



LUND UNIVERSITY

Luminiscensdatering av översandning i Falsterbo

Alexanderson, Helena

2024

Document Version:
Annan version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Alexanderson, H. (2024). *Luminiscensdatering av översandning i Falsterbo*.

Total number of authors:
1

Creative Commons License:
CC BY-ND

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Luminiscensdatering av översandning i Falsterbo

Helena Alexanderson, Geologiska institutionen, Lunds universitet (2024)

Inledning

Falsterbonäset i sydvästligaste Sverige är en låglänt halvö dominerad av sandiga sediment som avsatts ovanpå morän och lera (Ringberg 1975; Blomgren & Hanson 2000; Mattsson 2011) (Fig. 1, 2). Sanden utgörs huvudsakligen av svallsand och flygsand och kan vara upp till 20 m mäktig (Ringberg 1975). Svallsanden har avsatts när landet höjt sig ur havet och kusten har sedan successivt byggts ut från fastlandet (Mattsson 2011). Vinden har sedan omlagrat en del av sanden och avsatt den som dyner och täcksand (Mattsson 2011; SGU 2016).

Bebyggelsen i Skanör-Falsterbo har en lång historia som går tillbaka åtminstone till medeltiden då de fungerade som viktiga marknadsplatser (Ersgård 1984). Befolkningen har återkommande haft problem med flygsand (Lidbeck 1759; Mattsson 2011) och arkeologiska utgrävningar har visat att det finns kulturlager begravda under sanden (Sarnäs 2022).

I samband med en arkeologisk utgrävning intill Falsterbo museum i september 2021 fick jag möjligheten att provta de sandlager som täcker delar av den gamla bebyggelsen där med syfte att bestämma när flygsanden avsattes.

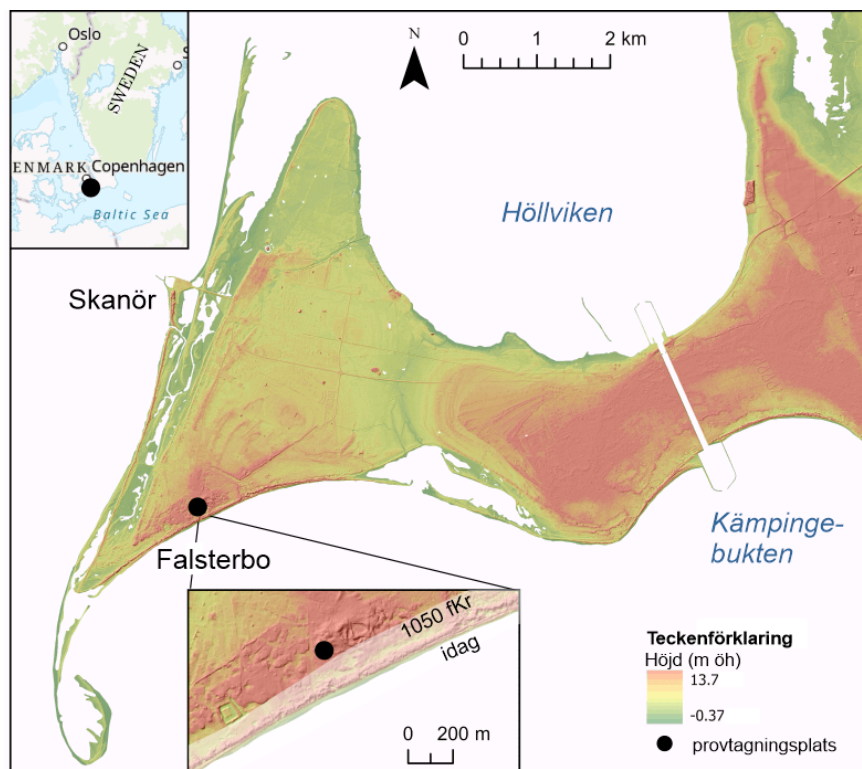


Fig. 1. Höjdkarta över Falsterbonäset som visar platsen för utgrävningen vid Falsterbo museum och kyrka. Det halvgenomskinliga vita området i kartutsnittet visar hur högt havet nådde för ca 3000 år sedan (1050 f.kr.) enligt SGU (2023).

SDFI, Esri, Garmin, FAO, NOAA, USGS; Lantmäteriet, SDFI, Esri, HERE, Garmin, Foursquare, GeoTechnologies, Inc, METI/NASA, USGS

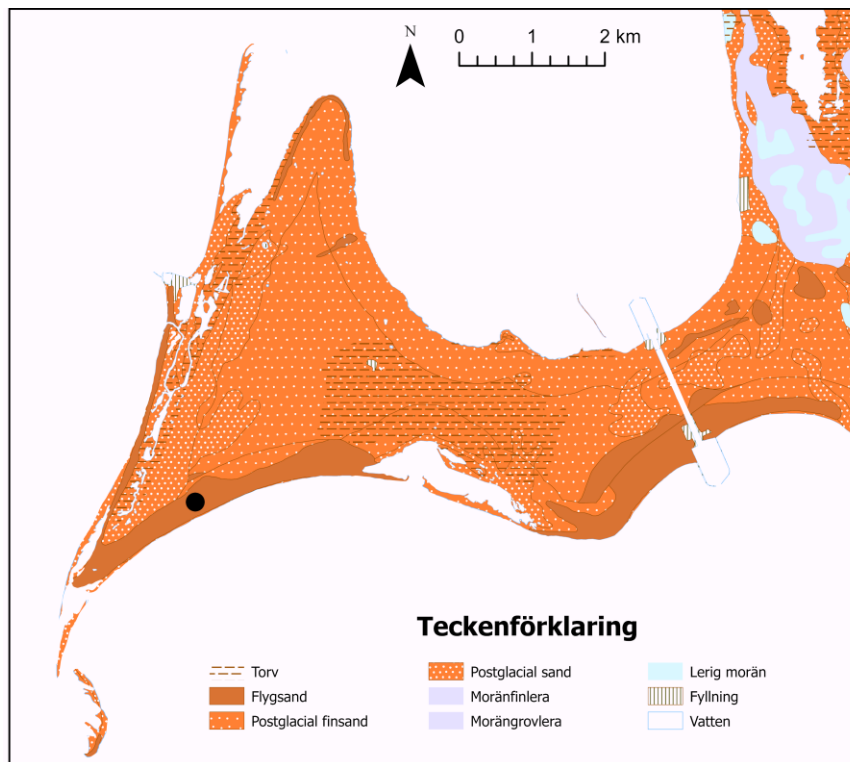


Fig. 2. Jordartskarta över Falsterbonäset. Data från SGU (2016).

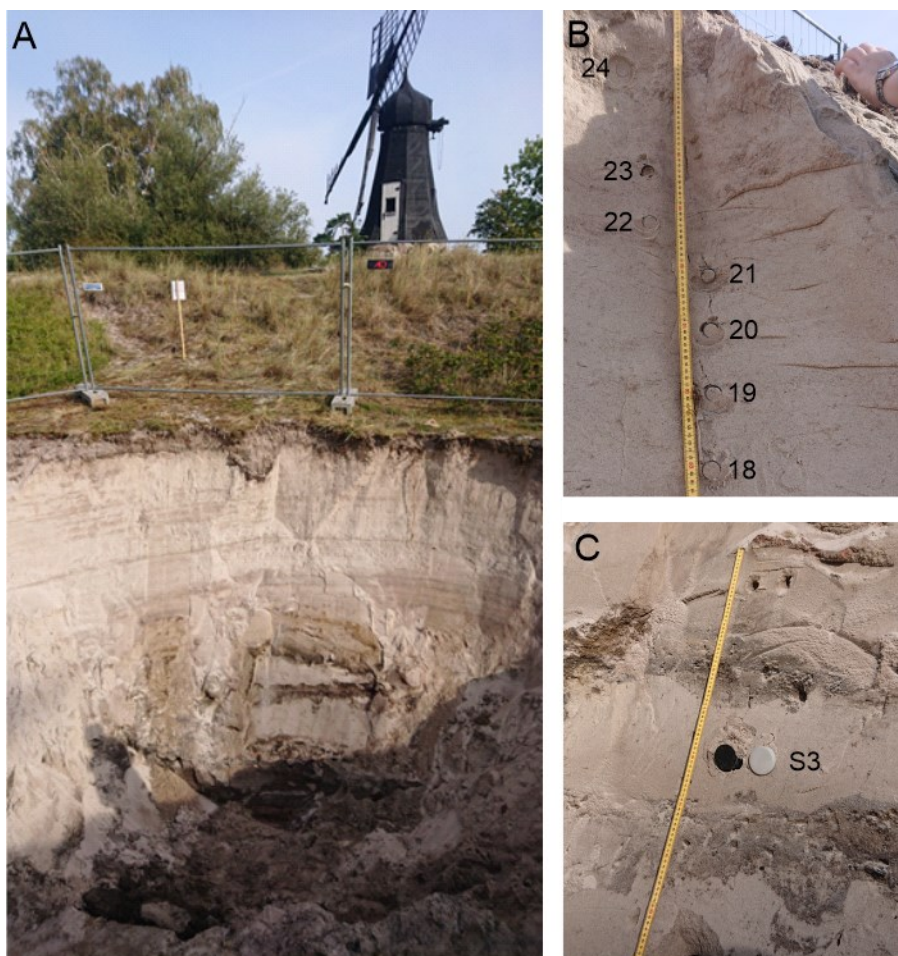


Fig. 3. A. Schaktet som grävdes ut i september 2021. B. Små prov för luminiscensprofilering i den övre delen av schaktet. C. Prov S3 för luminiscensdatering (svart) intill ett prov för bestämning av vattenhalt (vitt) i mellersta delen av lagerföljden.

Metod

Under utgrävningen tog jag och Elin Jirdén fem prover för luminiscensdatering och 25 prover för luminiscensprofilering genom att hamra in PVC- eller stålrör i väggen (Fig. 3).

De stora proverna S1-S5 analyserades med optiskt stimulerad luminiscensdatering vid Lunds Luminiscenslaboratorium, Lunds universitet. Luminiscensdatering är en metod som ger tidpunkten för när sanden i proverna senast utsattes för solljus genom att mäta hur stor stråldos sandkornen har tagit emot medan de legat begravda i marken (Duller 2008; Alexanderson 2012). Stråldosen kommer från naturligt förekommande joniserande strålning och kornen registrerar den som en "laddning" i sin kristallstruktur. Under laboratorieförhållanden kan denna laddning mätas som s.k. luminiscens, d.v.s. ljus som sänds ut från sandkornen. Mängden luminiscens är proportionerlig mot tiden och vet man hur mycket strålning provet tagit emot per tidsenhet kan man räkna ut dess luminiscensålder. Luminiscensålder anges i år före provtagningsåret och behöver inte kalibreras.

De små proverna 1-25 analyserades med luminiscensprofilering med en s.k. bärbar OSL-läsare (Sanderson & Murphy 2010). Några prover mättes direkt på plats av mig och Elin (Fig. 4), och alla prover mättes senare i laboratoriet av Iris och Ellen Hoffstein som en del av deras gymnasiearbete. Luminiscensprofilering är en relativ dateringsmetod, det vill säga den ger inte en ålder i år utan säger bara om något är äldre eller yngre än något annat. Man mäter enbart luminiscenssignalen, och dess storlek avgör den relativa åldern och säger också något om sandens sammansättning.

För detaljer om provpreparering och mätningar se Teknisk bilaga.



Fig. 4. Mätning för luminiscensprofilering med en "SUERC portable OSL reader" i ett rum på Falsterbo museum.

Resultat

Lagerföljd

I utgrävningen (Fig. 3) identifierade jag sju enheter, varav tre är tolkade som kulturlager och beskrivs utförligt i Sarnäs (2022). Enheterna beskrivs nedan och i Fig. 5 och Fig. 6.

Enhet 1 består av lager av brun massiv mellansand till grovsand, och är minst 2 dm mäktig. Den undre gränsen kunde inte observeras. Enheten är tolkad som strandsand, huvudsakligen på grund av kornstorleken och sorteringsgraden.

Enhet 2 är ca 60 cm mäktig och består av lager av mörkgrå massiv till svagt lagrad mellan-grovsand (50 cm), massiv rödaktig lera (5 cm) och massiv finsand (5 cm). Lagren innehåller en hel del organiskt material och är tolkade som kulturlager (fas 1 och fas 2) bestående av rester av hus och golv (Sarnäs 2022).

Enhet 3 består av ljus massiv fin-mellansand, ca 45 cm mäktig. Både undre och övre gräns är ojämn och skarp. Sanden är tolkad som flygsand utifrån struktur, kornstorlek och hög sorteringsgrad.

Enhet 4 består av två tunna (4-10 cm) lager av svart massiv fin- och mellansand som skiljs åt av ett tunt (1 cm) lerlager. Större stenar finns på denna nivå vid sidan om det avsnitt som loggades. Lagren är tolkade som kulturlager (fas 3 och fas 4) bestående av rester av hus och golv (Sarnäs 2022).

Enhet 5 är drygt 25 cm mäktig och består av ljus massiv fin-mellansand. Sanden är tolkad som flygsand utifrån struktur, kornstorlek och hög sorteringsgrad.

Enhet 6 består likt enhet 4 av två tunna (3-7 cm) lager av svart massiv finsand som skiljs åt av ett tunt (4 cm) lerlager. I enheten har takpannor påträffats. Lagren är tolkade som kulturlager (fas 5 och fas 6) bestående av husrester (Sarnäs 2022).

Enhet 7 är knappt 2,5 m mäktig och består av ljus fin-mellansand som är massiv eller svagt mer eller mindre horisontellt lagrad. På ett par nivåer förekommer tydligare lamineringar. I den undre delen har enstaka takpannor hittats (Sarnäs 2022). I de översta decimetrarna, närmast dagens markyta, är sanden något mörkare och innehåller många rötter. Sanden är tolkad som flygsand utifrån struktur, kornstorlek och hög sorteringsgrad. Den övre delen är påverkad av jordmånsprocesser.

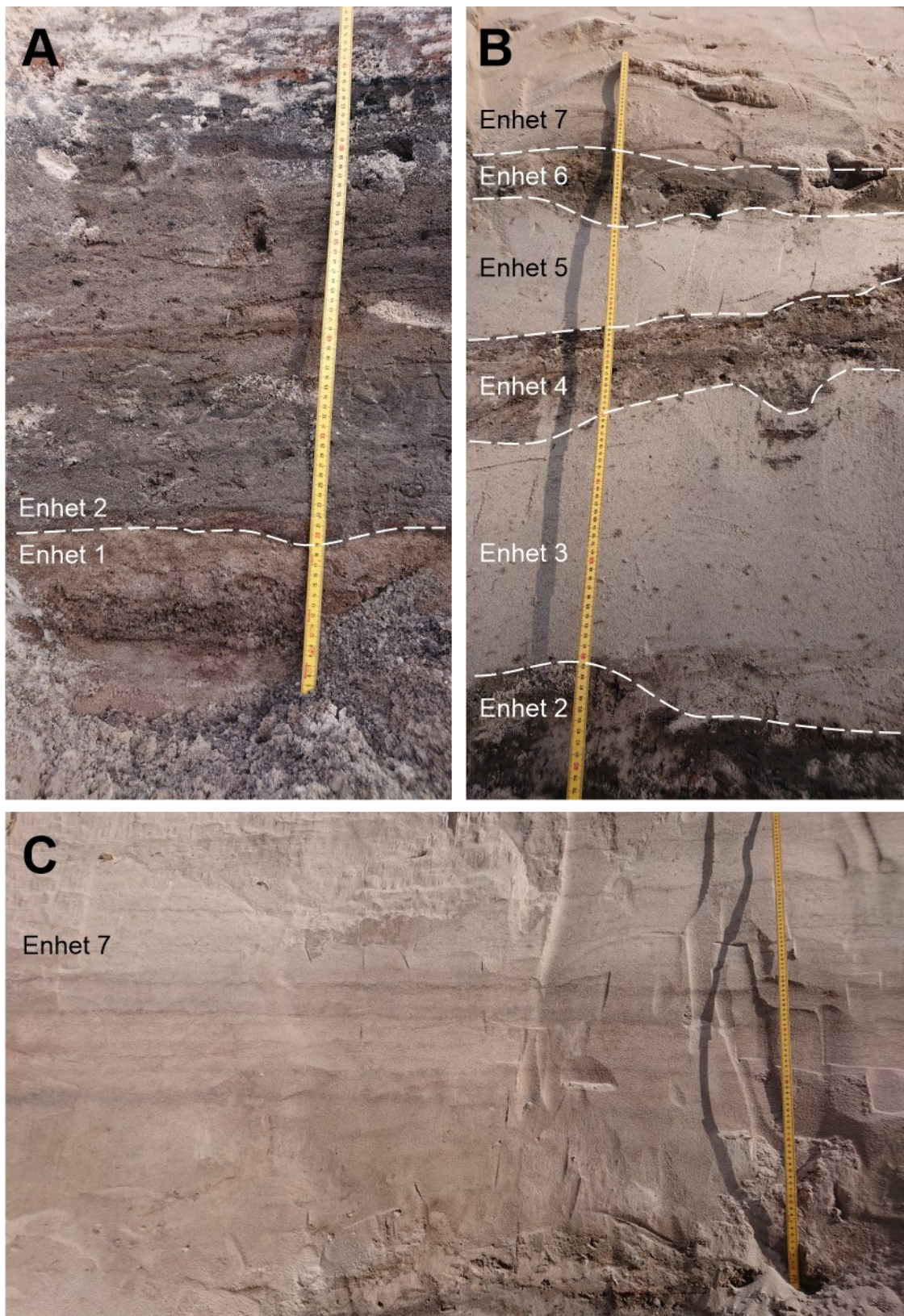


Fig. 5. Foton av de provtagna sedimenten. A. Nedre delen med strandsand (enhet 1) och kulturlager (enhet 2). B Mellersta delen med flygsand och kulturlager (enhet 2-7). C. Översta delen med flygsand (enhet 7).

Falsterbo

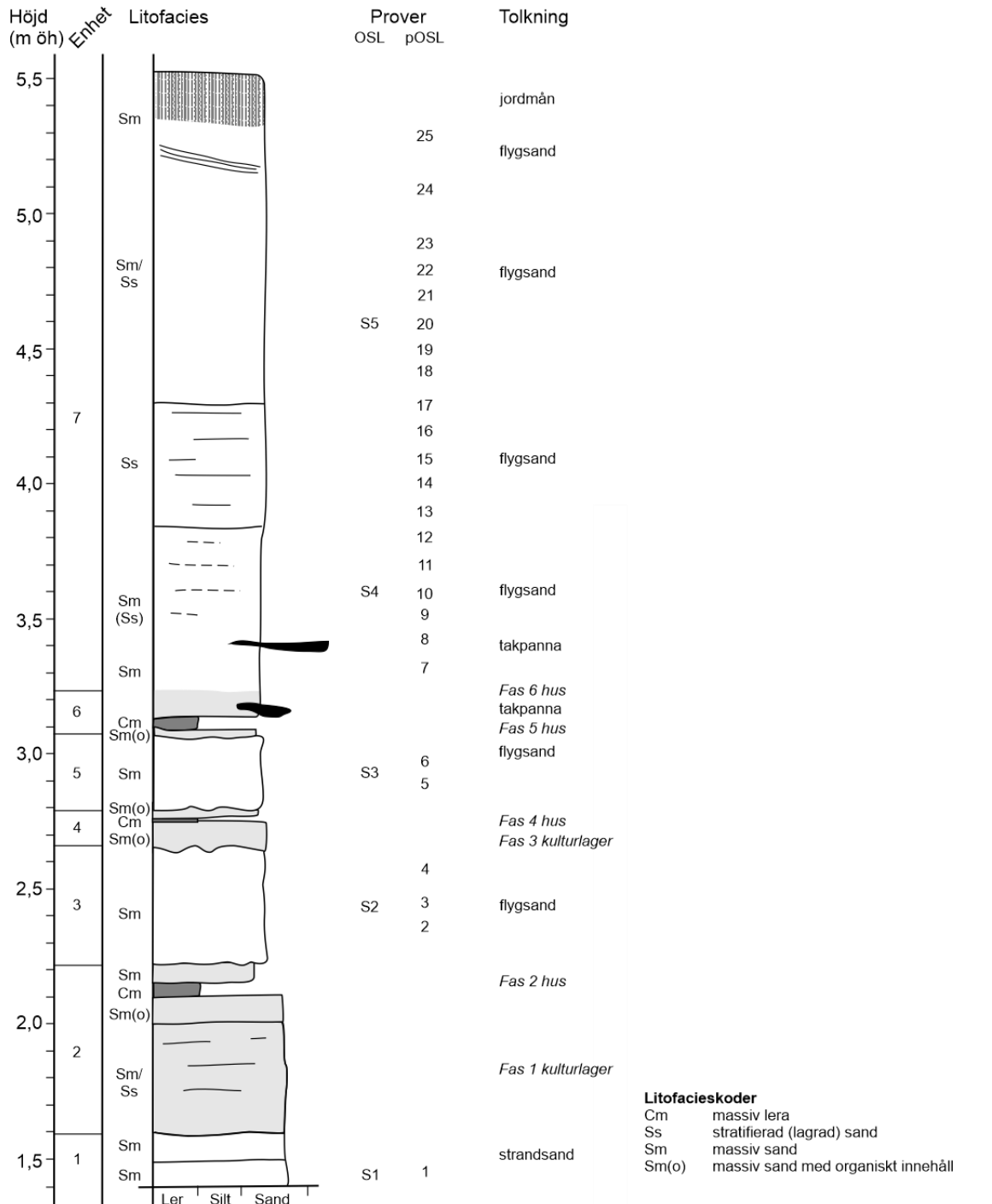


Fig. 6. Stratigrafisk logg över sedimenten som exponerades vid utgrävningen med markerade provtagningsnivåer och tolkning. De olika faserna i kulturlagren kommer från Sarnäs (2022). pOSL = "portable OSL" eller luminiscensprofilering.

Luminiscensåldrar

Luminiscensdateringen gav åldrar från 2880 ± 155 år till 227 ± 12 år, vilket motsvarar från 1020–710 f.Kr. till 1780–1810 e. Kr. (Tabell 1). Den understa enheten, strandsanden, är den äldsta medan de fyra proverna från flygsand i den mellersta och övre delen av lagerföljden var alla yngre än ca 700 år (Fig. 7).

Tabell 1. Luminescensåldrar angivna i tusen år (ka) före provtagningsåret (2021), i år före respektive efter Kristus (fKr/eKr) samt som åldersspann. n = antal delprover (aliquots) som har accepterats respektive mätts.

Labnr	Dosrat (Gy/ka)	Dos (Gy)	n	Ålder (ka)	Ålder (fKr/eKr)	Åldersspann
21023	$0,87 \pm 0,04$	$2,51 \pm 0,05$	33/48	$2,88 \pm 0,16$	862 ± 155 fKr	1020-710 fKr
21024	$0,87 \pm 0,05$	$0,53 \pm 0,01$	31/60	$0,61 \pm 0,04$	1412 ± 39 eKr	1370-1450 eKr
21025	$0,91 \pm 0,04$	$0,54 \pm 0,03$	18/39	$0,59 \pm 0,04$	1431 ± 40 eKr	1390-1470 eKr
21026	$0,92 \pm 0,04$	$0,41 \pm 0,01$	16/39	$0,44 \pm 0,03$	1578 ± 26 eKr	1550-1600 eKr
21027	$0,88 \pm 0,04$	$0,20 \pm 0,01$	14/39	$0,23 \pm 0,01$	1794 ± 12 eKr	1780-1810 eKr

Falsterbo

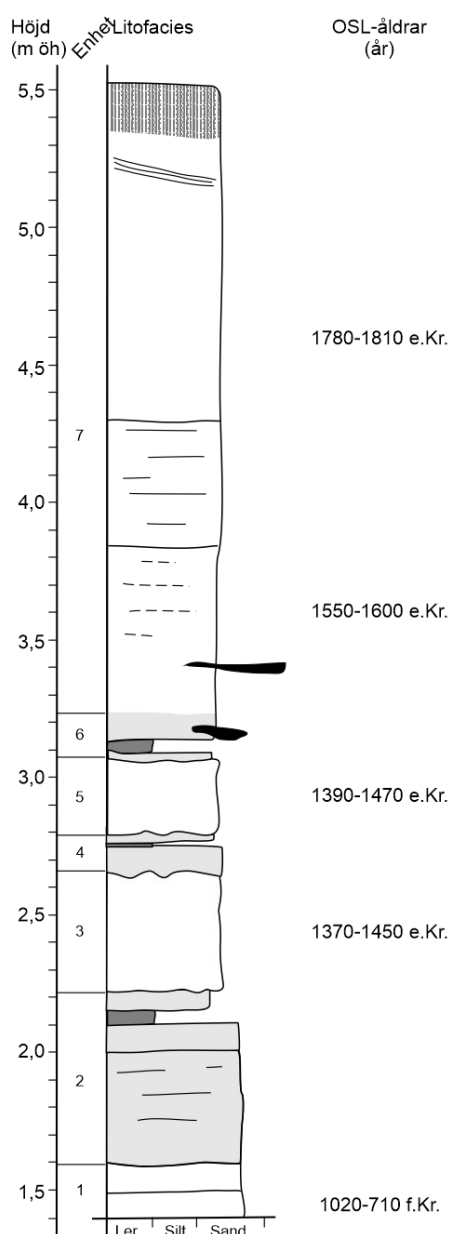


Fig. 7. Stratigrafisklogg med luminiscensåldrar och foton av lagerföljden.

Luminiscensprofilering

Resultaten av visar att nettosignalens värden grovt sett bildar tre grupper: enhet 1 (strandsand), enhet 3 och 4 (flygsand mellan kulturlager) och enhet 7 (flygsand ovanpå kulturlager) (Fig. 8). Det är mer variation i signalen från kvarts (OSL) än från fältspat (IRSL) men de uppvisar liknande mönster. De värden som avspeglar materialegenskaper (*depletion ratio* och IRSL/OSL ratio) varierar inom ett ganska snävt intervall men inom enhet 7 syns vad som ser ut att vara återkommande trender i värdena (Fig. 8).

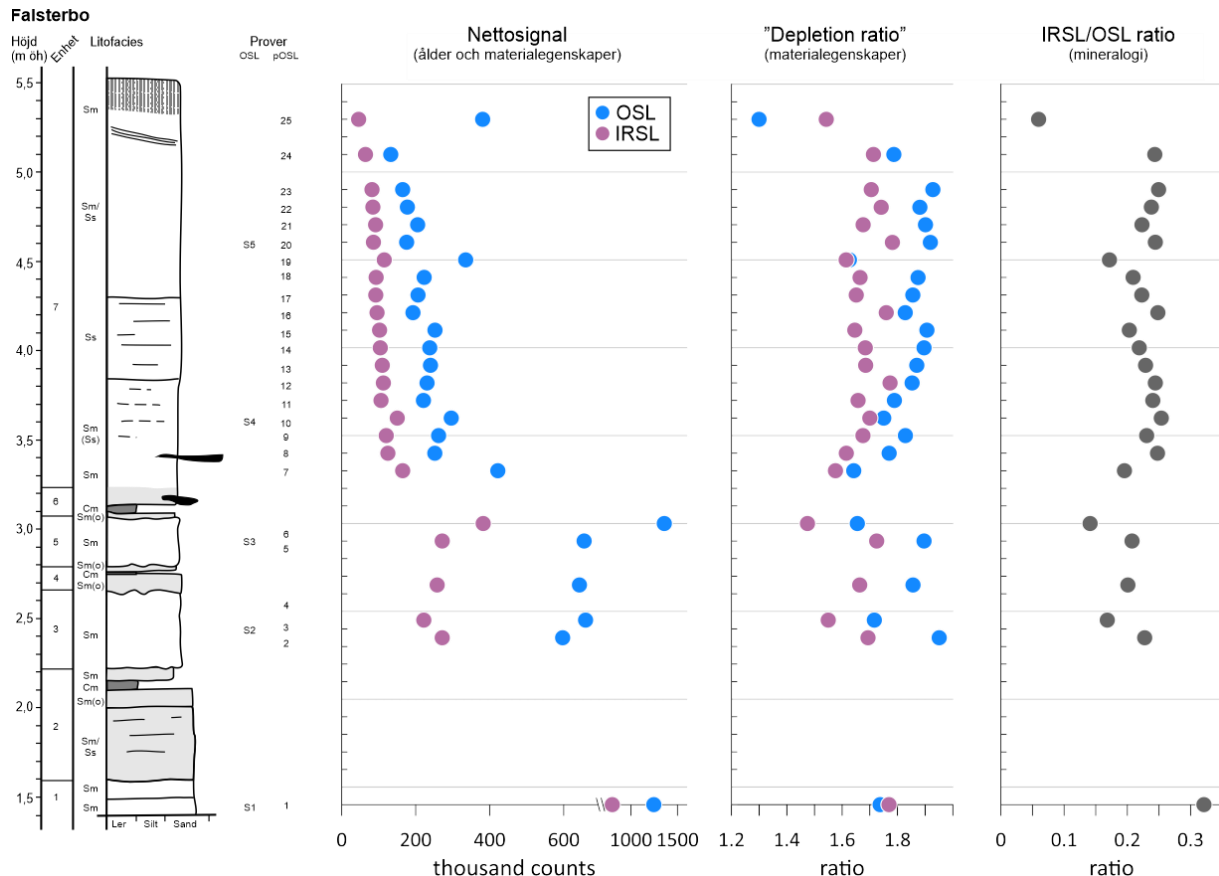


Fig. 8. Resultat av luminiscensprofilering. OSL = optiskt stimulerad luminiscens (signal från kvarts), IRSL = infraröd stimulerad luminiscens (signal från fältspat).

Diskussion

Luminiscensdateringarna är av god teknisk kvalitet och uppfyller de metodkrav som ställs för att en datering ska anses tillförlitlig (bra *dose recovery ratio*, *recycling ratio*, o.s.v.). Uppskattningen av vattenhalten sedan tidpunkten för avsättning är en osäkerhetsfaktor som kan påverka åldern; en lägre vattenkvot ger en yngre ålder, och tvärtom, men rimliga variationer i vattenhalten ger inga signifikant annorlunda åldrar.

Vid en jämförelse med de arkeologiska fynden från samma utgrävning (schakt 3; Sarnäs 2022) verkar luminiscensåldrarna rimliga. Ett mynt präglat under perioden 1481–1513 e.Kr. från enhet 2 är endast något yngre än luminiscensdateringarna från ovanliggande enhet 3 och 5 (1370–1470 e.Kr.; Fig. 7). Ett mynt från 1536 e.Kr. i enhet 6 stämmer väl med luminiscensåldern 1550–1600 e.Kr. i den undre delen av ovanliggande enhet 7 (Fig. 7).

Rekonstruktioner av strandlinjens förflyttning i området visar att havsnivån var i närheten av utgrävningsplatsen då strandsanden avsattes enligt luminiscensdateringen (2900 ± 170 år sedan; Tabell 1) (Fig. 9).

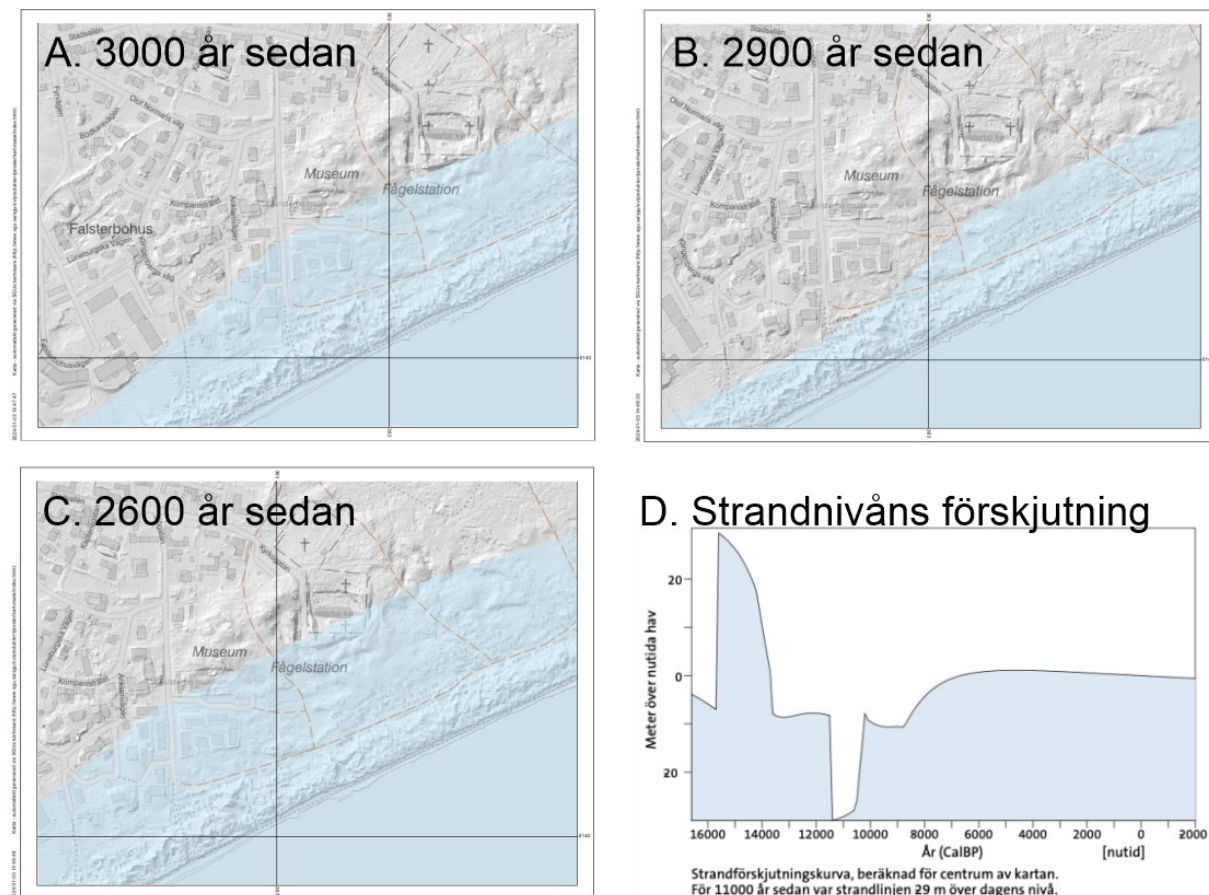


Fig. 9. Strandnivåns läge i Falsterbo vid olika tidpunkter enligt SGU:s Strandförflyttningsmodell (SGU 2023). A. För 3000 år sedan. B. För 2900 år sedan. C. För 2600 år sedan. D. Strandförflyttningskurva för södra Öresund enligt SGU:s modell.

Luminiscensprofileringen ger kompletterande information från fler nivåer i lagerföljden än de fem dateringarna. Överlag stämmer nettosignalens mönster med vad som förväntas; från en högre signal (äldre) i botten till en lägre signal (yngre) högre upp. Prov 2-6 från enhet 3 och 5 ger ett ganska spritt mönster vilket tillsammans med den massiva strukturen kan tyda på någon form av störning eller omblandning. Detta passar med Sarnäs (2022) tolkning av dessa sandlager som sand som förts dit av människor för att utgöra underlag för nya hus.

De trender som kan ses i luminiscensprofileringsdata från enhet 7, med ökande nettosignal och *depletion ratio* respektive minskande IRSL/OSL ratio (Fig. 8), kan tyda på någon form av återkommande händelse där materialet (sandens sammansättning) successivt förändras av någon anledning. En möjlig anledning till detta kan vara att det är stormtillfällen som syns, där vinden successivt eroderat sig ner i äldre sediment som transporterats till platsen, eller där vinden vridit och fört in material från andra områden. Om trenderna avspeglar stormar kan det vara fyra händelser som syns i data, från mitten av 1500-talet fram till tidigt 1800-tal. Ytterligare undersökningar krävs för att säga något säkrare om detta. Att det översta provet (25) sticker ut i sina värden jämfört med övriga (Fig. 8) beror sannolikt på att det är påverkat av jordmånsprocesser.

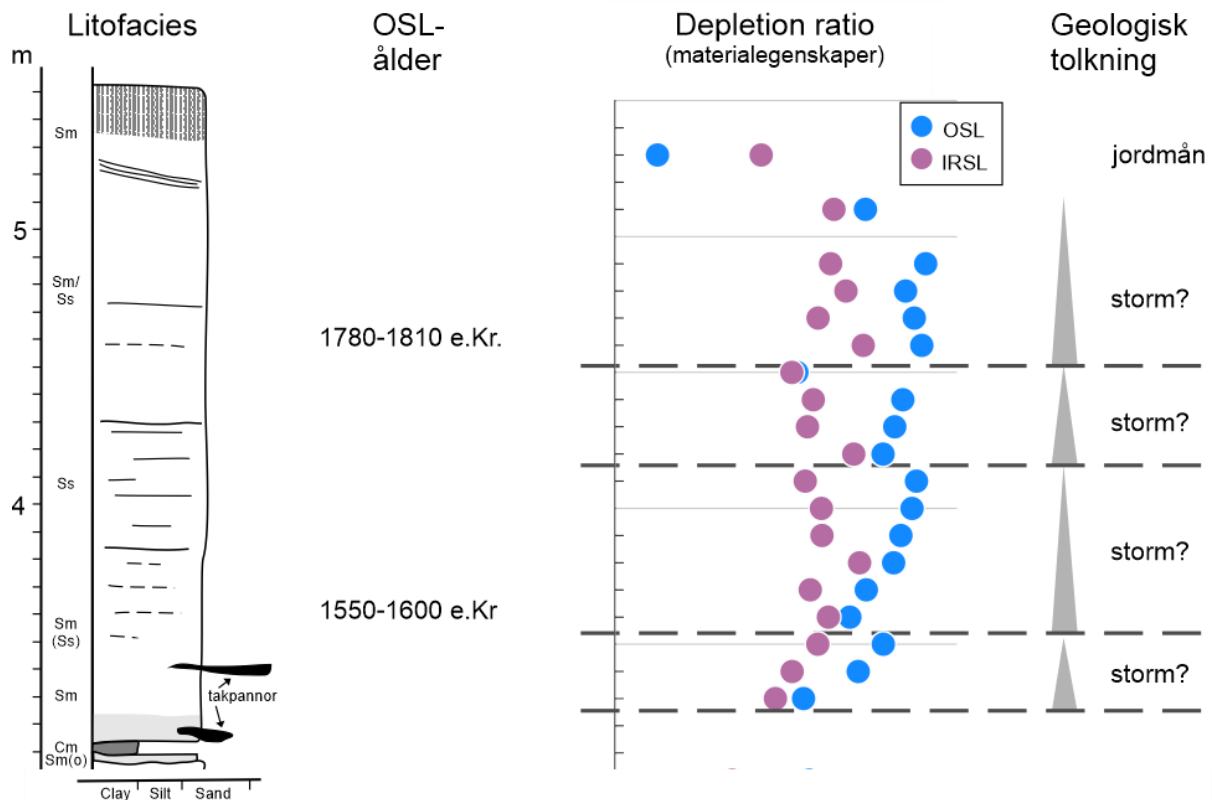


Fig. 10. Luminiscensåldrar, depletion ratio från luminiscensprofilering och möjlig geologisk tolkning för den övre delen av lagerföljden (enhet 7).

Perioder med omfattande sanddrift finns dokumenterade från området, bland annat under vintern 1709 och även senare under 1700-talet (Lidbeck 1759; Nilsson 1905), vilket faller inom tidsspännat för de två dateringarna från enhet 7. Jämförelser med fler tidigare geologiska undersökningar och med historisk och arkeologisk litteratur kan ge ytterligare information, och återstår att göra då jag inte haft utrymme för det ännu inom projektet.

Slutsatser

Fem luminiscensdateringar och 25 prover för luminiscensprofilering från sandlager exponerade vid en arkeologisk utgrävning intill Falsterbo Museum har analyserats. De visar att strandsand på ca 1,5 m öh avsattes för ca 2900 år sedan. Flera faser av husbyggande följde och flygsand som ligger mellan dessa kulturlager ger åldrar från sent 1300-tal till mitten av eller sent 1400-tal. Det översta kulturlagret täcks av mer än två meter flygsand som avsatts från mitten av 1500-talet fram till tidigt 1800-tal eller något senare, kanske i samband med enstaka omfattande stormar.

Tack till

Nils-Arvid Andersson och Bengt Modéer (Falsterbonäsets museiförening) för inbjudan att delta i utgrävningen och för information, Lars Ersgård (Lunds universitet) för information, Per Sarnäs (Skånearkeologerna) för data och tid i fält, Elin Jirdén (Lunds universitet) för hjälp i fält, Iris och Ellen Hoffstein (Spyken gymnasieskola) för mätning och analys av proverna för luminiscensprofilering, Zoran Perić (Lunds universitet) för laboratoriearbete.

Arbetet hade inte varit möjligt utan finansiellt stöd från Stiftelsen syskonen Willers donationsfond för forskning i Skånes och Hallands historia och, via Falsterbo museiförening, från Leader Söderslätt.

Källhänvisningar

- Alexanderson, H. 2012: Sol, sand och strålning – ett recept för att åldersbestämma istiden. *Geologiskt forum* 19, 18-21.
- Blomgren, S. & Hanson, H. 2000: Coastal Geomorphology at the Falsterbo Peninsula, Southern Sweden. *Journal of Coastal Research* 16, 15-25.
- Bøtter-Jensen, L., Bulur, E., Duller, G. A. T. & Murray, A. S. 2000: Advances in luminescence instrument systems. *Radiation Measurements* 32, 523-528.
- Duller, G. A. T. 2003: Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements. *Radiation Measurements* 37, 161-165.
- Duller, G. A. T. 2008: *Luminescence dating. Guidelines in using luminescence dating in archaeology*. 43 pp. English Heritage, Swindon.
- Durcan, J. A., King, G. E. & Duller, G. A. T. 2015: DRAC: Dose Rate and Age Calculator for trapped charge dating. *Quaternary Geochronology* 28, 54-61.
- Ersgård, L. 1984: *Skanör-Falsterbo*. 107 pp. Riksantikvarieämbetet och Statens historiska museer, Stockholm.
- Lidbeck, E. G. 1759: *Anmärkningar vid skånska flyg-sands-tracterne och deras hjälpande genom plantering*. p. 133-139. Kungliga Svenska Vetenskapsakademien, Stockholm.
- Mattsson, J. O. 2011: Falsterbonäset - en för Sverige unik landform. *Geografiska Notiser* 69, 124-130.
- Medialdea, A., Thomsen, K. J., Murray, A. S. & Benito, G. 2014: Reliability of equivalent-dose determination and age-models in the OSL dating of historical and modern palaeoflood sediments. *Quaternary Geochronology* 22, 11-24.
- Murray, A. S., Helsted, L. M., Autzen, M., Jain, M. & Buylaert, J. P. 2018: Measurement of natural radioactivity: Calibration and performance of a high-resolution gamma spectrometry facility. *Radiation Measurements* 120, 215-220.
- Murray, A. S., Marten, R., Johnson, A. & Martin, P. 1987: Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles* 115, 263-288.
- Murray, A. S. & Wintle, A. G. 2000: Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32, 57-73.
- Murray, A. S. & Wintle, A. G. 2003: The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements* 37, 377-381.
- Nilsson, A. 1905: Anteckningar om svenska flygsandsfält. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 27, 313-336.
- Ringberg, B. 1975: Beskrivning till jordartskartan Trelleborg NV/Malmö SV. Sveriges Geologiska Undersökning, Stockholm.
- Sanderson, D. C. W. & Murphy, S. 2010: Using simple portable OSL measurements and laboratory characterisation to help understand complex and heterogeneous sediment sequences for luminescence dating. *Quaternary Geochronology* 5, 299-305.
- Sarnäs, P. 2022: Falsterbo 2:1 och 2:20, fornlämnning L1989:3865. *Skånearkeologi Rapport 2022:3*. Skånearkeologi AB.
- SGU 2016: Jordarter 1:25 000–1:100 000. Sveriges Geologiska Undersökning, <http://www.sgu.se/geolagret/GeoLagret/>.
- SGU 2023: Kartvisaren Strandförsjuttjningsmodell. . Sveriges Geologiska Undersökning, <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-strandforsjuttjningsmodell.html>.
- Tudyka, K., Koruszowicz, M., Osadnik, R., Adamiec, G., Moska, P., Szymak, A., Bluszcz, A., Zhang, J., Kolb, T. & Poręba, G. 2023: μ Rate: An online dose rate calculator for trapped charge dating. *Archaeometry* 65, 423-443.
- Tudyka, K., Miłoś, S., Adamiec, G., Bluszcz, A., Poręba, G., Paszkowski, Ł. & Kolarczyk, A. 2018: μ Dose: A compact system for environmental radioactivity and dose rate measurement. *Radiation Measurements* 118, 8-13.

Teknisk bilaga

Luminiscensdatering

Provbehandling

Proverna siktades för att sortera fram korn av storleken 180-250 µm. Dessa behandlades sedan med saltsyra (HCl) för att ta bort kalk, väteperoxid (H₂O₂) för att ta bort organiskt material samt fluorvätesyra (HF) för att etsa ytan på kornen. Kvartskornen skildes från övriga mineralkorn genom densitetsseparering i en vätska med densiteten 2,62 g/cm³. Till slut siktades proven igen för att skilja bort korn som blivit för små under prepareringen och magnetiska korn togs bort med hjälp av en magnet.

Bakgrundsstrålning (dosrat)

Mängden strålning per tidsenhet (dosrat) i sedimentet bestämdes genom gammaspektrometri vid Nordiska laboratoriet för luminescensdatering i Risø (Murray *et al.* 1987; Murray *et al.* 2018). För tre av proverna gjordes mätningar även med en µDose vid Lunds Luminiscenslaboratorium (Tudyka *et al.* 2018). Anledningen till detta var att ett prov (21024) visade ett udda värde från gammaspektrometrin som inte kunde förklaras av geologin. En jämförelse visade att dosraten för 21024 från gammaspektrometri sannolikt var felaktig och för detta prov användes dosraten från µDose-mätningen istället vid åldersberäkningen. Den totala stråldosraten, inklusive kosmisk strålning, beräknades i DRAC (Durcan *et al.* 2015) respektive i µRate (Tudyka *et al.* 2023). Se Tabell 2 för värden.

I beräkningarna av dosraten behöver man ta hänsyn till sedimentets vattenhalt (i vikt%). Vatteninnehållet i sedimenten vid provtagningstillfället bestämdes genom att separata prover om 100 cm³ vägdes i sitt naturliga tillstånd och sedan efter 24 timmars torkning i 105°. Proverna vägdes också som vattenmättade, efter att ha stått under vatten i 24 timmar. Se Tabell 2 för värden.

Resultaten ger normala dosrater för sandiga sediment.

Tabell 2. Koncentration av radionuklider i sedimentet, kosmisk strålning samt vattenhalt.

Labnr	Metod	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Kosmisk strålningsrat (Gy/ka)	Fält-vatten-kvot (%)	Mättad vattenkvot (%)	Vald vatten-kvot (%)
21023	gamma/DRAC	0,40 ± 0,19	0,91 ± 0,07	0,72 ± 0,02	0,15 ± 0,01	4	25	15
21023	µDose/µRate	0,70 ± 0,21	0,00 ± 0,63	0,68 ± 0,06	0,15 ± 0,02	4	25	15
21024	gamma/DRAC	0,73 ± 0,26	2,34 ± 0,09	1,46 ± 0,03	0,16 ± 0,02	4	23	15
21024	µDose/µRate	0,38 ± 0,16	0,38 ± 0,50	0,72 ± 0,05	0,16 ± 0,02	4	23	15
21025	gamma/DRAC	0,34 ± 0,16	0,99 ± 0,06	0,75 ± 0,02	0,17 ± 0,02	11	16	15
21025	µDose/µRate	0,25 ± 0,19	0,80 ± 0,62	0,62 ± 0,05	0,17 ± 0,02	11	16	15
21026	gamma/DRAC	0,38 ± 0,17	1,07 ± 0,06	0,73 ± 0,02	0,18 ± 0,02	6	24	15
21027	gamma/DRAC	0,29 ± 0,09	0,91 ± 0,03	0,69 ± 0,01	0,20 ± 0,02	4	25	15

Dosmätningar

Flera tester av materialet gjordes för att bestämma hur det skulle analyseras och för att kontrollera tillförlitligheten av resultaten. Genom ett s.k. IR-test, där man mäter signalen som uppstår både vid infraröd belysning (som påverkar fältspat) och med blå belysning (som påverkar kvarts) kan man avgöra om kvartsen är ren eller förorenad av fältspat. Om förhållandet mellan signalen från infrarött och blått ljus är <10% anses proven bestå av ren kvarts. För dessa prover var det fallet för de allra flesta delprover (s.k. *aliquots*) men enstaka delprover hade en IR/blå ratio >10%. Alla prov mättes därför med ett

protokoll med blå stimulering med en extra infraröd mätning på slutet för att identifiera delprover som var förorenade av fältspat (Duller 2003).

Att mäta en känd dos som givits i laboratoriet (s.k. *dose recovery*) med olika temperaturinställningar visar att en förvärmningstemperatur (*preheat*) på 180°C är bäst för dessa prover. Vad som är bäst avgörs från hur väl den mätta dosen motsvarar den givna, d.v.s. förhållandet mätt/given dos (*dose recovery ratio*), och spridningen av dessa värden. Det ideala värdet är 1,0, men värden mellan 0,9 och 1,1 accepteras vanligtvis. Medelvärde för dessa prover är $0,95 \pm 0,03$ ($n=21$, overdispersion OD=10%), se Tabell 3 för provspecifika värden.

Tabell 3. "Dose recovery" resultaten visar förhållandet mellan uppmätt och (känd) laboratoriedos.

Labnr	Mätt/given dos
21023	$0,99 \pm 0,01$
21024	$0,87 \pm 0,07$
21025	$1,08 \pm 0,11$
21026	$0,93 \pm 0,05$
21027	$0,88 \pm 0,04$

Provernas repeterbarhet testas genom att samma dos ges två gånger, i början och i slutet av en mätning, och om förhållandet mellan signalerna från dessa två doser (*recycling ratio*) är 1,0 är det godkänt. Värden mellan 0,9 och 1,1 accepteras vanligen. För dessa prover är medelvärdet $0,99 \pm 0,01$. Nolldosmätning (*recuperation*), d.v.s. provens respons på ingen dos, är 2,3% av den naturliga signalen för de flesta proverna. Värden <5% accepteras vanligtvis.

För att bestämma dosen hos proverna mättes minst 24 delprover (*aliquots*), vardera bestående av några hundra 180-250 µm kvartskorn (s.k. "large aliquot"), per prov i en Risø TL/OSL reader model DA-20. Ett s.k. *Single Aliquot Regeneration* (SAR) protokoll användes (Murray & Wintle 2000, 2003), med temperaturerna 180°C (*preheat*) och 160°C (*cut heat*). Proverna stimulerades med blå ljuskällor (470 ± 30 nm) och mätningen gjordes genom ett 7 mm U340 glasfilter (Bøtter-Jensen *et al.* 2000). Maskinen hade en strålmängd per tid (dosrat) på ca 0,15 Gy/s.

Delprover som uppfyller följande krav har accepterats, övriga har förkastats och inte använts i beräkningarna: *recycling ratio* ≤10%, infraröd *recycling ratio* ("IR-test") ≤20%, *test dose error* ≤10%, *dose error* ≤30%, *recuperation* ≤5%, och de skulle ha en regelbunden dosresponskurva (Fig. 11). Utstickare (*outliers*) har identifierats genom att tillämpa 1,5-interkvartilregeln och har därefter tagits bort (Medialdea *et al.* 2014). Ungefär hälften av alla analyserade *aliquots* har förkastats p.g.a. att de inte uppfyllt dessa krav.

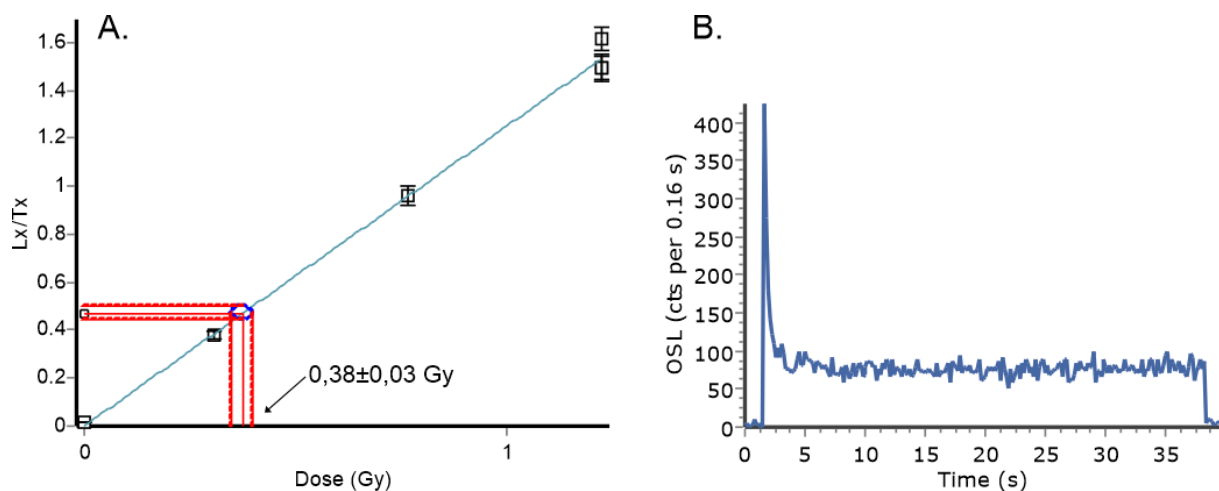


Fig. 11. A. Dosresponskurva som visar att luminiscenssignalen (Lx/Tx) ökar med ökad dos. Den naturliga signalen motsvarar en dos på $0,38 \pm 0,03$ Gy. B. En s.k. decay curve som visar luminiscensens styrka (antalet fotoner) under tiden mätningen pågår (40 s). Den tydliga toppen i början på kurvan som snabbt minskar till en jämn bakgrund visar att signalen är bra.

Åldersberäkning

Provernas ålder beräknades i DRAC (Durcan *et al.* 2015) och i Excel baserat på medelvärdet av dosen delat med dosraten. Fyra av de fem proverna har symmetriska dosfördelningar medan ett (21027) uppvisar positiv skevhet (en svans av höga doser) (Fig. 12). Positiv skevhet kan uppstå på grund av s.k. ofullständig nollställning (att alla sandkorn inte utsatts för tillräckligt mycket solljus i samband med avsättningen) och kan göra att åldern överskattas. Statistiska åldersmodeller kan kompensera för detta men i det här fallet är de inte lämpliga att tillämpa eftersom antalet mätdata (*aliquots*) är litet, delproverna består av många korn och det finns inga andra tecken på ofullständig nollställning.

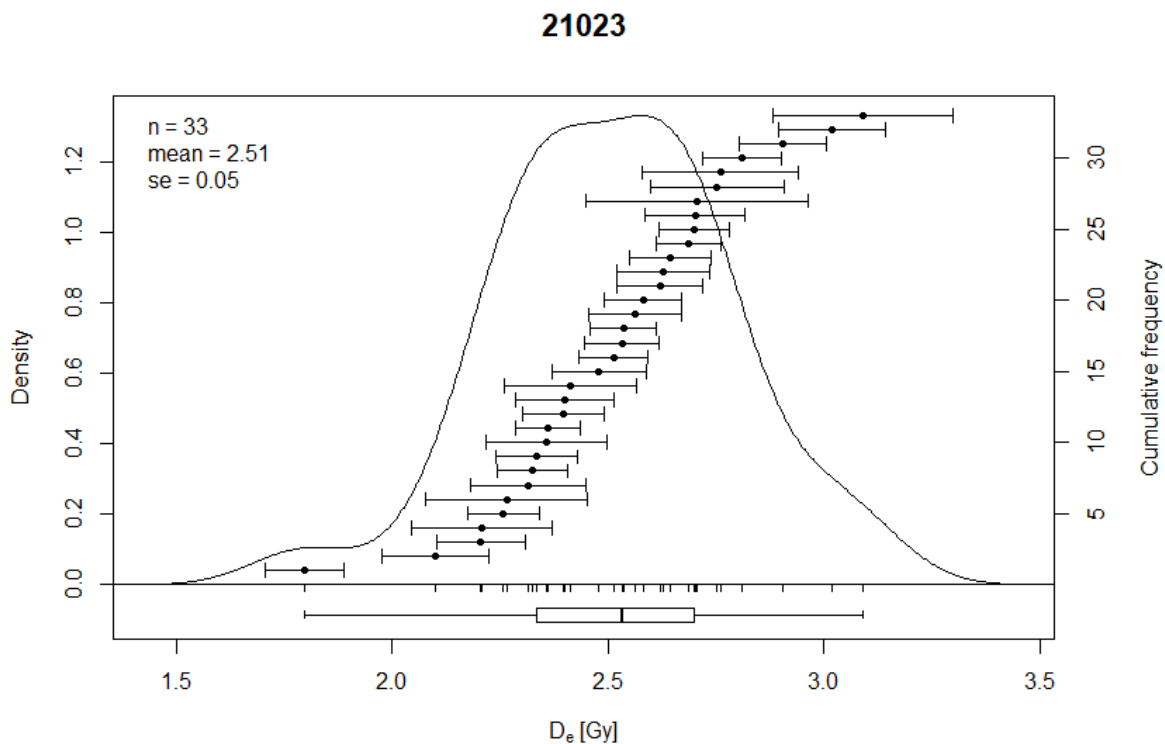


Fig. 12. Fördelning av uppmätta doser för respektive prov visade som sk kernel density estimate diagram.

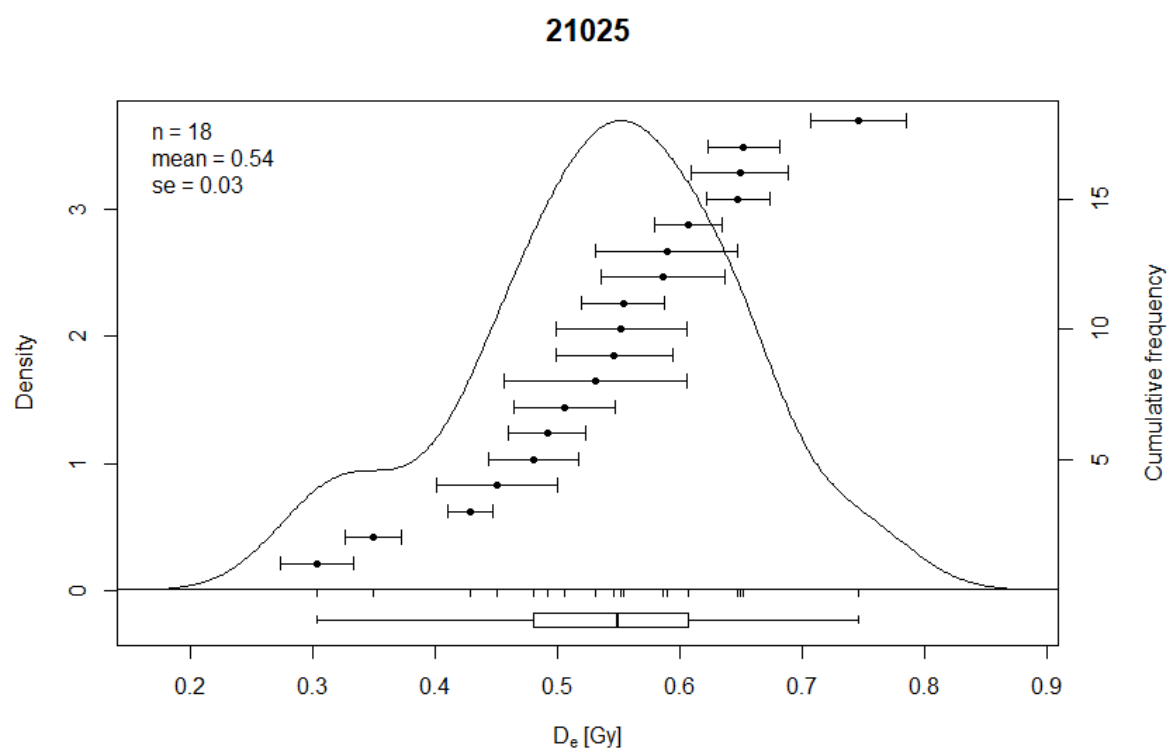
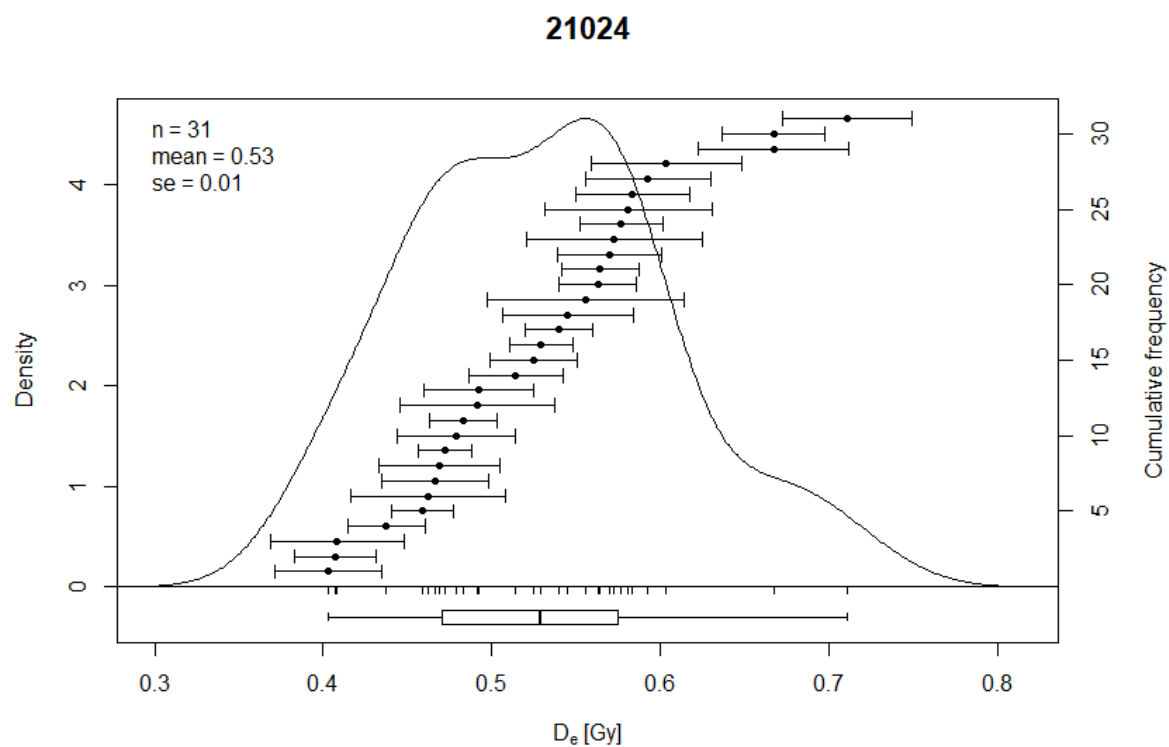


Fig. 12 forts. Fördelning av uppmätta doser för respektive prov visade som sk kernel density estimate diagram.

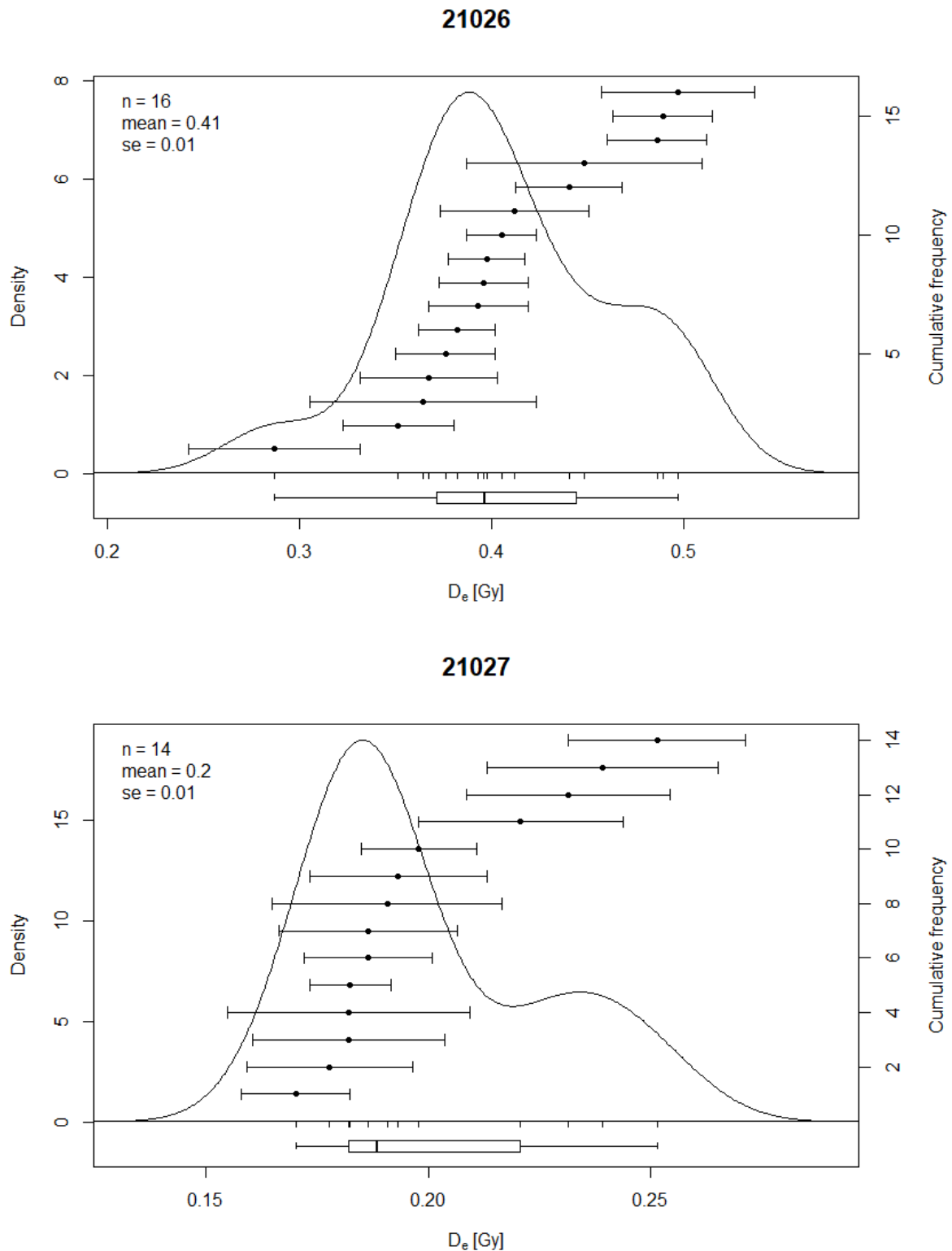


Fig. 12 forts. Fördelning av uppmätta doser för respektive prov visade som sk kernel density estimate diagram.

Luminiscensprofilering

Mätningarna gjordes i en SUERC OSL reader med mätprotokollet *CW proxies* (Sanderson & Murphy 2010) (Tabell 4, 5). Värdena normaliserades för provens vikt. För övriga detaljer om dessa mätningar hänvisar jag till Iris och Ellen Hoffsteins gymnasiearbete som kommer att bli klart under våren 2024.

Tabell 4. Mätsekvensen för CW proxies.

Steg	Stimulering	Varaktighet	ID
1	Ingen ('dark')	15 s	D1
2	Infraröd	30 s	IR1
3	Infraröd	30 s	IR2
4	Ingen ('dark')	15 s	D2
5	Blå	30 s	B1
6	Blå	30 s	B2
7	Ingen ('dark')	15 s	D3

Tabell 5. Värden som räknas ut för luminiscensprofileringen.

Värde	Beskrivning	Beräkning
IRSL nettosignal	Total IRSL-signal minus bakgrund	$(IR1+IR2)-2*(D1+D2)$
OSL nettosignal	Total OSL-signal minus bakgrund	$(B1+B2)-2*(D2+D3)$
IRSL depletion ratio	Förhållandet mellan första och andra IR	$(IR1-(D1+D2))/(IR2-(D1+D2))$
OSL depletion ratio	Förhållandet mellan första och andra OSL	$(B1-(D2+D3))/(B2-(D2+D3))$
IR/OSL ratio	Förhållandet mellan IR och OSL nettosignaler	$((IR1+IR2)-2*(D1+D2))/((B1+B2)-2*(D2+D3))$