten flöt upp och kunde separeras från den tyngre kvartsen som låg kvar på botten av provröret. Efter separationen torkades proverna i ugn vid  $30^\circ\text{C}$  över natten. Materialet i prov 13039 visade sig innehålla många magnetiska mineralkorn ( $>2,62 \text{ g/cm}^3$ ) som togs bort med hjälp av en magnet.

Till försöken användes dels släta brickor i rostfritt stål (Fig. 4) men även skålformade brickor, så kallade *cups*. Brickorna är ca 8 mm stora. Båda typer av brickor sprayades med silikonspray för att provmaterialet skulle fästa, detta för att maximera chanserna att provmaterialet skulle ligga kvar på brickorna under experimenten.



Figur 4. Släta brickor i rostfritt stål preparerade med provmaterial. Brickorna är ca 8 mm stora och på bilden ligger de i det hjul som sätts in i OSL-läsaren för att delproverna ska kunna mätas (Foto: Alma Lindvall).

### 3.3 Experiment

För att kunna kontrollera exponeringstiden användes ljustäta behållare med lock. De burkar som användes var av plåt och hade varierande storlek och form. De minsta burkarna var ca 1 dm i diameter och de största ca 2 dm i diameter. Kanten på burkarna var 1-3 cm höga. De preparerade brickorna med prover sattes fast i botten av burkarna m.h.a. häftmassa. I varje burk fanns tre delprover från varje avsättningsmiljö, totalt nio delprover i varje burk. Proverna särskildes med hjälp av tejp märkt med provnummer som sattes fast i botten av burkarna, bredvid respektive prover. För att samtliga delprover skulle exponeras så likvärdigt som möjligt hölls eller stod burkarna riktade mot ljuset. På så vis undveks att några av delproverna föll i skugga till följd av kanterna på burkarna.

De olika typer av ljusförhållanden som användes vid experimenten var en solig dag, en molnig dag samt skymnings-/nattljus. Experimenten som gjordes en solig dag utfördes den 11 april 2017 från ca klockan 13 och en timme framöver. Vid denna tidpunkt fanns enstaka moln på himlen som tycktes ligga relativt lågt. Exponering av delprover en molnig dag gjordes den 10

april 2017 från ca klockan 15 och en timme framöver. Vid detta tillfälle var så gott som hela himmeln täckt av grå, högt belägna moln. Enstaka hål i molntäcket förekom och solen tittade då fram. På grund av det varierade vädret utfördes dessa experiment bakom en byggnad, i skugga. På så vis undveks perioder med skarpare solljus. Det sista försöket utfördes i skymning-/nattljus den 19 april från ca klockan 21 i ett bostadsområde. Vid exponeringstillfällena fanns förutom det naturliga ljuset främst två andra typer av ljuskällor, dels ljus från kringliggande hus, men även från gatlampor. Dessa ljuskällor fanns som närmst ca 10 meter från försöksplatsen. Samtliga experiment utfördes i Lund.

Vid exponering togs locket på burkarna av och sattes på igen efter varje tidsintervall. Burkarna togs in i laboratoriet så snart som möjligt efter exponeringen. I laboratoriet togs provbrickorna loss från burkarna och sorterades för att det skulle bli lättare att lägga in proverna i läsaren när det var dags för mätning. För de prover som exponerades för ljus under soligt respektive molnigt förhållande användes nio olika tidsintervall. För experimentet som utfördes i skymnings-/nattljus användes åtta olika tidsintervall (Tabell 2). Sammanlagt användes 234 delprover till experimenten.

Tabell 2. Exponeringstider för de olika ljusförhållandena: soligt, molnigt och skymning/natt. Tre delprover användes för respektive tid och prov.

Soligt	Molnigt	Skymning/natt
5 sekunder	5 sekunder	15 sekunder
10 sekunder	10 sekunder	30 sekunder
30 sekunder	30 sekunder	1 minut
1 minut	1 minut	5 minuter
2 minuter	2 minuter	15 minuter
5 minuter	5 minuter	30 minuter
10 minuter	10 minuter	1 timme
30 minuter	30 minuter	3 timmar
1 timme	1 timme	-

### 3.4 Mätning med OSL

Efter att proverna exponerats under olika tidsintervall mättes de i en OSL-läsare. Den maskin som användes för att utföra analyserna var en Risø TL/OSL reader model DA-20 (Bøtter-Jensen et al. 2002) som finns i Lunds luminiscenslaboratorium. Läsaren, som har en dosrat på ca  $0,17 \text{ Gy/s}$ , vilket betyder att delproverna bestrålas med  $0,17 \text{ Gy/s}$ , har möjlighet att utföra mätningar för optisk stimulering med både blå LED (470 nm) samt infrarött ljus (IRSL, 830 nm). Det infraröda ljuset används vid stimulering av fältspat. Mätning m.h.a. blå LED gjordes på samtliga prover, kompletterat med IRSL vid mätning av prov 15001 då det trots densitetsseparation tycktes innehålla en hel del mineral som reagerade på det infraröda ljuset, förmodligen fältspat. Genom att använda IRSL reagerade dessa mineral och började sända ut luminiscens medan kvartsen, som fokus låg på, sände ut luminiscens först

vid stimulering av den blå LED-lampan (Duller 2003). Inställningar för mätningarna ställdes in i programmet SequenceEditor v. 4.42. Vilka inställningar som användes varierade för de olika proven. Eftersom tidigare mätningar (Alexanderson & Bernhardson 2016; Alexanderson, pers. komm.) har visat vilka värden som fungerar bra just för dessa prover användes dessa (Bilaga 1).

### 3.5 Beräkning av dos

Programmet som användes för beräkning av dos var Risø Analyst v. 4.31.9. Vid sammanställning av resultaten har så många som möjligt av provresultaten använts. En begränsning var att den maximala felmarginalen på testdosen sattes till 14 %, d.v.s. de delprover där testdosen översteg 14 % felmarginal finns inte redovisade i studien. Gränsen valdes då många av delproverna fick värden vid just denna gräns. Vid kurvanpassning användes *exponential fit*. Under inställningen *integration limits* sattes *signal* till 1-5 och *BG (Background)* till 6-10. Därtill valdes att dosen skulle omvandlas till Gray. Resultaten plottades slutligen i diagram i Excel.

## 4 Resultat

Nedan redovisas sammanställningen av resultaten från samtliga mätningar. Figuren visar hur mycket strålning som finns kvar i delproven efter en viss tid av exponering för ljus. Varje punkt representerar ett delprov och för varje punkt redovisas även felmarginalen, vilken ofta överlappar mellan de tre delproverna.

### 4.1 Experiment 1—soligt ljusförhållande

Nedan redovisas sammanställningen av resultaten från mätningarna som gjordes på de delprover som utsattes för soligt ljusförhållande.

#### 4.1.1 Prov 13039

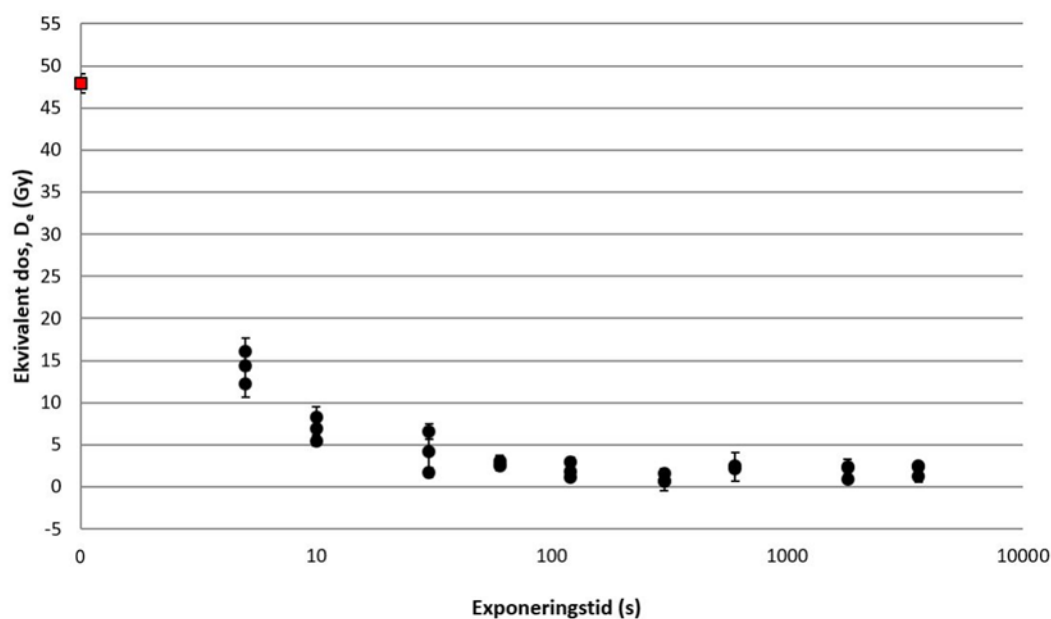
Provets naturliga dos var  $47,9 \pm 1,1$  Gy (Tabell 1). I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 16,08 till 0,66 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 5 sekunder, och den lägsta nivån efter 300 sekunder (5 minuter). Resultaten i de tre delproverna är generellt väl överensstämmande (Fig. 5). De största skillnaderna mellan delproverna är ca 74 % eller 4,83 Gy, och påvisades i delproverna som exponerades i 30 sekunder. Från ca 60 sekunder ses inte längre någon tydligt nedåtgående trend. Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (2,0 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (3600 sekunder/1 timme) i detta försök är 45,9 Gy eller 96 % av den naturliga dosen.

#### 4.1.2 Prov 13028

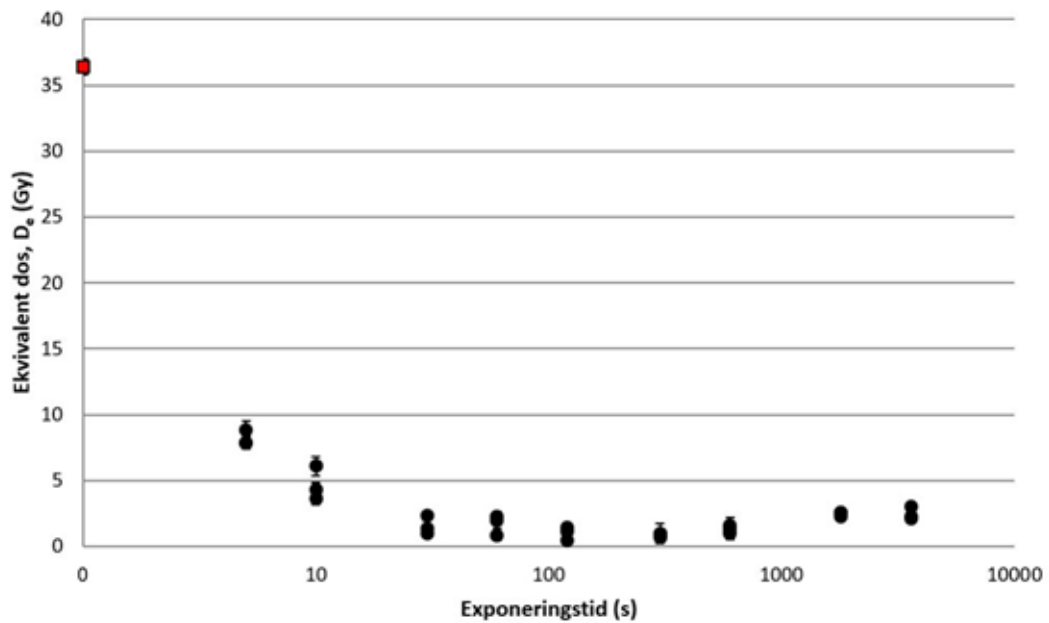
Provets naturliga dos var  $36,4 \pm 0,6$  Gy (Tabell 1). I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 8,85 till 0,47 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 5 sekunder, och den lägsta nivån efter 120 sekunder (2 minuter). Resultaten i de tre delproverna är generellt väl överensstämmande (Fig. 6). De största skillnaderna mellan delproverna är ca 41 % eller 2,47 Gy, och påvisades i delproverna som exponerades i 10 sekunder. Från ca 30 sekunder ses inte längre någon tydligt nedåtgående trend. Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (2,47 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (3600 sekunder/1 timme) i detta försök är 33,93 Gy eller 93 % av den naturliga dosen.

#### 4.1.3 Prov 15001

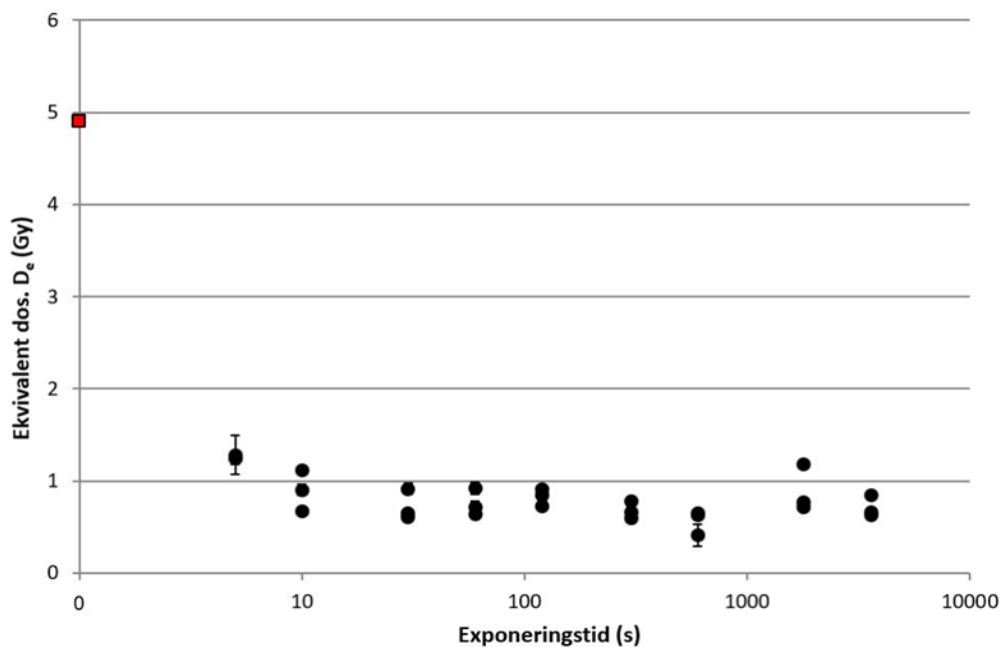
Provets naturliga dos var  $4,9 \pm 0,1$  Gy (Tabell 1). I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 1,28 till 0,41 Gy, med de högsta nivåerna i



Figur 5. Sammanställning av resultaten för prov 13039 under soligt förhållande. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.



Figur 6. Sammanställning av resultaten för prov 13028 under soligt förhållande. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.



Figur 7. Sammanställning av resultaten för prov 15001 under soligt förhållande. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.



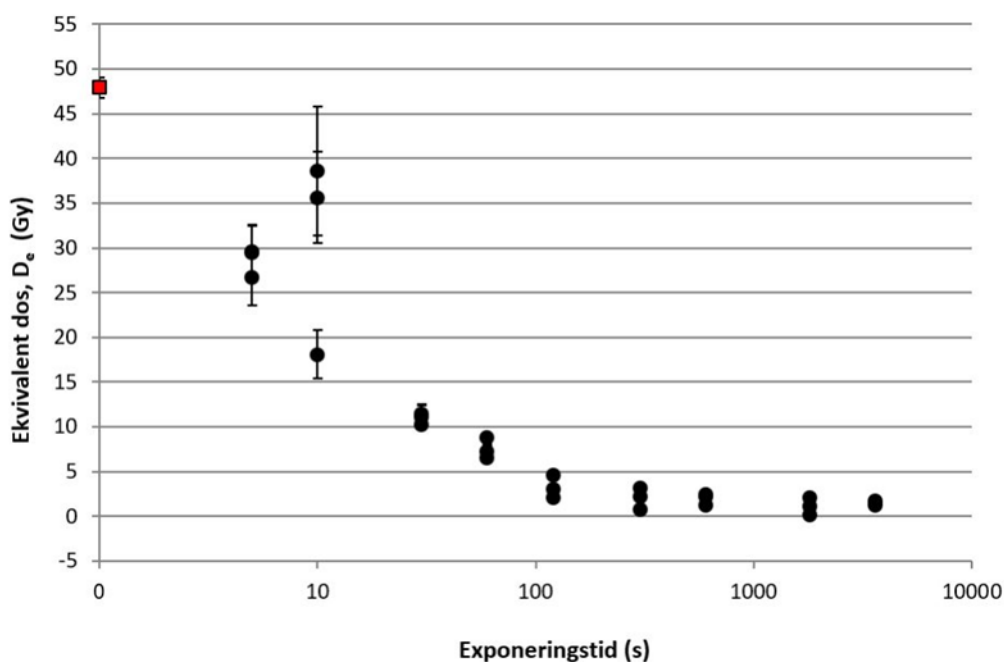
delproverna som utsattes för ljus i 5 sekunder, och den lägsta nivån efter 600 sekunder (10 minuter). Resultaten i de tre delproverna är generellt väl överensstämmande (Fig. 7). De största skillnaderna mellan delproverna är ca 40 % eller 0,47 Gy, och påvisades i delproverna som exponerades i 1800 sekunder (30 minuter). Från ca 10 sekunder ses inte längre någon tydligt nedåtgående trend. Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (0,71 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (3600 sekunder/1 timme) i detta försök är 4,19 Gy eller 86 % av den naturliga dosen.

## 4.2 Experiment 2—molnigt ljusförhållande

Nedan redovisas sammanställningen av resultaten från mätningarna som gjordes på de delprover som utsattes för molnigt ljusförhållande.

### 4.2.1 Prov 13039

I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 16,08 till 0,66 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 5 sekunder, och den lägsta nivån efter 1800 sekunder (30 minuter). Resultaten i de tre delproverna är generellt väl överensstämmande (Fig. 8). De största skillnaderna mellan delproverna är ca 74 % eller 4,83 Gy, och påvisades i delproverna som exponerades i 30 sekunder. Från ca 60-120 sekunder (1-2 minuter) ses inte längre någon tydligt nedåtgående trend. Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (1,45 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (3600 sekunder/1 timme) i detta försök är 46,45 Gy eller 97 % av den naturliga dosen.



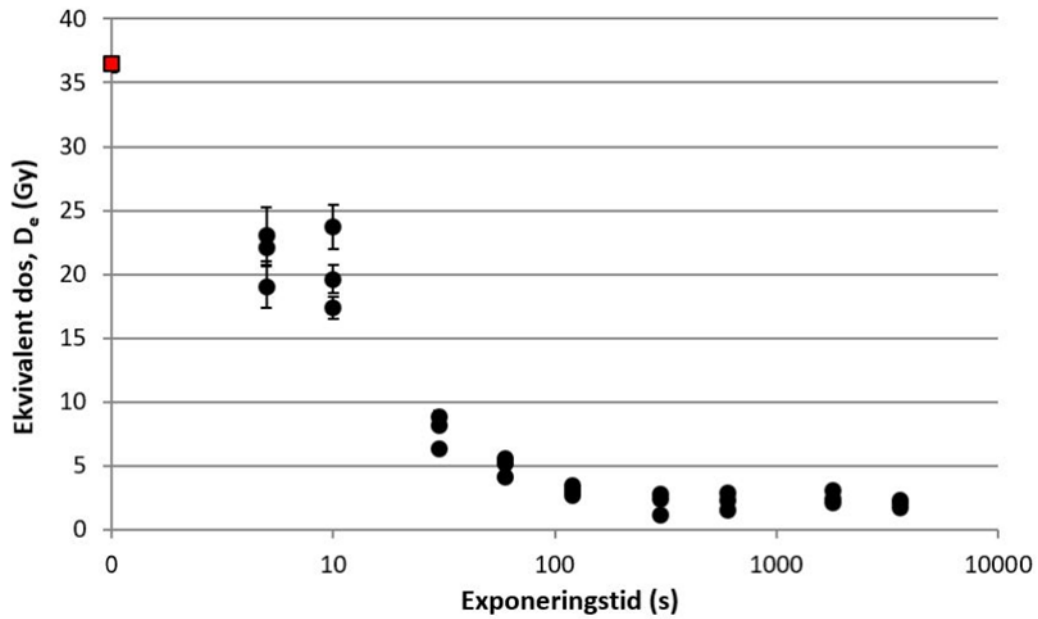
Figur 8. Sammanställning av resultaten för prov 13039 under molnigt förhållande. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.

### 4.2.2 Prov 13028

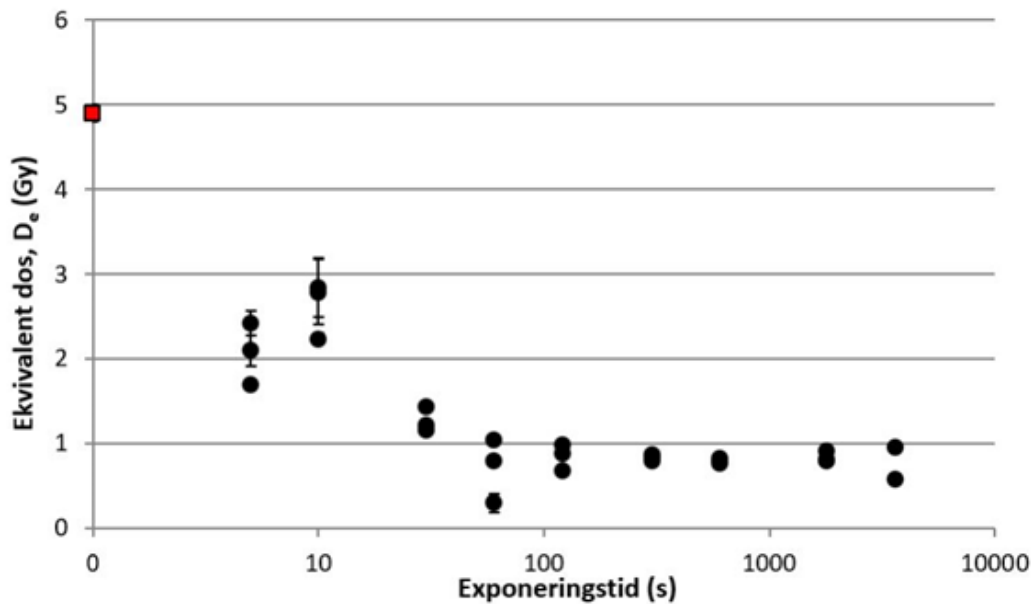
I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 23,73 till 1,12 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 10 sekunder, och den lägsta nivån efter 300 sekunder (5 minuter). Resultaten i de tre delproverna är generellt väl överensstämmande (Fig. 9). De största skillnaderna mellan delproverna är ca 27 % eller 6,36 Gy, och påvisades i delproverna som exponerades i 10 sekunder. Från ca 60-120 sekunder (1-2 minuter) ses inte längre någon tydligt nedåtgående trend. Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (2,02 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (3600 sekunder/1 timme) i detta försök är 34,38 Gy eller 94 % av den naturliga dosen.

### 4.2.3 Prov 15001

I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 2,84 till 0,3 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 10 sekunder, och den lägsta nivån efter 60 sekunder (1 minuter). Resultaten i de tre delproverna är generellt väl överensstämmande (Fig. 10). De största skillnaderna mellan delproverna är ca 71 % eller 1,34 Gy, och har påvisats i delproverna som exponerades i 60 sekunder (1 minut). Från ca 60 sekunder ses inte längre någon tydligt nedåtgående trend. Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (0,77 Gy) på dosen för de två delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (3600 sekunder/1 timme) i detta försök är 4,13 Gy eller 84 % av den naturliga dosen.



Figur 9. Sammanställning av resultaten för prov 13028 under molnigt förhållande. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.



Figur 10. Sammanställning av resultaten för prov 15001 under molnigt förhållande. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.

### 4.3 Experiment 3—skymning och natt

Nedan redovisas sammanställningen av resultaten från mätningarna som gjordes på de delprover som utsattes för ljus i skymning och nattetid.

#### 4.3.1 Prov 13039

I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 44,85 till 11,02 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 60 sekunder, och den lägsta nivån efter 10800 sekunder (3 timmar). Resultatet visar ingen tydlig trend (Fig. 11). Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (28,76 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (10800 sekunder/3 timmar) i detta försök är 18,63 Gy eller 40 % av den naturliga dosen.

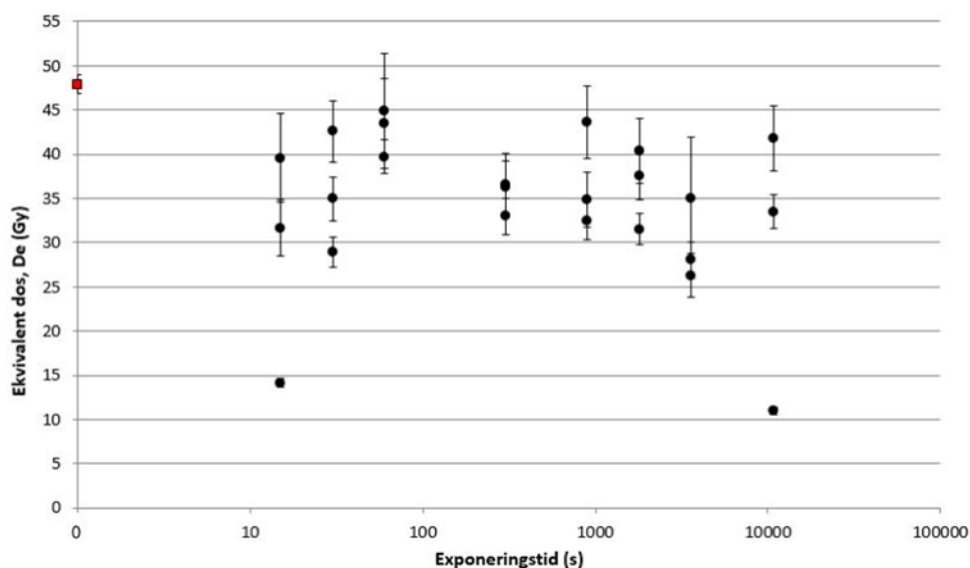
#### 4.3.2 Prov 13028

I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 47,43 till 24,29 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 3600 sekunder (1 timme), och den lägsta nivån efter 30 sekunder. Resultatet visar ingen tydlig trend (Fig. 12). Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (30,36 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (10800 sekunder/3 timmar) i detta försök är 6,04 Gy eller 17 % av den naturliga dosen.

tatet visar ingen tydlig trend (Fig. 12). Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (30,36 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (10800 sekunder/3 timmar) i detta försök är 6,04 Gy eller 17 % av den naturliga dosen.

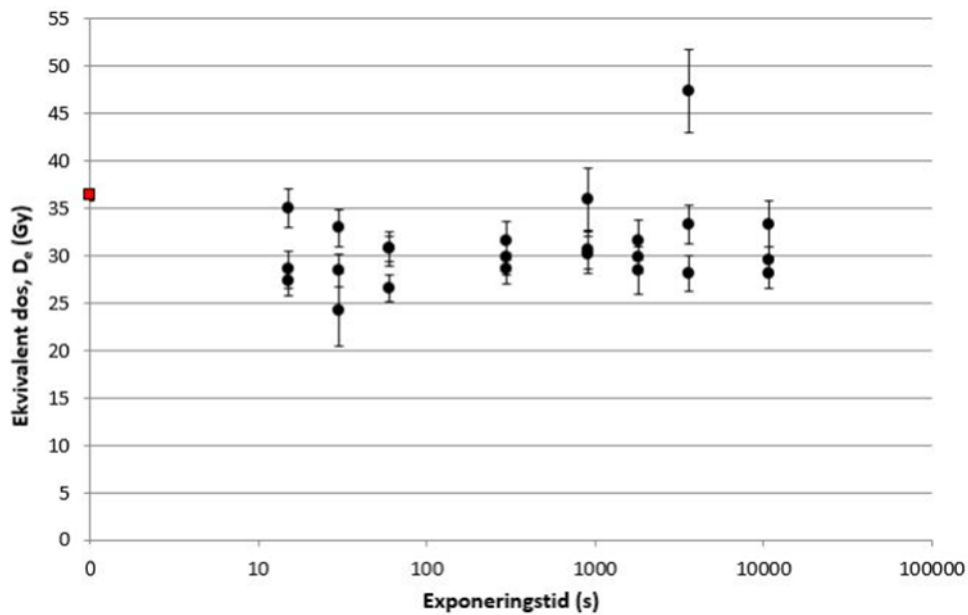
#### 4.3.3 Prov 15001

I de analyserade delproverna varierar den ekvivalenta dosen från 5,4 till 2,04 Gy, med de högsta nivåerna i delproverna som utsattes för ljus i 1800 sekunder (30 minuter), och den lägsta nivån efter 900 sekunder (15 minuter). Resultatet visar ingen tydlig trend (Fig. 13). Skillnaden mellan provets naturliga dos och ett medelvärde (3,6 Gy) på dosen för de tre delprover som exponerades för det längsta tidsintervallet (10800 sekunder/3 timmar) i detta försök är 1,3 Gy eller 27 % av den naturliga dosen.

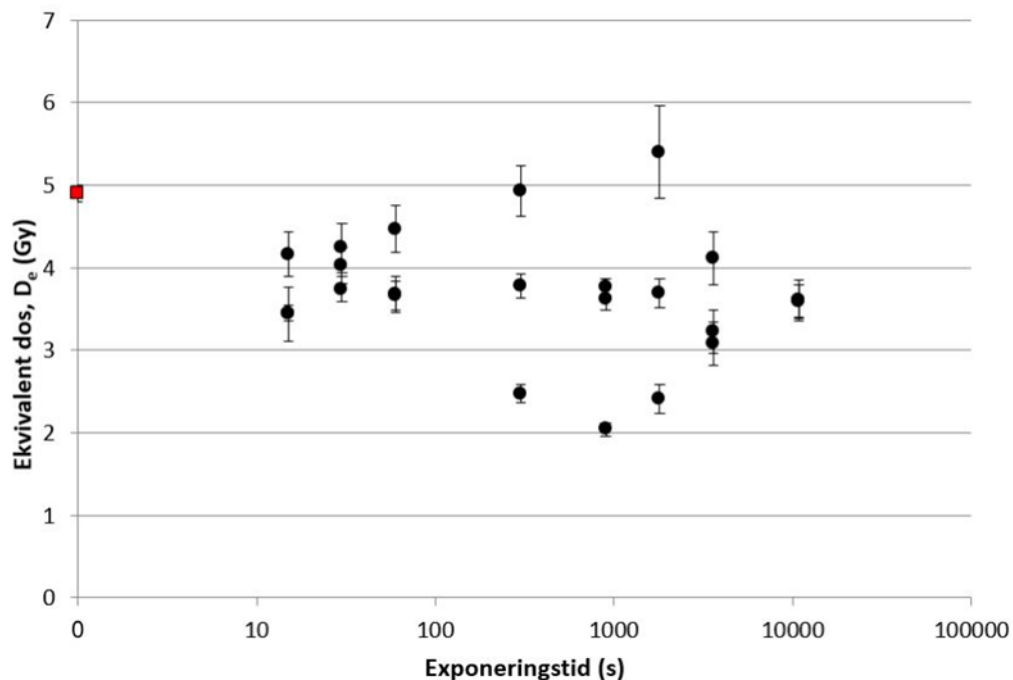


Figur 11. Sammanställning av resultaten för prov 13039 som exponerades för skymnings-/nattljus. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.





Figur 12. Sammanställning av resultaten för prov 13028 som exponerades för skymnings-/nattljus. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.

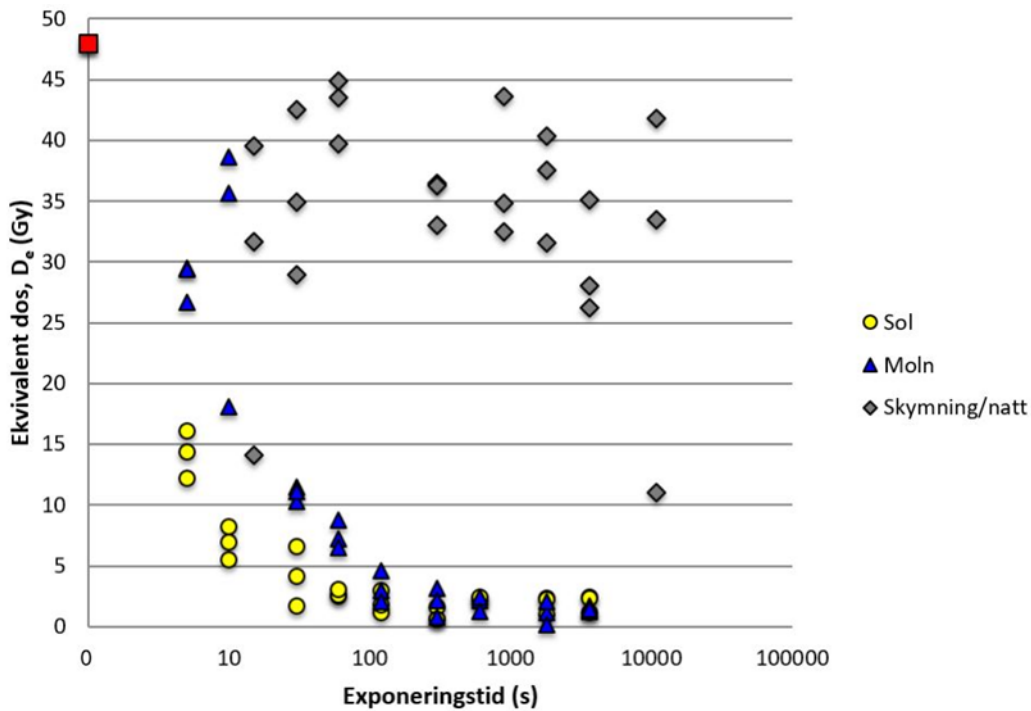


Figur 13. Sammanställning av resultaten för prov 15001 som exponerades för skymnings-/nattljus. Varje svart punkt motsvarar en mätning. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.

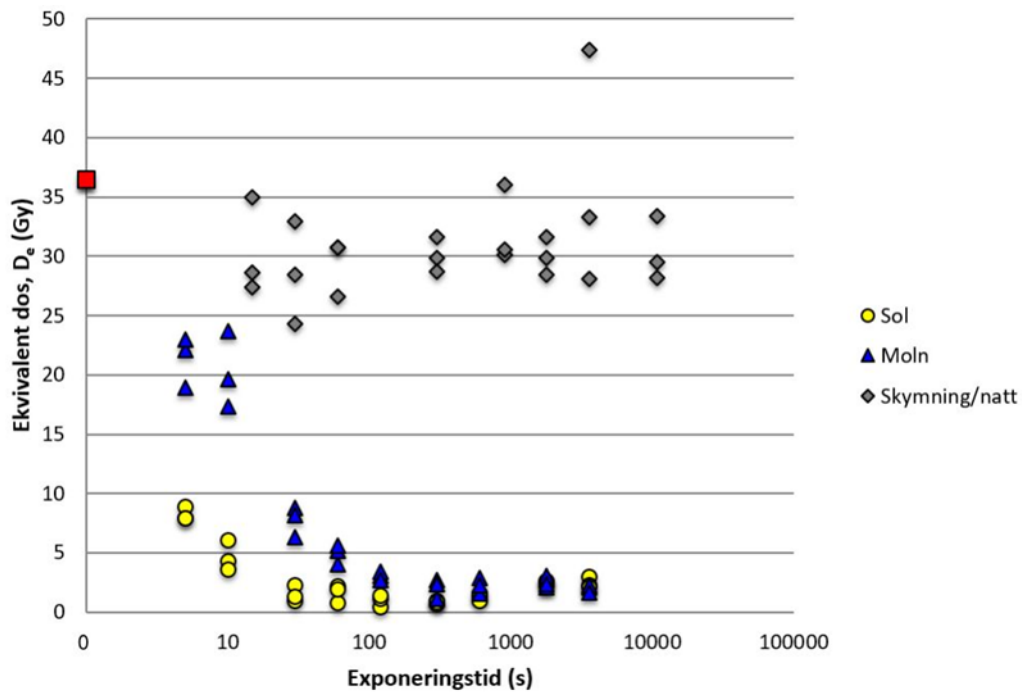
#### 4.4 Sammanfattning av resultat

För att kunna jämföra hur resultaten för proverna skiljer sig beroende på ljusförhållande har dessa samman-

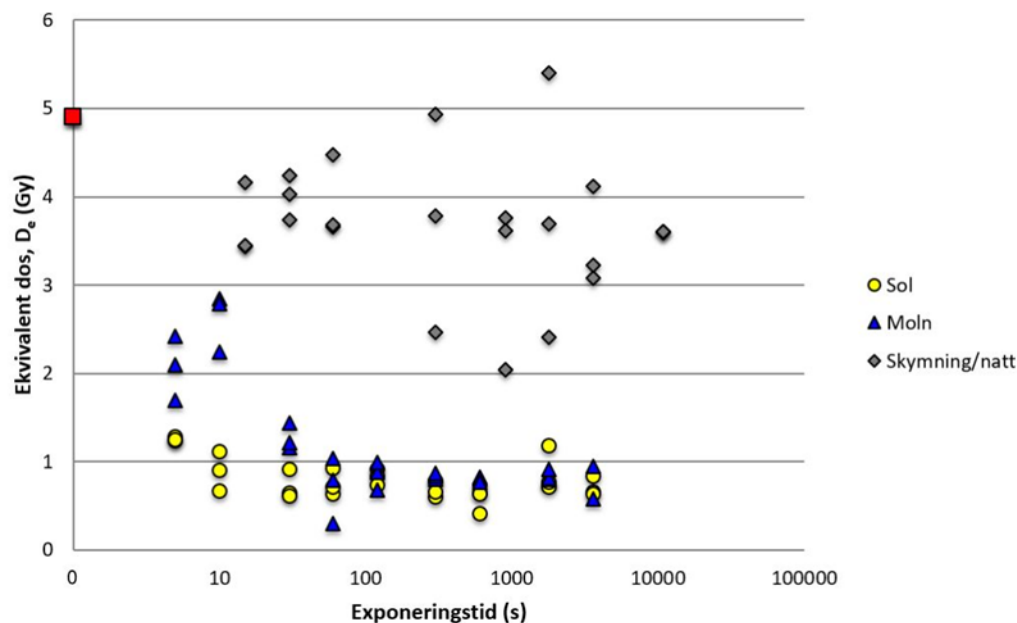
fattats i tre diagram (Fig. 14-16). I tabell 3 redovisas en skriftlig sammanställning av resultaten för proverna under de olika ljusförhållandena.



Figur 14. Sammanställning av resultaten för prov 13039 under samtliga ljusförhållanden. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.



Figur 15. Sammanställning av resultaten för prov 13028 under samtliga ljusförhållanden. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.



Figur 16. Sammanställning av resultaten för prov 15001 under samtliga ljusförhållanden. Den röda kvadraten representerar provets naturliga dos, alltså den dos provet hade innan det utsattes för ljus.

Tabell 3. Sammanfattning av resultaten för de utförda experimenten.

	Prov 13039	Prov 13028	Prov 15001
<b>Soligt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion av OSL-signal med 66-75 % efter fem sekunder</li> <li>- Tydligt nedåtgående trend, d.v.s. minskning av luminescenssignalen</li> <li>- Från ca 60 sekunders ljusexponering ses ingen tydlig trend att luminescenssignalen fortsätter klinga av</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 2 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 96 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion av OSL-signal med 75-80 % efter fem sekunder</li> <li>- Tydligt nedåtgående trend, d.v.s. minskning av luminescenssignalen</li> <li>- Från ca 30 sekunders ljusexponering ses ingen tydlig trend att luminescenssignalen fortsätter klinga av</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 2,47 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 93 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion av OSL-signal med 75-80 % efter fem sekunder</li> <li>- Tydligt nedåtgående trend, d.v.s. minskning av luminescenssignalen</li> <li>- Från 10 sekunders ljusexponering ses ingen tydlig trend att luminescenssignalen fortsätter klinga av</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 0,71 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 86 %</li> </ul>
<b>Molnigt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion av OSL-signal med ca 40-44 % efter fem sekunder</li> <li>- Från 1-2 minuters ljusexponering ses ingen tydlig trend att luminescenssignalen fortsätter klinga av</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 1,45 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 97 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion av OSL-signal med ca 45 % efter fem sekunder</li> <li>- Från 1-2 minuter ljusexponering ses ingen tydlig trend att luminescenssignalen fortsätter klinga av</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 2,02 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 94 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduktion av OSL-signal med ca 60 % efter fem sekunder</li> <li>- Från 60 sekunders ljusexponering ses ingen tydlig trend att luminescenssignalen fortsätter klinga av</li> <li>- Medelvärdet på de två delproverna efter det längsta tidsintervallet är 0,77 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 84 %</li> </ul>
<b>Skymning/natt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultatet visar ingen tydlig trend</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 28,76 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 40 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultatet visar ingen tydlig trend</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 30,36 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 17 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultatet visar ingen tydlig trend</li> <li>- Medelvärdet på de tre delproverna efter det längsta tidsintervallet är 3,6 Gy vilket innebär en reducering av luminescenssignalen med 27 %</li> </ul>

Resultaten visar att luminiscenssignalen reduceras drastiskt för samtliga tre prover redan efter fem sekunder efter att de blivit exponerade för ljus under soliga och molniga förhållanden. Reduktionen av signalen går snabbast under soliga förhållanden där den minskar med 66-80 % beroende på prov efter fem sekunder. Under molniga förhållanden minskar den inte lika mycket, 40-60 %. Ur diagrammen (Fig. 5-10, 13-15) går också att utläsa att minskningen av signalen snabbt klingar av och kurvan planar ut. Detta sker efter 10-60 sekunder under soligt förhållande och 1-2 minuter under molnigt förhållande. I diagrammen som illustrerar resultaten för experimenten som utfördes i skymning/nattetid (Fig. 11-13, 13-15), ses ingen tydlig trend att OSL-signalen minskar för något av proverna.

## 5 Diskussion

### 5.1 Felkällor

I denna studie finns en del felkällor att ta i beaktning. Till att börja med kan nämnas mängden korn på varje bricka. För få korn vid mätning kan leda till lägre intensitet vilket i sin tur kan leda till att mätningen inte blir korrekt (Duller 2008b). Olika mycket korn på varje bricka gör också skillnaden mellan delprov större. För att undvika detta är det således av vikt att brickorna förses med ungefär lika mycket material för att få ett så korrekt resultat som möjligt.

En annan eventuell felkälla i studien är om de burkar som användes vid försöken inte var helt ljusstäta. På så vis skulle ljus kunna sippra in och börja nollställa proverna innan de faktiskt blivit exponerade under kontrollerade förhållanden. Resultaten verkar dock trovärdiga eftersom endast ett fåtal delprover skiljer sig avsevärt från de övriga. Burkarna som användes vid experimenten verkar därför ha varit tillräckligt ljusstäta.

Vid försöken har de olika burkarna öppnats för att proverna ska kunna bli exponerade för solljus. Trots noggrannhet med tidtagningen finns risken att proverna blivit utsatta för olika mängd ljus p.g.a. olika lång exponeringstid. Denna felkälla påverkar troligtvis de korta exponeringsintervallerna mest där enstaka sekunder kan göra stor skillnad för hur mycket luminiscens som avges eller inte avges. Eftersom den ekvivalenta dosen påverkas av exponeringstiden kan inkorrekt ekvivalent dos resultera i missvisade resultat om den används för datering. I denna studie förknippas däremot felaktig exponeringstid med felaktig tolkning av resultaten. Detta eftersom syftet med studien är att undersöka hur lång tid påverkan och eventuell nollställning av ett prov tar, och om exponeringstiden är längre eller kortare i verkligheten än vad den tros vara, resulterar detta i missvisande resultat. På så vis kan även slutsatser som förknippas med t.ex. provets mineralinnehåll vara missvisande.

Det föreligger även en liten risk att proverna har blandats ihop, antingen innan eller efter experimenten utförts, men noggrannhet vid hantering av proverna bör ha gjort riskerna för denna felkälla försumbara.

Vidare ska nämnas att vid komplett datering med OSL finns desto fler felkällor, många relaterade till hur mycket strålning material kan ha utsatts för. Eftersom datering inte var aktuellt i denna studie, som endast syftade till att undersöka hur snabbt luminiscenssigna-

ler påverkas och nollställs diskuteras därför inga av dessa felkällor här.

### 5.2 Tolkning av resultat

Resultaten från experimenten som gjordes dagtid visar att det krävs mycket liten påverkan i form av solljus för att proverna ska påverkas och luminiscenssignaler börjar sändas ut. Det är alltså av yttersta vikt att proverna skyddas från direkt exponering av solljus i samband med provtagning. Ljusexponering i dagsljus men inte direkt sol (molnig dag) påverkade också proverna tydligt, och således bör stor försiktighet råda även under dessa omständigheter. Samtidigt bör snabb påverkan och nollställning av sediment ses som något positivt då riskerna att ett prov inte hinner nollställas innan det begravs igen minskar. Även om proverna är känsliga är det positivt att denna process sker snabbt för att inte ge missvisande ålder vid datering.

De prover som exponerades i skymning och nattetid påvisar ingen tydligt avtagande trend, d.v.s. att luminiscenssignalen minskar efter hand exponeringstiden ökar. Trots detta tyder resultatet på en viss reduktion av luminiscenssignalen (Tabell 3). Vid försöken var det relativt mörkt men proverna fick med största sannolikhet trots detta viss exponering för ljus då samtliga av proverna avtäcktes och exponerades under den tidigare delen av exponeringstillfället, alltså i skymning. Denna exponering kan vara anledningen till att de flesta delproverna påvisade en begränsad reduktion av luminiscenssignalen (Fig. 11-13, Tabell 3). Därefter kan energitillgången varit otillräcklig (ljusintensiteten för låg) för att processen skulle kunna framskrida, d.v.s. för att ytterligare luminiscens ska kunna avges, och därmed har proverna stannat på den nivå som ses i diagrammen (Fig. 11-13). Dessa resultat talar för att uttag av prover skulle kunna ske nattetid, något som idag tillämpas av vissa forskare.

De olika proverna har olika ursprung, sammansättning med avseende på mineral och signalstyrka. Allt detta är faktorer som skulle kunna påverka dateringen. En observation är att prov 13039, som utgörs av sand från ett isälvsdelta, inte påverkades lika mycket, eller åtminstone inte lika snabbt, av att utsättas för dagsljus som de övriga två proverna. Signalen för prov 13039 minskade med 66-75 % efter fem sekunder i ett av försöken (soligt ljusförhållande). För molnigt ljusförhållande minskade signalen med 40-44 % varvid signalen för prov 13028 och 15001 minskat 75-80 % respektive 45-60 % (Tabell 3). För prov 15001 noteras att signalen stabiliserades på en låg nivå efter kortare exponeringstid än för de övriga två proverna. En hypotes som kan förklara detta är att signalstyrkan i detta prov var betydligt lägre än i de övriga proverna, och det fanns således inte lika mycket energi som skulle frigöras från detta prov jämfört med prov 13039 och 13028.

För prov 13039 under molnigt förhållande sticker två av tre delprov ut ur mängden. Dessa prover exponerades för ljus under 10 sekunder men följer inte samma nedåtgående trend för det delprov och de delprov som blivit exponerade för ljus under lika lång eller längre tid. Det är svårt att säga vad detta beror på, men en hypotes är att det beror på naturliga skillnader, såsom mineralsammansättning, i just dessa två delproverna. Det kan också kunnat bero på någon typ felmät-

ning eller något misstag vid ljusexponeringen. Det känns dock orimligt att dessa avvikande värden beror på att proverna har blivit förväxlade.

Godfrey-Smith et al. (1988) undersökte hur snabbt kvarts och fältspat påverkas och nollställs av OSL respektive termoluminiscens, en metod där värme används för stimulering istället för ljus. I studien exponerades proverna till en början under en klar och solig dag. Författarna understryker att dessa ideala förhållanden sällan förekommer i naturen då sediment ofta överlagras av t.ex. annat material eller vatten och därför utfödes även försök en mulen dag. Deras resultat visar att proverna snabbt påverkades av dagsljus både en klar och solig samt mulen dag. Författarna konstaterar dock att de prover som exponerades en mulen dag krävde längre exponeringstid för att nollställas än proverna som exponerades en solig dag. Dessa resultat visar generellt god överensstämmelse med resultaten av experimenten som utförts i föreliggande studie där delproverna tycks ha påverkats mer under soligt än molnigt förhållande (Fig. 14-15). Denna effekt är framför allt påtaglig under de kortare exponeringsintervallerna. Efter hand som luminiscenssignalen klingar av blir skillnaden mindre märkbar.

I studien av Godfrey-Smith et al. (1988) exponerades proverna under en längre tid än i denna studie, varvid det är svårt att dra direkta paralleller mellan de olika resultaten. Resultaten från Godfrey-Smith et al (1988) och denna studie är trots detta likartade, men skillnader mellan resultaten från de båda studierna kan bero på att de olika ljusförhållandena som används har skiljt sig från varandra. Det är också sannolikt att de rådande väderförhållandena under försöken som gjordes i studien av Godfrey-Smith et al. (1988) var mer varierande med avseende på ljusets intensitet än i denna studie. Därtill nämner författarna att försöken utfördes vid *Simon Fraser University*, ett universitet beläget 365 m.ö.h., vilket skulle kunna medföra skillnader i ljusintensiteten där respektive här, i Lund.

Den utförda studien ger fördjupad kunskap som är direkt användbar i samband med provtagningen. Resultaten från denna studie leder således till ökad kunskap om hur känsliga luminiscenssignaler är och därför också hur provtagning och hantering av prover kan och bör hanteras i framtiden.

Även om studien är begränsad, kan resultaten sättas i ett större, geologiskt perspektiv. Några exempel på detta kan vara:

- Material i ett jordskred, som under enstaka sekunder helt eller delvis exponeras för ljus
- Delta- och flygsandsmiljöer, med snabba dynamiska förlopp i kombination med långsammare, stabila processer såsom vattnets inverkan eller överlagring av ett tunt lager sediment.

Med kunskap om hur snabbt luminiscenssignaler påverkas och nollställs, t.ex. i försök som i den föreliggande studien, kan en djupare förståelse för hur snabbt processerna går i naturen erhållas. Det är dock viktigt att ta i beaktning att de experiment som gjorts i denna studie är förenklade i jämförelse med hur de geolo-

giska processerna i naturen ser ut. Tid och resurser satte gränserna och därför har endast ett urval av basala förhållanden undersökts. I naturen sker mer komplexa processer och det ingår fler element som kan inverka på hur snabbt ett mineralkorn nollställs, såsom omgivande natur (t.ex. skugga från kringliggande växtlighet), om materialet har kontakt med vatten o.s.v. Resultaten kan trots detta bidra till ökad kunskap om vilka processer som kan påverka ett material efter dess avsättning och därför också ge indikation på om materialet ger en skenbart för hög eller låg ålder vid datering.

## 6 Slutsats

Datering med OSL grundar sig i att mineralkorn påverkas av bakgrundsstrålning och därigenom ackumulerar energi. När energi sen tillförs i form av ljus frigörs den ackumulerade energin och avges i form av luminiscens. Luminiscensen kan mätas och vidare användas för att beräkna hur länge mineralkorn legat begravda, men om luminiscensen inte blivit exponerad för tillräckligt mycket ljus kan detta leda till påtagliga fel i slutresultatet. Denna studie syftade till att ge vägledande information om hur snabbt luminiscenssignalerna påverkas och nollställs under naturliga ljusförhållanden. Resultaten visar att prover, oberoende av ursprung, är mycket känsliga för dagsljus, oavsett om det är en klar och solig eller en molnig dag. Redan efter fem sekunder har en stor del, upp till 80 %, av luminiscenssignalerna sänts ut. Denna förlust av energi kan vid datering leda till kraftigt missvisande ålder, i form av skenbart för låg ålder, men det motsatta kan leda till skenbart för hög ålder. Även om proverna kräver speciell hantering p.g.a. deras känslighet är det också dessa egenskaper som gör dateringen möjlig och snabb påverkan av luminiscenssignalen bör därför vara önskvärd.

Experimenten som gjordes i skymning och nattetid resulterade inte i någon trend, d.v.s. att luminiscenssignalen avtar efter hand som exponeringstiden ökar, vilket styrker att det krävs en viss mängd och intensitet på ljuset för att kornen ska reagera och avge luminiscens. Ännu en slutsats är att det material som både avsätts och begravs under nattetid, alltså när det är mörkt, kan resultera i att materialet får en skenbart för hög ålder vid datering. Detta beror på att energin fortsätter lagras på tidigare ackumulerad energi utan att ha blivit varken nollställd eller ofullständigt nollställd där emellan.

Den genomförda studien ger således viktig kunskap för provtagningen av OSL-prover genom att bekräfta att mörklagda förhållanden är viktiga vid uttag och hantering. Samtidigt ger studien information som är intressant och användbar i det geologiska perspektivet, när man ska tolka åldern på ett prov daterat med OSL och diskutera kring dateringens betydelse och eventuella felkällor. Naturliga processer som t.ex. då material i ett jordskred som snabbt exponeras och sedan begravs igen kan resultera i skenbart för hög ålder om materialet inte hinner nollställas. Snabb påverkan och nollställning av materialet är därför att föredra för att vid datering få ett så tillförlitligt resultat som möjligt.

## 7 Tack

Stort tack till Helena Alexanderson, professor på Geologiska institutionen vid Lunds universitet, som varit min handledare under arbetets gång och med tålamod tagit sig tid att besvara alla frågor som uppkommit och därtill kommit med värdefulla synpunkter. Tack också till minigrisen Smilla som hållit mig sällskap under skrivandets gång och sett till att jag fått både bensträckare och vilostunder mellan varven.

## 8 Referenser

### 8.1 Publicerat material

- 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
- Bøtter Botter-Jensen, L., Bulur, E., Murray, A. S. & Poolton, N. R. J., 2002: Enhancements in luminescence measurement techniques: *100*, 119-124.
- Duller, G. A. T., 2003: Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements: *Radiation Measurements* 37, 161-165. doi: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(02\)00170-1](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(02)00170-1)
- Duller, G. A. T., 2008a: Guidelines in using luminescence dating in archaeology. English Heritage, Swindon. 43 sid.
- Duller, G. A. T., 2008b: Single-grain optical dating of Quaternary sediments: Why aliquot size matters in luminescence dating: *Boreas* 37, 589-612. doi: 10.1111/j.1502-3885.2008.00051.x
- 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://dx.doi.org/10.1016/0277-3791\(88\)90032-7](http://dx.doi.org/10.1016/0277-3791(88)90032-7)
- Göteborgs universitet, 2011: Molnbildning. Hämtad 2017-04-23, från [http://tellus.science.gu.se/fokus\\_arktisklimatsystemet/molnbildning](http://tellus.science.gu.se/fokus_arktisklimatsystemet/molnbildning)
- Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I. & Thewalt, M. L. W., 1985: Optical dating of sediments: *Nature* 313, 105.
- 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: 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: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00053-2)
- Prescott, J. R. & Hutton, J. T., 1994: Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations: *Radiation Measurements* 23, 497-500. doi: 10.1016/1350-4487(94)90086-8
- 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

SMHI, 2013: Solinstrålning. Hämtad 2017-04-23, från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-1.4186>

### 8.2 Övriga referenser

Alexanderson, Helena; professor i kvartärgeologi på Geologiska institutionen vid Lunds universitet, muntlig kommunikation samt skriftlig kontakt via e-post löpande under arbetets gång från 2017-03-20 till 2017-05-19.

Josefsson, Weine; meteorolog och klimatolog på SMHI, kontakt via e-post 2017-04-03

# Bilaga 1

## Ordlista

<b>Bakgrundsstrålning (dosrat)</b>	Strålning som orsakas av naturlig radioaktivitet, t.ex. från kringliggande material
<b>Dosimeter</b>	Instrument som används för mätning av strålningsdos
<b>Ekvivalent dos (<math>D_e</math>)</b>	Den laboratoriedos som motsvarar mängden strålning ett mineralkorn absorberat under tiden det legat begravt
<b>Gray (Gy)</b>	Enheten för mängd strålning. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
<b>Laboratoriedos</b>	Den dos ett prov bestrålas med i OSL-läsaren för att den ekvivalenta dosen ska kunna beräknas
<b>Ledningsband</b>	En del av en atom där elektroner kan röra sig fritt från en del av atomen till en annan. Oftast krävs tillförsel av energi för att elektroner ska kunna nå ledningsbandet och de kan endast existera där under en kort period
<b>Naturlig dos</b>	Ett provs naturliga dos, d.v.s. den dos provet har då det stimuleras i OSL-läsaren, som har ackumulerats under naturliga förhållanden
<b>Nollställning</b>	När ett mineralkorn blivit utsatt för så pass mycket ljus eller värme att det resulterat i att samtlig ackumulerad energi har frigjorts benämns kornet som nollställt
<b>Ofullständig nollställning</b>	När ett mineralkorn endast till viss del blivit utsatt för ljus eller värme vilket resulterat i att endast en del av den ackumulerade energin har frigjorts benämns kornet som ofullständigt nollställt
<b>Optiskt stimulerad luminiscens (OSL)</b>	Dateringsmetod där mineralkornets förmåga att absorbera strålning utnyttjas. Mineralkornet stimuleras med ljus för att ge ifrån sig energi i form av fotoner, luminiscens
<b>Single aliquot regenerative dose (SAR) protocol</b>	En serie undersökningar som görs för att mäta den ekvivalenta dosen, $D_e$
<b>Testdos</b>	Strålningsdos som ges till ett delprov med syftet att undersöka om delprovets luminiscensegenskaper förändras under sekvensen av mätningar som utgör ett SAR-protokoll
<b>Valensband/valensskal</b>	Det yttersta skalet på en atom

## Bilaga 2

Nedan redovisas de olika inställningar som användes vid mätningarna i OSL-läsaren.

Följande inställningar användes för att mäta återstående luminiscenssignal i delproven från prov 13039 (delprov 1-27) och 13028 (delprov 28-48) som utsattes för molnigt förhållande.

↓ ↓ ↓	Samples	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Set 1	1-27		Beta 30s	Beta 300s	
Set 2	28-48		Beta 30s	Beta 225s	
Set 3	1-48	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	
Set 4	1-48	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	
Set 5	1-48	Beta 50s	Beta 50s	Beta 50s	
Set 6	1-48	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	
Set 7	1-48	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	
Set 8	1-48	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0		
Set 9	1-48				Beta 30s
Set 10	1-48				Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
Set 11	1-48				OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5
Set 12	1-48				OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;

Följande inställningar användes för att mäta återstående luminiscenssignal i delproven från prov 13028 (delprov 1-6) och 15001 (delprov 7-33) som utsattes för molnigt förhållande.

↓ ↓ ↓	Samples	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Set 1	1-6		Beta 30s	Beta 225s	
Set 2	7-33		Beta 10s	Beta 35s	
Set 3	1-6	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	
Set 4	7-33	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	
Set 5	1-33	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	
Set 6	1-6	Beta 50s	Beta 50s	Beta 50s	
Set 7	7-33	Beta 18s	Beta 18s	Beta 18s	
Set 8	1-6	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	
Set 9	7-33	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., P	
Set 10	1-33	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;	
Set 11	1-33	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0		
Set 12	1-6				Beta 30s
Set 13	7-33				Beta 35s
Set 14	1-6				Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
Set 15	7-33				Pre Heat 180°C;5°C/s;10s
Set 16	1-33				OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5
Set 17	1-33				OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;





Följande inställningar användes för att mäta återstående luminiscenssignal i delproven från prov 13028 (delprov 1-6) och 13028 (delprov 7-33) under soligt förhållande.

↓↓↓	Samples	Run 1	Run 2	Run 3
Set 1	1-6		Beta 35s	Beta 270s
Set 2	7-33		Beta 12s	Beta 40s
Set 3	1-6	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
Set 4	7-33	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s
Set 5	7-33	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %
Set 6	1-33	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%
Set 7	1-6	Beta 60s	Beta 60s	Beta 60s
Set 8	7-33	Beta 20s	Beta 20s	Beta 20s
Set 9	1-6	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 10	7-33	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 11	7-33	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %
Set 12	1-33	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%
Set 13	1-33	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C

Följande inställningar användes för att mäta återstående luminiscenssignal i delproven från prov 13039 (delprov 1-24) och 13028 (delprov 25-48) i skymnings-/nattljus.

↓↓↓	Samples	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Set 1	1-24		Beta 30s	Beta 300s	
Set 2	25-48		Beta 30s	Beta 225s	
Set 3	1-48	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	Pre Heat 220°C;5°C/s;10s	
Set 4	1-48	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	
Set 5	1-48	Beta 50s	Beta 50s	Beta 50s	
Set 6	1-48	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 200°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	
Set 7	1-48	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	
Set 8	1-48	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	
Set 9	1-48				Beta 30s
Set 10	1-48				Pre Heat 220°C;5°C/s;10s
Set 11	1-48				OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %
Set 12	1-48				OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%

Följande inställningar användes för att mäta återstående luminiscenssignal i delproven från prov 15001 (delprov 1-24) i skymnings-/nattljus.

↓↓↓	Samples	Run 1	Run 2	Run 3
Set 1	1-24		Beta 10s	Beta 35s
Set 2	1-24	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s	Pre Heat 180°C;5°C/s;10s
Set 3	1-24	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %
Set 4	1-24	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%
Set 5	1-24	Beta 18s	Beta 18s	Beta 18s
Set 6	1-24	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s	TL 160°C, 5.00°C/s, 250Pts., PH=0°C for 0s
Set 7	1-24	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %	OSL 125°C IR LEDs;100.0 s;5°C/s;90.0 %
Set 8	1-24	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%	OSL 125°C Blue LEDs;40.00s;5°C/s;90.0%
Set 9	1-24	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C	Illum Blue LEDs (90%) for 40.0s at 280°C



## Tidigare skrifter i serien

### ”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

449. Nordas, Johan, 2015: A palynological study across the Ordovician Kinnekulle. (15 hp)
450. Åhlén, Alexandra, 2015: Carbonatites at the Alnö complex, Sweden and along the East African Rift: a literature review. (15 hp)
451. Andersson, Klara, 2015: Undersökning av sluttestsmetodik. (15 hp)
452. Ivarsson, Filip, 2015: Hur bildades Bushveldkomplexet? (15 hp)
453. Glommé, Alexandra, 2015:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in plagioclase, evidence for a crustal origin of the Hakefjorden Complex, SW Sweden. (45 hp)
454. Kullberg, Sara, 2015: Using Fe-Ti oxides and trace element analysis to determine crystallization sequence of an anorthositic intrusion, Älgön SW Sweden. (45 hp)
455. Gustafsson, Jon, 2015: När började platttektoniken? Bevis för platttektoniska processer i geologisk tid. (15 hp)
456. Bergqvist, Martina, 2015: Kan Ölands grundvatten öka vid en uppdämning av de utgrävda dikena genom strandvallarna på Ölands östkust? (15 hp)
457. Larsson, Emilie, 2015: U-Pb baddeleyite dating of intrusions in the south-easternmost Kaapvaal Craton (South Africa): revealing multiple events of dyke emplacement. (45 hp)
458. Zaman, Patrik, 2015: LiDAR mapping of presumed rock-cored drumlins in the Lake Åsnen area, Småland, South Sweden. (15 hp)
459. Aguilera Pradenas, Ariam, 2015: The formation mechanisms of Polycrystalline diamonds: diamondites and carbonados. (15 hp)
460. Viehweger, Bernhard, 2015: Sources and effects of short-term environmental changes in Gullmar Fjord, Sweden, inferred from the composition of sedimentary organic matter. (45 hp)
461. Bokhari Friberg, Yasmin, 2015: The paleoceanography of Kattegat during the last deglaciation from benthic foraminiferal stable isotopes. (45 hp)
462. Lundberg, Frans, 2016: Cambrian stratigraphy and depositional dynamics based on the Tomten-1 drill core, Falbygden, Västergötland, Sweden. (45 hp)
463. Flindt, Anne-Cécile, 2016: A pre-LGM sandur deposit at Fiskarheden, NW Dalarna - sedimentology and glaciotectonic deformation. (45 hp)
464. Karlatou-Charalampopoulou, Artemis, 2016: Vegetation responses to Late Glacial climate shifts as reflected in a high resolution pollen record from Blekinge, south-eastern Sweden, compared with responses of other climate proxies. (45 hp)
465. Hajny, Casandra, 2016: Sedimentological study of the Jurassic and Cretaceous sequence in the Revinge-1 core, Scania. (45 hp)
466. Linders, Victor, 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 mellankambriska 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 Skälderviken. (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, Josefin, 2016: A study of shock-metamorphic features in zircon from the Siljan impact structure, Sweden. (15 hp)
483. Rosvall, Markus, 2016: Spår av himlakroppskollisioner - bergarter i nedslagskratrar 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)



# LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund