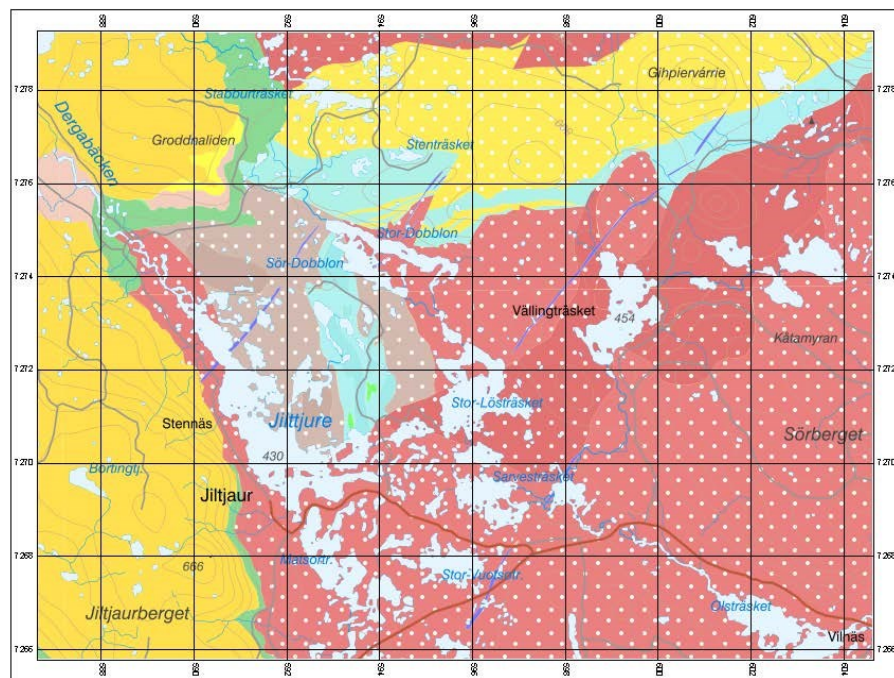


# Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden

***Ellinor Halvarsson***

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 597  
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2020



# **Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berg- grunden**

Kandidatarbete  
Ellinor Halvarsson

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2020

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund.....</b>	<b>7</b>
2.1	Bildandet av nedslagskratrar	7
2.2	Spår av nedslagskratrar	7
2.2.1	Förekomst av meteoritfragment	8
2.2.2	Geofysiska egenskaper	8
2.2.2.1	Magnetiska egenskaper	8
2.2.2.2	Gravimetriska egenskaper	9
2.2.2.3	Seismiska egenskaper	9
2.2.2.4	Elektromagnetiska egenskaper	9
2.2.3	Impaktiter	9
2.2.3.1	Nedslagsbreccior	9
2.2.3.2	Nedslagssmältor	10
2.2.4	Chock-metamorfos	10
2.2.4.1	Slagkägler	10
2.2.4.2	Plana mikrostrukturer i kvarts	10
2.2.4.3	Högtryckspolymorfer	11
<b>3</b>	<b>Metod.....</b>	<b>11</b>
3.1	Litteraturstudier	11
3.2	Kartstudier	12
<b>4</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>12</b>
4.1	Björkö	12
4.2	Vara	14
4.3	Unden	15
4.4	Kattfjorden	17
4.5	Järna	18
4.6	Båven	20
4.7	Ledfat	21
4.8	Burträsket	21
4.9	Sautusjärvi	25
4.10	Dobblon	25
4.11	Lycksele	28
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>31</b>
5.1	Björkö	31
5.2	Vara	31
5.3	Unden	31
5.4	Kattfjorden	32
5.5	Järna	32
5.6	Båven	32
5.7	Ledfat	32
5.8	Burträsket	32
5.9	Sautusjärvi	32
5.10	Dobblon	33
5.11	Lycksele	33
<b>6</b>	<b>Slutsats.....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Tack.....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Referenser.....</b>	<b>33</b>

# Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden

Ellinor Halvarsson

Halvarsson, E, 2020: Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr 597, 34 sid. 15 hp.

**Sammanfattning:** Sökandet efter nedslagskratrar har fått mycket uppmärksamhet sedan 1960 talet och flertalet kratrar över hela jorden har bekräftats sedan dess. Likaså har många strukturer i berggrunden utan känt ursprung uppmärksammats och föreslagits som möjliga nedslagsstrukturer. I Sverige finns ungefär 40 föreslagna potentiella nedslagskratrar. I denna kandidatuppsats studeras elva av dessa; Björkö, Vara, Unden, Kattfjorden, Järna, Båven, Ledfat, Burträsket, Sautusjärvi, Dobblon och Lycksele. Detta görs i syfte att bedöma vilka som är mest troliga att vara verkliga nedslagskratrar. Bedömningen baseras på litteraturstudier och studier av berggrundskartor och geofysiska kartor för respektive struktur.

Vissa av strukturerna (ex Vara, Unden och Båven) har knappt beskrivits alls i tidigare litteratur. Därför ifrågasätts att strukturerna klassas som potentiella nedslagskratrar. På grund av detta föreslås det vara lämpligare att i framtida studier utvärdera hur troligt det är att strukturerna är potentiella nedslagskratrar snarare än verkliga nedslagskratrar. Avsaknaden av tidigare litteratur om vissa strukturer kan även tänkas ha påverkat bedömningen som gjorts i detta kandidatarbete. Det är därför möjligt att framtida studier ger en mer rättvis bedömning.

I detta kandidatarbete bedöms Dobblon, Ledfat och Björkö att vara mer troliga verkliga nedslagskratrar än de andra strukturerna. Bedömningen görs eftersom dessa påvisar flera spår av nedslag än de andra strukturerna. Tidigare litteratur föreslår även att det förekommer både nedslagsbreccia och kraterfyllnadssediment i Dobblon, Ledfat och Björkö. Däremot föreslår tidigare litteratur även att plana deformationsstrukturer (PDFs) finns i tunnslip från Dobblon. Därför bedöms Dobblon vara allra mest trolig av de elva strukturerna att vara en verklig nedslagskrater.

**Nyckelord:** Nedslagskratrar, potentiella nedslagskratrar, slagkäglor, chockmetamorfos, plana deformationsstrukturer

**Handledare:** Sanna Alwmark & Carl Alwmark

**Ämnesinriktning:** Berggrundsgeologi

*Ellinor Halvarsson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: ellinor.halvarsson853@gmail.com*

# Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden

Ellinor Halvarsson

Halvarsson, E, 2020: Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden  
*Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr 597, 34 sid. 15 hp.

**Abstract:** The search of impact craters have recieved a lot of attention since the 1960s and many impact craters on various places on Earth have been recogniced since then. Additionally, many structures in the bedrock without known origin have also recieved attention and been suggested as possible impact structures. In Sweden there are approximately 40 suggested potential impact craters. In this bachelor thesis eleven of these structures; Björkö, Vara, Unden, Kattfjorden, Järna, Båven, Ledfat, Burträsket, Sautusjärvi, Dobblon och Lycksele, are studied. The aim is to evaluate which of these structures that are more likely to be an actual impact crater. This is done through literature studies and the study of bedrock maps and geophysical maps of each structure.

Some of the structures (e.g. Vara, Unden and Båven) have just barely been described in the literature. Hence it is questioned why these are classified as potentiall impact craters. Because of this it is proposed that further studies evaluate the likleyhood of these structures to be potential impact craters, rather than accual impact craters. The lack of litterature about some of the structures may also have affected the judgement in this bachelor thesis. Hence, a fairer evaluation may be done with future investigations.

In this bachelor thesis Dobblon, Ledfat and Björkö are suggested to be more likely to be accual impact craters than the other structures. This because these three show more traces of impact than the other structures. Furthermore, litterature suggests that there are impact breccia and crater fill sediment at these impact sites. However, it is also suggested in litterature that there are planar deformation structures (PDFs) in a thin section from Dobblon. Thus, Dobblon is suggested to be the most likely of them all to be an accual impact crater.

**Keywords:** Impact craters, possible impact craters, shatter cones, shock metamorphism, planar deformation features

**Supervisors:** Sanna Alwmark & Carl Alwmark

**Subject:** Bedrock Geology

*Ellinor Halvarsson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: ellinor.halvarsson853@gmail.com*

# 1 Introduktion

Under geologisk tid har himlakroppar kontinuerligt slagit ner på jorden, deformerat berggrunden och lämnat kvar permanenta avtryck. Nedslag ger upphov till temperatur- och tryckförhållanden som inte annars förekommer på jordytan och dessa förhållanden har direkta effekter på berggrunden. Runt om i världen finns än idag olika utsträckning av dessa avtryck. På vissa platser utgör nedslagskratrar tydliga strukturer i berggrunden medan det på andra platser endast finns kvar mikroskopiska spår efter de nedslag som en gång ägt rum (French 1998).

Spår av nedslagskratrar kan vara allt från geofysiska anomalier, chockmetamorfa strukturer och fragment av meteoriter. Vissa spår kan vara goda indikatorer på nedslagskratrar, men inte bevis nog för att bekräfta en nedslagskrater. För att bekräfta en nedslagskrater måste de spår som inte bildas vid någon annan geologisk process, det vill säga unika spår, hittas i berggrunden. Det finns ett antal sådana unika spår som är generellt accepterade som avgörande bevis för nedslagskratrar (French & Koeberl 2009).

Redan under tidiga 1900-talet föreslogs möjliga nedslagsstrukturer i Fennoskandia. Forskare hade redan då hittades spår av nedslag i idag erkända nedslagskratrar (Dypvik et al 2008). I mitten av 1960-talet fick forskningen ökad uppmärksamhet vilket bidrog till ökad förståelsen för nedslagsstrukturernas komplexa geologi, ekonomiska betydelse och påverkan på Jordens geologi (French 1998). Ökat intresse för nedslagsstrukturer har även resulterat i att fler nedslagskratrar har bekräftats och att allt fler möjliga strukturer har upptäckts och omdiskuterats.

Det är inte lätt att hitta strukturer eller spår av nedslag och ännu svårare är det att faktiskt bevisa en nedslagskrater. Detta dels för att flera av dessa spår och strukturer även kan bildas genom andra geologiska processer och dels för att det helt enkelt kan vara svårt att skilja på strukturer som bildats vid nedslag och strukturer som bildats av exempelvis vulkanisk aktivitet (French 1998; French & Koeberl 2009). I litteraturen omdiskuterar därför flera strukturer som vissa anser vara möjliga nedslagskratrar. I Sverige finns enligt bland annat Dypvik et al (2008) och Henkel & Pesonen (1992) omkring 40 strukturer som de anser vara möjliga nedslagskratrar. Dessa strukturer bedöms vara möjliga nedslagskratrar då de tolkas uppvisa några av de spår som nedslag kan lämna efter sig (Henkel & Pesonen 1992).

Syftet med detta kandidatarbete är att utvärdera litteratur om elva föreslagna och möjliga nedslagsstrukturer och tillsammans med egna studier av kartmaterial över strukturerna bedöma vilka som skulle kunna vara verkliga nedslagskratrar. Frågeställningen är således; vilka av dessa potentiella nedslagskratrar är mest troliga att vara verkliga nedslagskratrar och varför bedöms de vara troligare än andra?

## 2 Bakgrund

För att kunna säga något om huruvida en avvikande struktur i berggrunden är en nedslagskrater eller inte behövs kunskap om nedslagskratrar ursprung och de avtryck som de lämnar i berggrunden. Därför kommer detta kapitel handla om upphovsmakarna till nedslags-

kratrar, det vill säga, asteroider och kometer, samt de strukturerna som de lämnar kvar i berggrunden.

### 2.1 Bildandet av nedslagskratrar

Tillsammans med alla planeter i solsystemet rör sig även tusentals, möjligtvis upp till flera miljoner, mindre kosmiska kroppar som kontinuerligt kolliderar med jorden (French 1998). Det är vid dessa nedslag av de kosmiska kropparna, så kallade meteoriter, som nedslagskratrar bildas (Fig. 1 & Fig. 2). Meteorit är en generell term för alla typer av utomjordiska objekt som träffar jorden oberoende av storlek, komposition och källa. Man brukar dela in meteoriter i två grupper; asteroider och kometer (French 1998). Asteroider är kroppar av sten med storlek från några kilometer till ett par tiotals kilometer i diameter (Binzel et al 1989). Kometer är kroppar av volatil (flyktig) is och sten, med storleken upp till ett par kilometer i diameter (Wilkening 1982; Newburn et al 1991). Det är ovanligt att mycket stora kroppar kolliderar med jorden. En stor meteorit med en diameter omkring 10 km kolliderar endast med jorden en gång på 150 miljoner år, medan en meteorit med en diameter omkring 4 m kolliderar med jorden var fjärde år. Kratern som kollisionen ger upphov till är betydligt större än den meteorit som slagit ner, exempelvis kan en meteorit med en diameter på 50 m ge upphov till en krater med en diameter på 1 km (French 1998).

Vid ett nedslag av en meteorit frigörs enorma mängder energi och målberggrunden utsätts för högt tryck och höga temperaturer. Från nedslaget center produceras chockvågorna som färdas därifrån med en högre hastighet än ljudets i den drabbade berggrunden. Vid spridningen av chockvågorna sätts berggrunden i rörelse. Det är under denna komplexa process som nedslagskratern bildas (Fig. 1 & Fig. 2) tillsammans med andra permanenta deformationer i berggrunden (French 1998). Chockvågorna är intensiva högtrycks-vågor som inte bildas vid vanliga geologiska processer och ger därför upphov till många unika deformationer i berggrunden (French 1998).

### 2.2 Spår av nedslagskratrar

Innan 1960 var det inte många som trodde att kollisioner av meteoriter orsakade några omfattande geologiska förändringar. Forskare var enade om att de enda tydliga spår efter nedslag var fragment av själva meteoriten. Men studier efter 1960 har resulterat i att man idag vet att nedslag faktiskt har lämnat efter sig signifikanta permanenta spår i jordskorpan (French 1998).

Många av de nedslagskratrar som idag är bevisade uppmärksammades först på grund av deras cirkulära strukturer, så som sjöar eller lokala deformationer i berggrunden i annars odeformerad berggrund. Om kratern inte utsatts för omfattande vittring så kan dess typiska cirkulära struktur och depression bestå i berggrunden. För vissa nedslagskratrar kan även kraterkanten som inringar själva depressionen vara bevarad och likadant kan komplexa kratrar central förhöjning mitt i själva kraterdepressionen ibland finnas kvar (Fig. 2) (French 1998).

Runt omkring nedslagskratern brukar det även förekomma karaktäristiska deformationer i berggrunden som också bildats av kollisionen. Sådana deformation-

er kan vara brecciering, sprickbildningar och förkastningar (Fig. 1 & Fig. 2). Kring nedslagkratrar kan det även förekomma glasiga bergarter som påminner om vulkaniska bergarter (French 1998). Dock kan inte någon av dessa geologiska strukturer ensamma bevisa en nedslagkrater (French & Koeberl 2009).

### 2.2.1 Förekomst av meteoritfragment

Ett unikt bevis för nedslagkratrar är förekomsten av fragment av den meteorit som slagit ner. Det är dock mycket ovanligt att det finns kvar fragment av den kolliderade meteoriten eftersom de ofta totalt smälts upp eller förångas av de höga tryck och temperaturer som uppstår vid nedslaget (French & Koeberl 2009).

### 2.2.2 Geofysiska egenskaper

Geofysiska anomalierna i ett område före ett nedslagssevent skiljer sig ofta från anomalierna efter ned-

slaget. Dessa förändringar framträder mest vid magnetiska-, elektromagnetiska-, gravimetriska-, och seismiska undersökningar (Henkel & Pesonen 1992). Geofysiska undersökningar är ett bra steg mot att identifiera nedslagkratrar men de kan inte användas ensamma för att bevisa en nedslagkrater (French & Koeberl 2009).

#### 2.2.2.1 Magnetiska egenskaper

Det förekommer inte några enstaka specifika magnetiska anomalier som kännetecknar nedslagkratrar (French 1998), men ofta bildas cirkulära anomalier (Fig. 3) (French & Koeberl 2009). De magnetiska anomalierna för nedslagkratrar kan både vara lågmagnetiska och högmagnetiska. De lågmagnetiska anomalierna kan vara orsakade av att nedslaget gett upphov till att magnetit i berggrunden oxiderat (Henkel & Pesonen 1992), att susceptibiliteten i berggrunden har minskat samt att den remanenta- eller så den kallad perma-

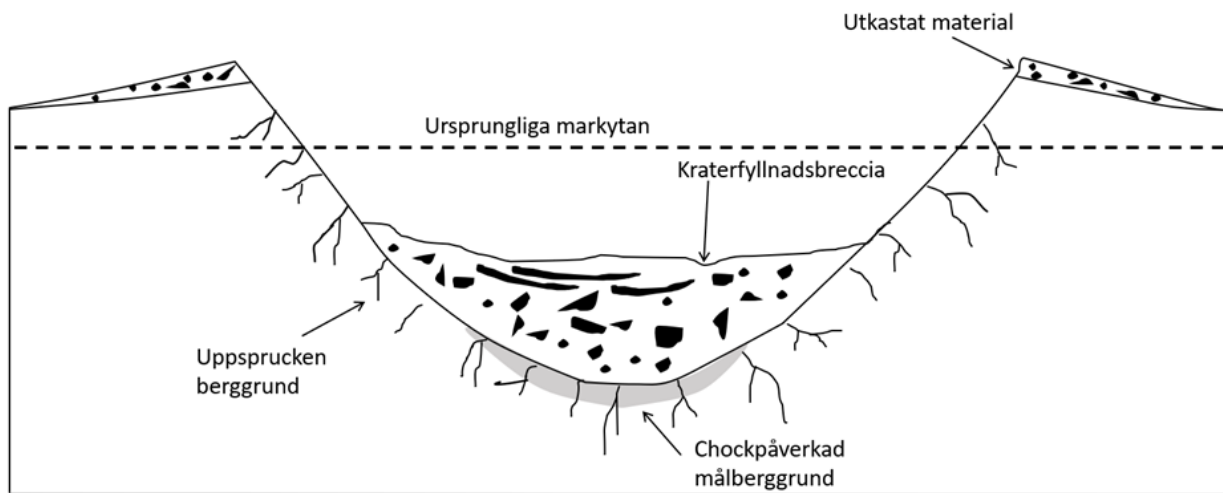


Fig. 1. Schematisk bild av en enkel nedslagkrater i genomskärning. Enkla nedslagkratrar är den minsta typen av nedslagkratrar. Dessa har en diameter mindre än ett par kilometer och kännetecknas av en skål-formad depression. Enkla kratrar är fyllda med krateryfyllnadsbreccia som är en blandning av sten fragment som är påverkad av chockmetamorfos, sten fragment som inte är påverkad av chockmetamorfos och nedslagssmälta (French 1998). Figuren är inspirerad av Grieve & Pilkington (1996) och French (1998). Av Ellinor Halvarsson.

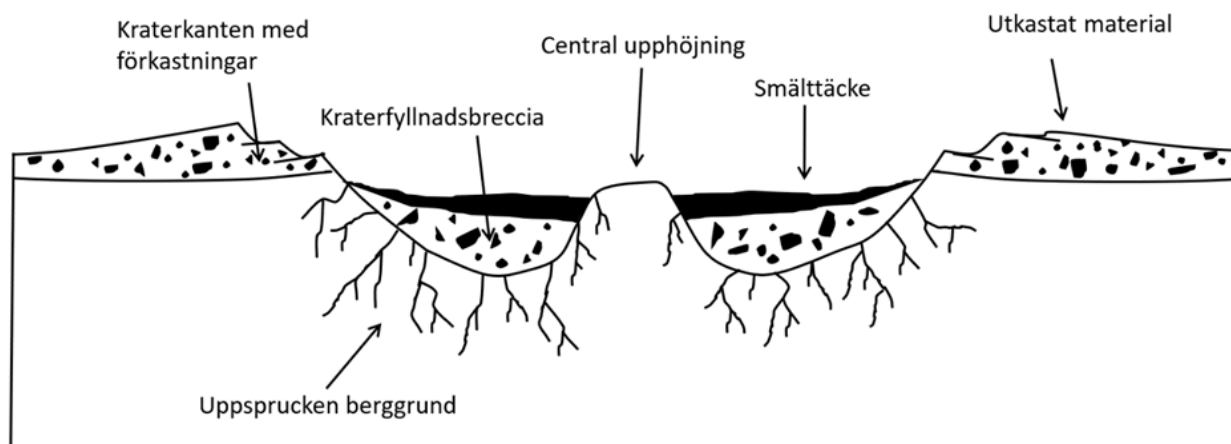


Fig. 2. Schematisk bild av en komplex nedslagkrater i genomskärning. Komplexa kratrar har en diameter över 2 km i sediment och 4 km i kristallinberggrund. Komplexa kratrar kännetecknas av en komplicerad struktur med en upphöjning mitt i kratern, en platt botten och att material längs kraterkanten har kollapsat ner i kratern. Komplexa kratrar formas av mycket stora nedslag. Den energi som dessa stora nedslag frigör orsakar komplicerade processer som ger upphov till att berggrund under kraterns mittpunkt lyfts upp, och bildar den centrala upphöjningen (French 1998). Figuren är inspirerad av French (1998). Av Ellinor Halvarsson.



nenta magnetiseringen försvunnit (Grieve & Pilkington 1996). Starka lokala magnetiska anomalier kan vara orsakade av att nedslagssmältan eller den centrala upphöjningen i kratern är remanent magnetiserad (French 1998).

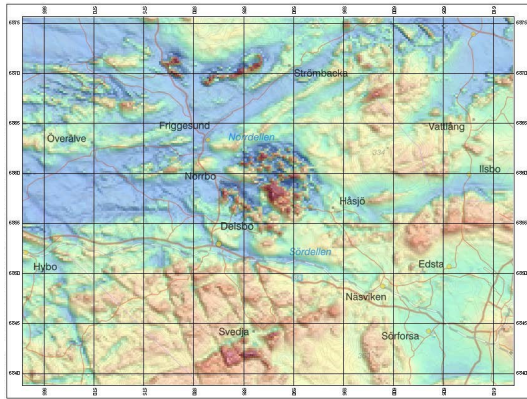


Fig. 3. Flygmagnetisk anomali över nedslagskratern Dellen som ett exempel på hur magnetiska cirkulära anomalier kan se ut. Dellen utgörs av det cirkulära högmagnetiska området centralt på kartan. Modifierad från SGUs kartvisare. @ Sveriges Geologisk Undersökning.

#### 2.2.2.2 Gravimetriska egenskaper

Brecciering och uppsprickning efter ett nedslag kan i berggrunden under kratern nå väldigt stora djup. Trots att själva kratern i sig är relativt grund jämfört med andra tektoniska strukturer kan den påverkade berggrunden under ge utslag vid gravimetriska mätningar (Fig. 4). Den påverkade berggrunden har lägre densitet än opåverkad berggrund, vilket gör att enkla nedslagskratrar ofta skildras som negativa gravimetriska cirkulära anomalier (French 1998). Dock kan mer komplexa nedslagskratrar ha en central förhöjning (Fig. 2) som istället orsakar en positiv gravitations anomali i mitten av de annars negativa gravimetriska värdena (Henkel & Pesonen 1992).

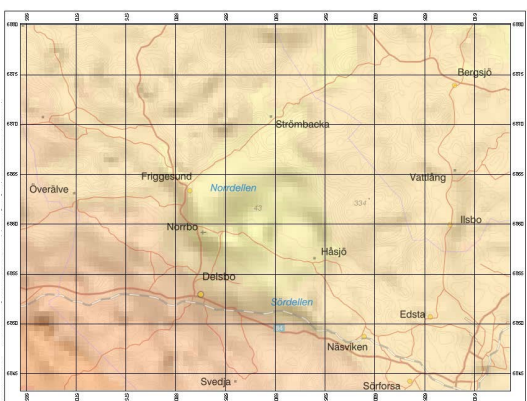


Fig. 4. Gravimetrisk anomali över nedslagskratern Dellen som ett exempel på hur gravimetriska anomalier kan se ut. Strukturen utgörs av den gula cirkulära anomalin centralt på kartan. Modifierad från SGUs kartvisare. @ Sveriges Geologisk Undersökning.

#### 2.2.2.3 Seismiska egenskaper

Seismik är främst av intresse eftersom kratrar som är fyllda av sediment eller på andra sätt är övertäckta bäst

upptäckts med seismiska metoder (Henkel & Pesonen 1992). Seismiska metoder används även för att identifiera karaktäristiska deformationer under stora nedslagskratrar. Dessa deformationer kan bland annat vara att berggrunden längs kanterna av kratern har förflyttats neråt och inåt i kratern. Vidare kan deformationerna indikeras av osammanhängande seismiska reflektioner under den centrala upphöjningen i kratern. Ännu djupare under den centrala upphöjningen kan sammanhängande seismiska reflektioner förekomma som indikerar odeformerad berggrund och att botten av kratern är nådd (French 1998). Nedslagskratrar kännetecknas av att berggrundens deformationer avtar med djupet och slutligen försvinner, vilket således kan påvisas med seismiska undersökningar (French & Koeberl 2009).

#### 2.2.2.4 Elektromagnetiska egenskaper

Nedslagskratrar kan påvisa ökad resistivitet jämfört med omkringliggande berggrund. Detta kan vara på grund av ökad porositet som ett resultat av uppsprickningen berggrund, brecciering och lager av nedslagssmältor. Ökad porositet kan resultera i ökat innehåll av vatten i berggrund vilket också bidrar till ökad konduktivitet (Henkel & Pesonen 1992). De elektromagnetiska egenskaperna hos en nedslagsstruktur kan även sträcka sig utanför själva kraterns diameter. Det är dock än så länge inte så vanligt att elektromagnetiska metoder används vid undersökningar av nedslagskratrar (Grieve & Pilkington 1996).

#### 2.2.3 Impaktiter

Impaktiter är en benämning av de bergarter som på något vis producerats vid ett nedslagsevent. Nedslagsbreccia och nedslagssmältor är exempel på två huvudtyper av impaktiter. Olika impaktiter bildas vid olika tillfällen under nedslagsprocessen, beroende av vilka tryck- och temperaturförhållanden som uppnåts samt vilka processer materialet utsätts för, till exempel om det kastas ut ur kratern eller inte. Hur de olika impaktiterna klassificeras och definieras är komplext och nedan följer en översiktlig beskrivning av några av dem (Stöffler & Grieve 2007).

##### 2.2.3.1 Nedslagsbreccior

Nedslagsbreccior kan bildas vid olika processer som sker under nedslagseventet och består bland annat av den berggrund som fragmenterats vid nedslaget. Bildningen kan ske dels vid den inledande fasen av kraterbildningen då chockvågorna uppstår och dels senare in i kraterbildningen då kratern förändras och deformeras (French 1998). Nedslagsbreccior brukar klassificeras både beroende av hur många litologer som ingår i breccian och dels beroende av matrixets karaktär. Breccior som består av fragment av samma litologi, klassas som monomikta breccior och breccior med fragment av olika litologier, klassas som polymikta breccior. Förekommer endast bergarts- och mineralfragment i en polymikt breccia kallas den för litiskt beccia och förekommer även fragment av nedslagssmältan alternativt glassfragment kallas den polymikta breccian för smältbärande breccia. Nedslagsbreccior kan både förekomma i botten av kraterns, under kratern, som fyllnadssediment i kratern och runt om kratern (Stöffler & Grieve 2007).

Nedslagsbreccior kan vara svåra att skilja från andra typer av breccior som bildat av andra tektoniska processer. För att kunna avgöra om det verkligen är nedslagsbreccia behöver det förekomma material påverkat av chockmetamorfof i bergarten (French & Koeberl 2009; French 1998)

### 2.2.3.2 Nedslagssmältor

Variationer av ovanliga bergarter, så kallade nedslagssmältor, bildas även vid nedslag. Dessa bergarter bildas av chockvågors energi som avsätts som värme i berggrunden. Uppsmältning av berggrunden sker vid de chocktryck som ger upphov till temperaturer över berggrundens smältpunkt. Den uppsmälta berggrunden sprids därpå ut i kratern och kristalliseras slutligen till olika typer av nedslagssmältbergarter (French 1998). Många aspekter av hur nedslagssmältor bildas är än idag okända men det är endast vid nedslag som formationen av nedslagssmältor förekommer (e.g., Dence 1971; Cintala & Grieve 1998). Flera hundra kubikkilometer nedslagssmälta kan produceras när större nedslagskratrar bildas och bergarten utgör då en betydande del av nedslagskraterns geologi (French 1998).

Det finns olika typer av nedslagssmältor, till exempel smälttäcken, gångar av nedslagssmälta, små glasiga smältkroppar och nedslagssmältor inkluderat i breccior (French & Koeberl). Smältbergarterna förekommer vid olika platser kring kratern men den stora majoriteten finns i kratern eller i närliggande områden. Till exempel så förekommer glasiga smältkroppar och gångar av stora kroppar nedslagssmälta ofta i kratern (French 1998). En mycket liten andel av nedslagssmältan som bildas vid ett nedslagssevent avsätts flera hundra till tusen kilometer från platsen där kollisionen ägt rum. Dessa nedslagssmältor utgörs av glasiga kroppar av ren smälta i storlek upp till några centimeter. För att dessa kroppar ska bildas och transporteras flera hundra till tusen kilometer förutsätts att uppsmältningen varit kraftig och att bergarten kastats från kratern med mycket hög hastighet (e.g. Melosh & Vickery 1991).

Nedslagssmältor kan ibland misstas för att vara bergarter bildade av andra processer än nedslag. Till exempel så kan det vara svårt att avgöra om en glasig bergart är av vulkaniskt ursprung eller orsakat av ett nedslag (French & Koeberl 2009). Ett annat exempel är att smältbärande breccior kan vara mycket lika vulkaniska breccior och därav vara svår att identifiera (French 1998).

### 2.2.4 Chockmetamorfof

Chockmetamorfof ger upphov till irreversibla förändringar i berggrunden som ett resultat av att chockvågor passerat. Chockmetamorfa effekter bildas bara naturligt vid nedslag (French 1998) och är därför mycket betydande vid sökandet efter av terrestriska nedslagsstrukturer. Många chockmetamorfa strukturer har även förmåga att överleva över långa geologisk tid, vilket innebär att de kan användas för att bevisa mycket gamla nedslagsstrukturer.

De extremt höga tryck som bildas vid ett nedslag är långt från de som råder för normala geologiska processer. Tryck som motsvarar de som råder vid nedslag sker i jordliga förhållanden endast på ett djup kring 75-1000 km ner i jordskorpan. Dessa tryck ger upphov till

chockvågor som avsätter energi i allt material som de passerar, vilket i sin tur orsakar chockmetamorfof. Med ökat chocktryck ökar temperaturen vilket resulterar i att olika stadier av chockmetamorfof förekommer (French 1998). Således kommer det beroende på hur högt trycket är bildas olika typer av chockmetamorfa strukturer och effekter. Låga tryck (2-6 GPa) ger upphov till sprickbildning, brecciering och slagkägglor (Fig. 5). Vid något högre tryck (10-15 GPa) börjar bildning av så kallade plana deformations strukturer (PDFs) i kvarts korn (Fig. 6). Vid ännu högre tryck (15-20 GPa) påbörjar omvandling av mineral till högttryckspolymorfer. Är trycken ännu högre (35-60 GPa) sker partiell uppsmältning av individuella mineral och vidare vid ytterligare högre tryck (60-100 GPa) sker fullständig uppsmältning av alla mineral. Vid tryck över 100 GPa sker fullständig vaporisation av berggrunden (Milton 1997; Roddy & Davis 1977).

#### 2.2.4.1 Slagkägglor

Slagkägglor är konformade ansamlingar av krökta stricrade sprickor i berggrunden (Fig. 5). Slagkägglor är den enda produkten av chockdeformation som kan urskiljas utan mikroskop. Till skillnad från andra deformationer som också bildas vid lägre tryck, är slagkägglor ett unikt kännetecken för nedslagsstrukturer. Detta är på grund av att andra deformationer som också bildas vid lägre chocktryck, så som breccia, även kan bildas av andra tektoniska processer. Slagkägglorna bildas ofta i berggrunden under själva kratergolvet samt i komplexa nedslagskratrans centrala upphöjning. Strukturen förekommer i varierande storlek, allt från millimeter till meter i skala, och bildas i alla typer av bergarter men är lättast att urskilja i finkorniga bergarter (French 1998).

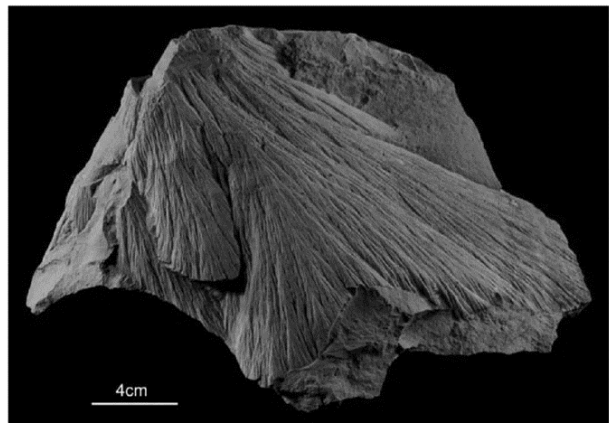


Fig. 5. Slagkägglor. Modifierad från Earth-Science Reviews, 98, French B.M. & Koeberl C, The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why, 123-170., Copyright (2009), with permission from Elsevier.

#### 2.2.4.2 Plana mikrostrukturer i kvarts

Plana mikrostrukturer är ytterligare en karaktäristisk deformation orsakad av chockvågor. Dessa mikrostrukturer framträder i mineralkristaller av bland annat kvarts och fältspat som ansamlingar av parallella deformationsplan. Dessa strukturer, främst de som finns i kvarts, har inom forskningen varit mycket betydande

för identifiering av nedslagskratrar (French 1998). Det har även visat sig att chockvågor kan bilda två typer av planar mikrostrukturer i kvarts, så kallade plana sprickor och plana deformationsstrukturer (PDFs) (Fig. 6) (French 1998). Plana sprickor bildas vid chockvågor med lågt tryck (5-8 GPa) och karaktäriseras av en mängd parallella och plana sprickor eller spaltplan i kvartskorn (e.g. Stöffler & Langenhorst 1994; French et al 1997). PDFs utgörs av uppsättningar av mycket smala, parallella plana regioner (Fig. 6). PDFs är inte öppna sprickor eller spaltplan så som plana sprickor. (e.g. Stöffler & Langenhorst 1994). En annan viktig skillnad mellan plana sprickor och PDFs är att åtminstone liknande varianter av de förstnämnda kan bildas vid andra typer av geologiska processer än nedslag. Detta innebär att andra kännetecken måste användas tillsammans med plana sprickor för att bevisa nedslagskratrar, medans PDFs är unika (French 1998).

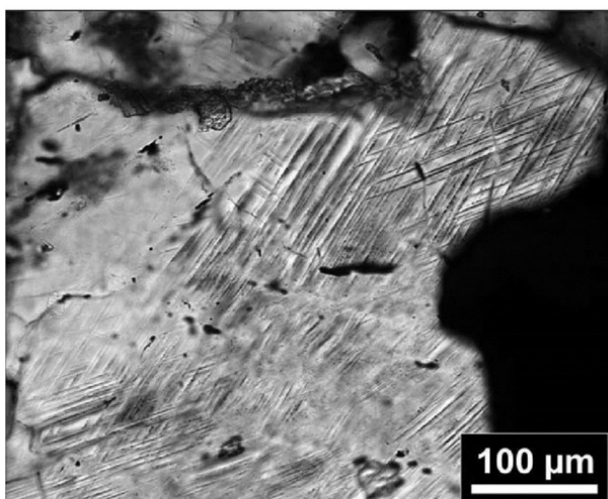


Fig. 6. Plana deformations strukturer (PDF) i kvarts. Modifierad från Earth-Science Reviews, 98, French B.M. & Koeberl C, The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why, 123-170., Copyright (2009), with permission from Elsevier.

#### 2.2.4.3 Högtryckspolymerer

När mineral utsätts för mycket höga tryck djupt ner i jordskorpan kan de ombildas till andra mineral som är mer stabila under höga tryck, dessa kallas högtryckspolymerer. Detta kan även ske vid nedslag för de mineral som utsätts för mycket höga tryck. Vid tryck över 15 GPa kan kvarts omvandlas till stishovit och grafit till diamant. Vid tryck över 30 GPa omvandlas kvarts till coesit (Stöffler & Langenhorst 1994). Dessa polymerer är relativt bra kännetecken för nedslagskratrar om de hittas i ytnära bergarter. Dock kan både coesit och diamant förekomma naturligt, fast i djupt liggande bergarter. Men från dessa djup kan de transporteras upp till ytan via tektoniska processer och vulkanutbrott vilket resulterar i att det krävs stor noggrannhet när coesit och diamant används vid identifiering av nedslagsstrukturer. Högtryckspolymeren stishovit har ännu inte påträffats i miljöer som inte utsätts för chockvågor av nedslag. Följaktligen är förekomst av denna polymer i berggrunden ett unikt teck-

en på att ett nedslag har inträffat där (French 1998).

## 3 Metoder

Vid valet av vilka potentiella nedslagsstrukturer som skulle studeras i detta kandidatarbete har artikeln *Impact craters and craterform structures in Fennoscandia* av Henkel & Pesonen (1992) använts som utgångspunkt. Utöver strukturerna som valts från Henkel & Pesonen (1992) så har även Lyckselestrukturen inkluderats i arbetet. För att begränsa arbetet har endast strukturer som är större än 6 km i diameter men mindre än 150 km i diameter valts.

De strukturer som studeras i detta kandidatarbete är följande: Björkö, Vara, Unden, Kattfjorden, Järna, Båven, Ledfat, Burträsket, Sautusjärvi, Dobblon och Lycksele (Fig. 7).



Fig. 7. Karta över vart strukturer som studerats i detta kandidatarbete är belägna i Sverige. ©Lantmäteriet. Inspirerad av Henkel & Pesonen (1992). Av Ellinor Halvarsson

### 3.1 Litteraturstudier

Vid sökning av litteratur har främst Scopus, Web of science och Lubsearch använts. Ibland har även Google Scholar använts och några artiklar har även tilldelats av handledarna. Sökningar har både gjorts efter artiklar som handlar om själva strukturerna men även efter de områdena där strukturerna är belägna. För att bedöma troligheten för de valda strukturerna att vara verkliga nedslagskratrar har kännetecken och kriterier för nedslagskratrar som anges i *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures* av French (1998) och *The convincing identification of terrestrial*

*meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why* av French & Koebler (2009) använts.

### 3.2 Kartstudier

Utöver litteraturstudierna har även kartor av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) studerats. Detta för att komplettera litteraturen om de valda potentiella nedslagsstrukturerna. Strukturerna har undersökts i SGUs kartvisares, både på berggrundskartor, flygmagnetiska kartor och gravimetriska kartor. Karaktäristiska anomalier och cirkulära strukturer på kartorna har uppmärksammat. För de strukturer där det varit möjligt, har det även gjorts studier av kartor och kartbladsbeskrivningar från SGUs Geolager. Kartbladsbeskrivningarna har använts för att leta efter ytterligare beskrivning av bergarter, strukturer, deformationer eller likande karaktärsdrag för nedslagskratrar. För att hitta dessa kartor och kartbladsbeskrivningar i SGUs Geolager sorterades sökningen efter de geografiska områdena som strukturen är belägen. Ytterligare vid sökningarna valdes "ämnesområde" till berggrundsgeologi och geofysik och "produkttyp" valdes till karta och beskrivning. De kännetecken och kriterier för nedslagskratrar som anges av French (1998) och French & Koebler (2009) användes vid både studier av kartor i SGUs kartvisare och kartbladsbeskrivningar från Geolageret.

## 4 Resultat

Följande redovisas resultatet av både litteraturstudierna och studierna av berggrundskartorna och de geofysiska kartorna för varje struktur. En sammanställning av resultatet av kartstudierna finns även i Tabell 1.

### 4.1 Björkö

Björkö föreslås som trolig nedslagskrater av Henkel & Pesonen (1992). Detta motiveras av att Henkel & Pesonen (1992) beskriver förekomsten av breccia vid Björkö samt att de föreslår förekomst av möjliga kraterfyllnads sediment, i det fall att strukturen är en nedslagskrater. Henkel & Pesonen (1992) menar även att Björkö har elektromagnetiska egenskaper likt en nedslagsstruktur. Strukturen är belägen söder om Kungsängen i Mälaren och Henkel & Pesonen (1992) anger en diameter på 9 km för strukturerna. Flodén, Söderberg & Wickman (1993) menar att den topografiska höjden Ingaberga på södra Björkö är omringad av en topografisk depression som föreligger i berggrunden. De tolkar Ingaberga som en möjlig central upphöjning i den potentiella nedslagskratern. Flodén, Söderberg & Wickman (1993) påstår även att de funnit plana strukturer i ett tunnslip från ön Midsommar sydväst om Björkö. Vidare menar Flodén, Söderberg & Wickman (1993) att deras geofysiska studier i form av seismisk refraktion och reflektion stöttar hypotesen om att Björkö är en nedslagskrater. Breccia i området beskrivs av Gorbatshev & Kint (1961) och föreslås även av Flodén, Söderberg & Wickman (1993) vara nedslagsbreccianedslagsbreccia.

På berggrundskartan går det inte att tyda en tydlig cirkulär struktur kring Björkö (Fig. 8). Dock är sjön som Björkö ligger i en topografisk depression och en topografisk höjd på Björkö:s södra del går även att tyda (Fig. 8). På den geofysiska kartorna går det vare sig att tyda en avvikande cirkulär magnetisk anomali (Fig. 9) eller en avvikande cirkulär gravimetrisk anomali (Fig. 10) i de geofysiska kartorna.

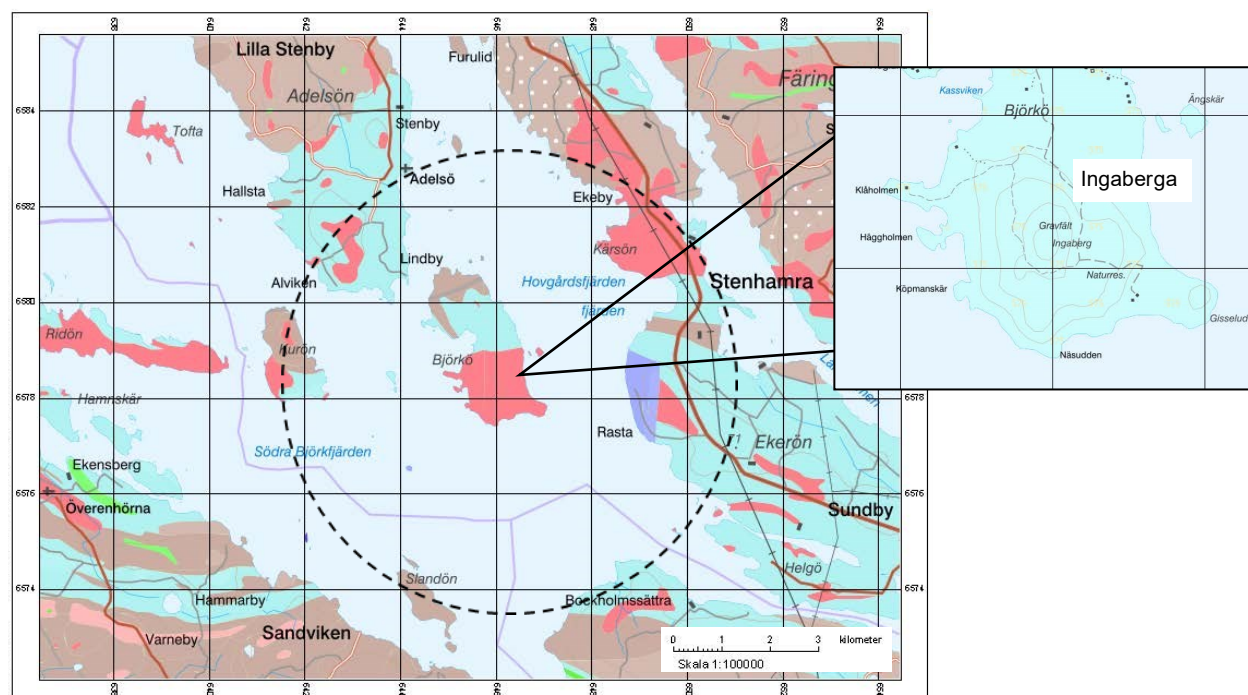


Fig. 8. Berggrundskarta över Björkö från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologiska Undersökning.

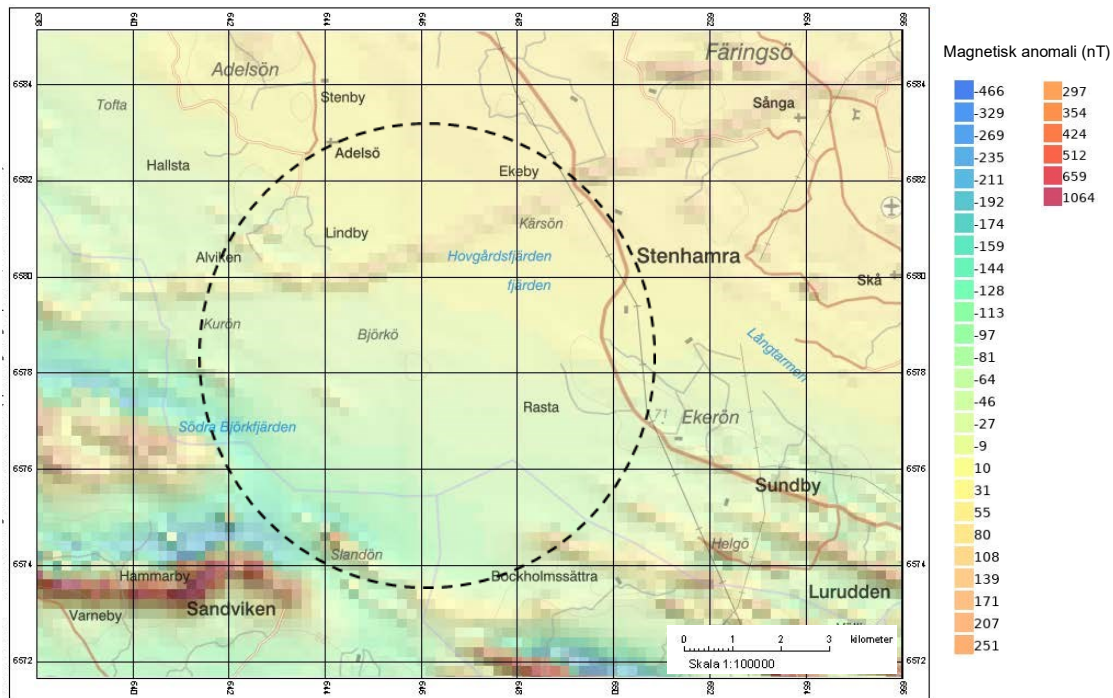


Fig. 9. Flygmagnetisk karta över Björkö från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

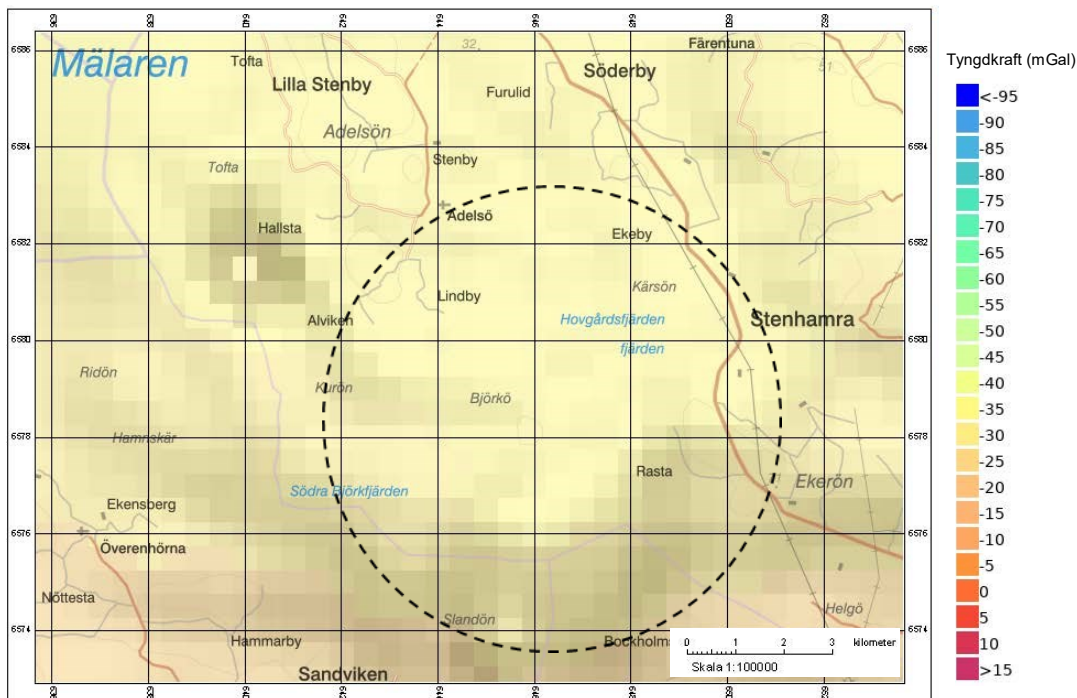


Fig. 10. Gravimetrisk karta över Björkö från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

## 4.2 Vara

Vara föreslås av Henkel & Pesonen (1992) att vara en möjlig nedslagskrater på en diameter av 30 km. Vara är belägen syd-sydöst om Väneren, öster om Trollhättan. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess topografi.

I berggrundskartan över Vara går det varken att

tyda någon cirkulär struktur eller en topografisk depression (Fig. 11). På den flygmagnetiska kartan går inte att tyda någon avvikande cirkulär magnetisk anomali (Fig. 12). Det går heller inte att tyda någon avvikande gravimetrisk anomali (Fig. 13) i den gravimetriska kartan.

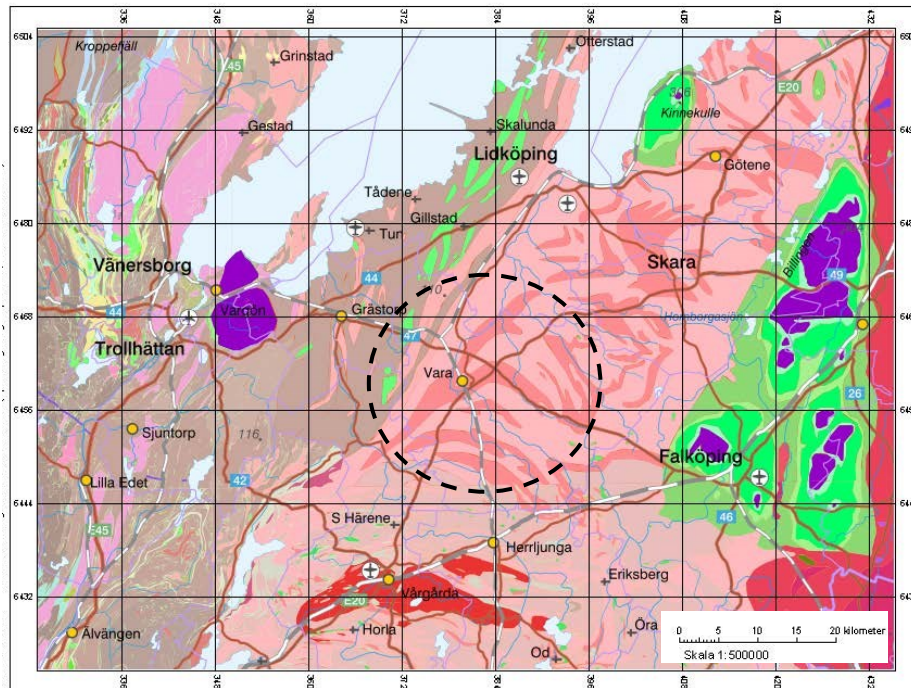


Fig. 11. Berggrundskarta över Vara från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

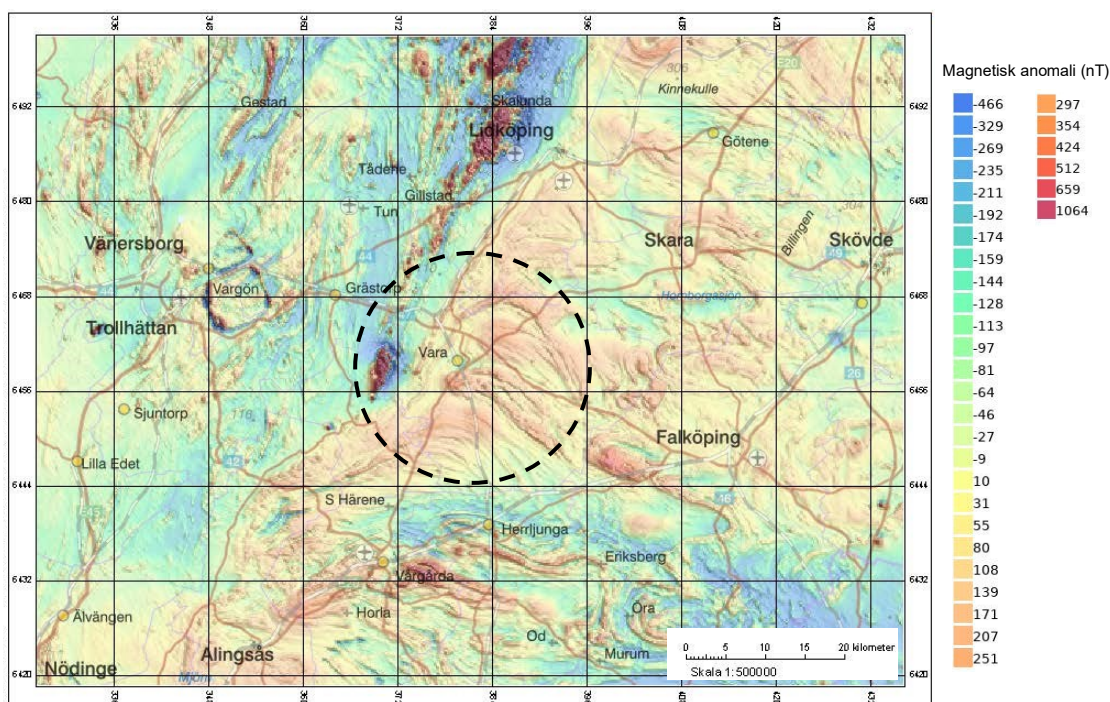


Fig. 12. Flygmagnetisk karta över Vara från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

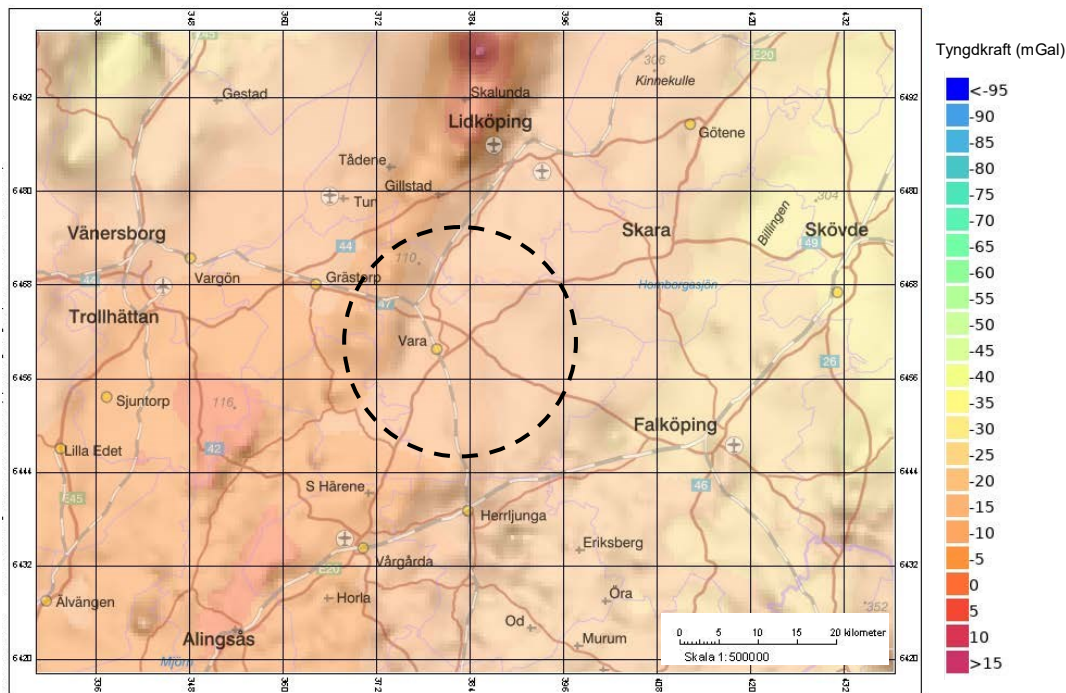


Fig. 13. Gravimetrisk karta över Vara från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

### 4.3 Unden

Unden anges som en möjlig nedslagskrater med en diameter på 9 km enligt Henkel & Pesonen (1992). Undensjön är belägen väst om Vätterns norra del, öst om Vänern. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess topografi.

Westergård och Johansson (1915) beskriver i *Kartbladsbeskrivning Töreboda* branta stränder kring Un-

den som tolkas vara på grund av förkastningar. De uppskattar även att Unden har ett djup på minst 89 m. Westergård och Johansson (1915) beskriver även breccia i områdets förkastningszoner.

Undensjön har en cirkulär form och utgör en topografisk depression (Fig. 14). Inga avvikande anomalier kan tydas i den flygmagnetiska kartan (Fig. 15) eller den gravimetriska kartan (Fig. 16).

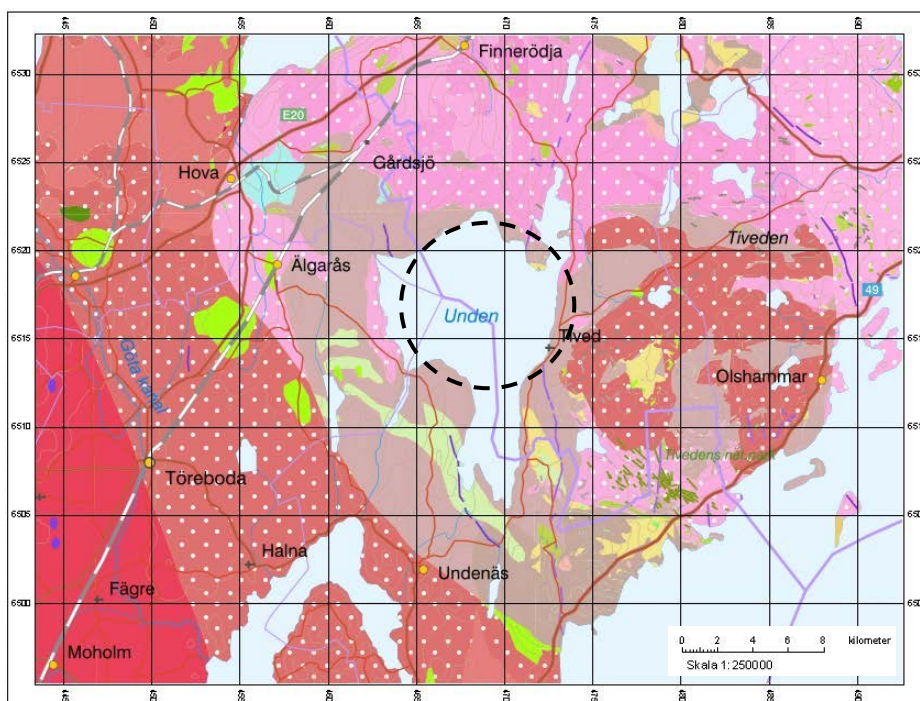


Fig. 14. Berggrundskarta över Unden från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

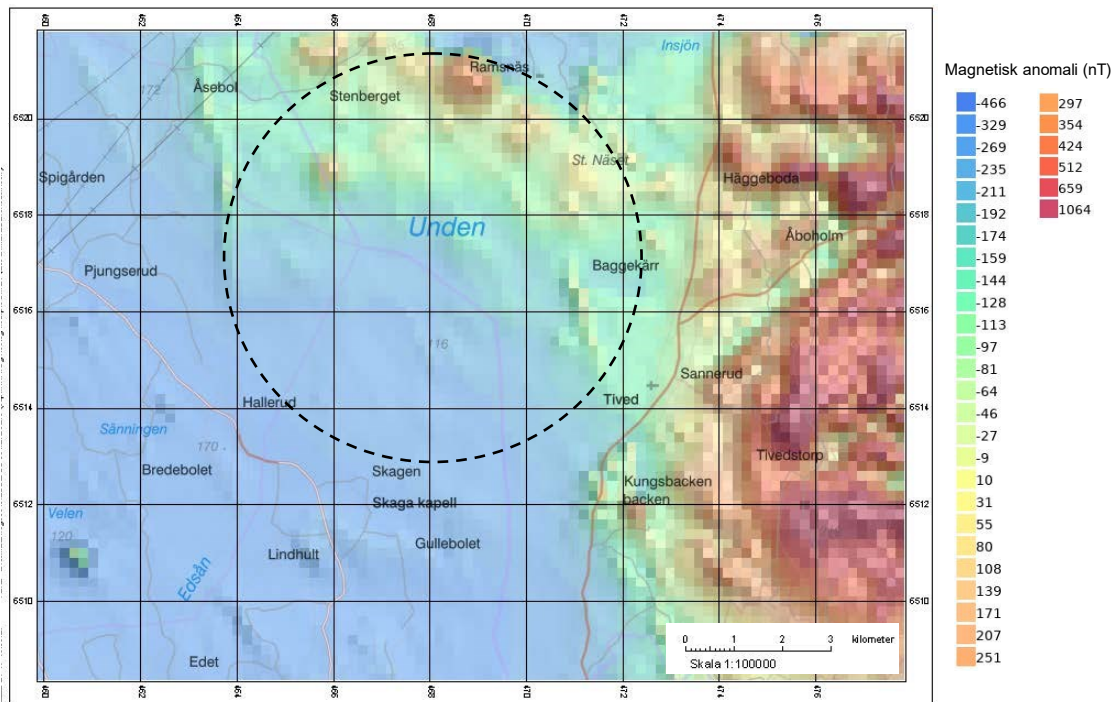


Fig. 15. Flygmagnetisk karta över Unden från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

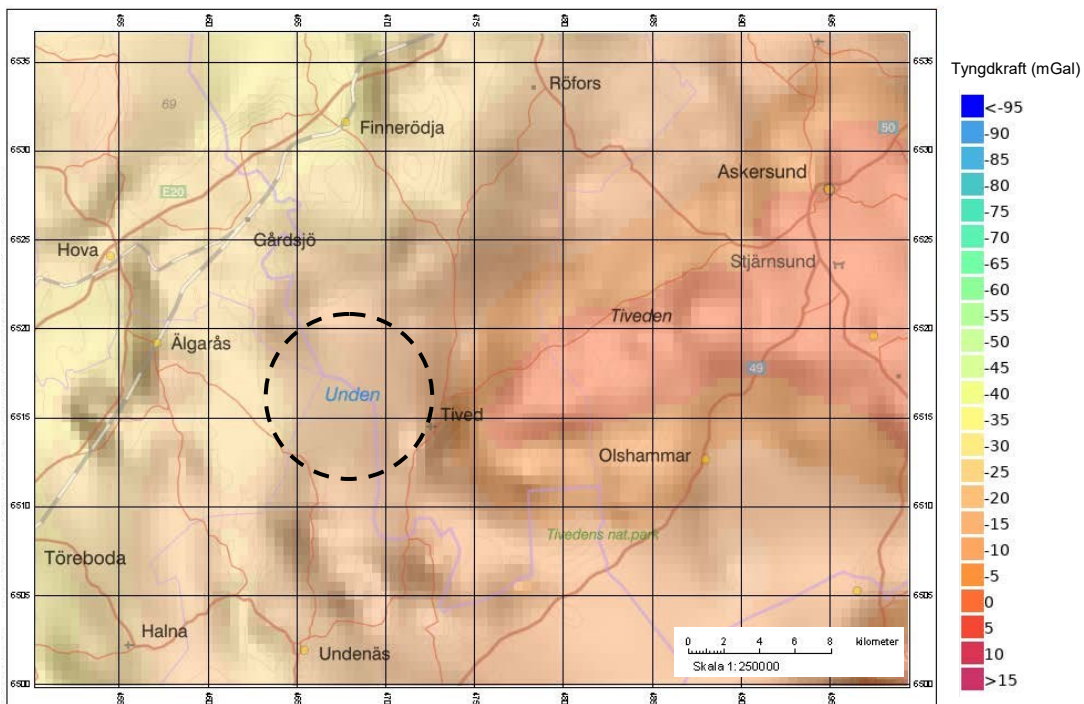


Fig. 16. Gravimetrisk karta över Unden från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.



#### 4.4 Kattfjorden

Kattfjorden anges som en möjlig nedslagskrater med en diameter på 7,5 km av Henkel & Pesonen (1992). Strukturen är belägen i norra Vänern, sydväst om Karlstad. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess topografi.

Magnusson och Sandegren (1933) beskriver i *Beskrivning till kartbladet Karlstad* förekomst av breccior i området kring Kattfjorden. De flesta av dessa breccior tolkas av Magnusson och E. Sandegren

(1933) vara bildade i tektoniska zoner och sprickbildning beskrivs även förekomma kring Kattfjorden.

På berggrundskartan syns att Kattfjorden har en något rundad form tillsammans med Onsön och andra närliggande öar (Fig. 17). Fjorden är en topografisk depression (Fig. 17). Det förekommer högmagnetiska anomalier med något rundade former kring fjorden, dock är dessa genomgående för hela Vänern (Fig. 18). Det går inte att tyda någon cirkulär avvikande gravimetrisk anomali vid Kattfjorden (Fig. 19).

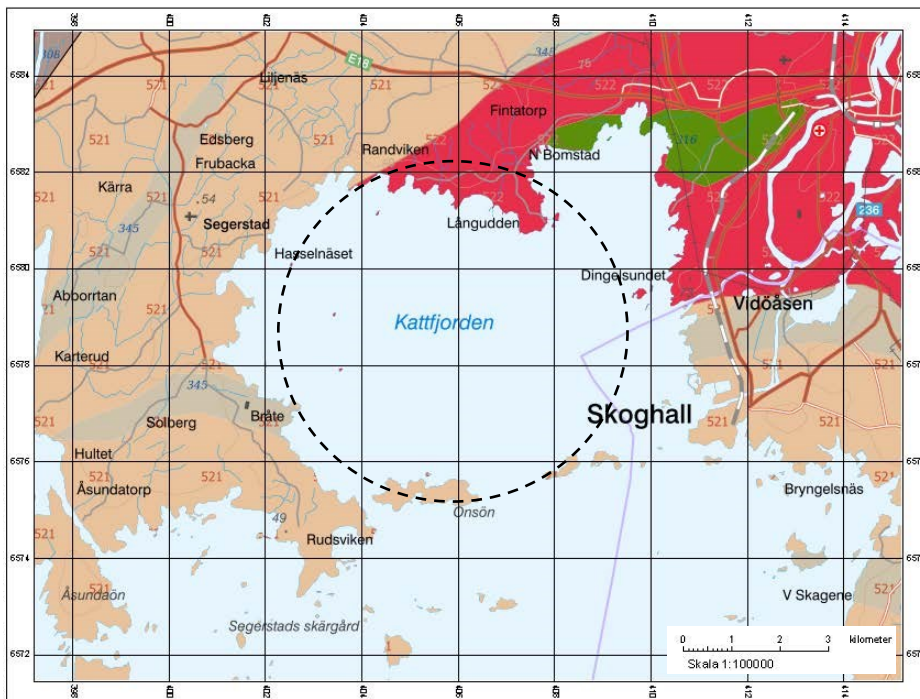


Fig. 17. Berggrundskarta över Kattfjorden från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). © Sveriges Geologiska Undersökning.

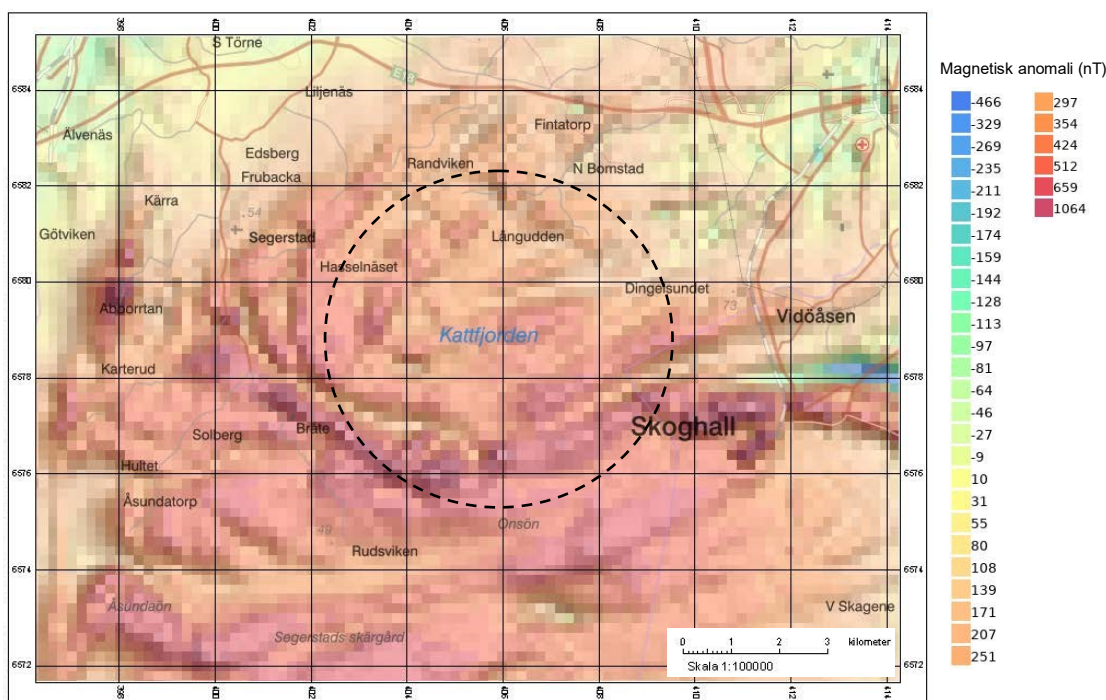


Fig. 18. Flygmagnetisk karta över Kattfjorden från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). © Sveriges Geologiska Undersökning.

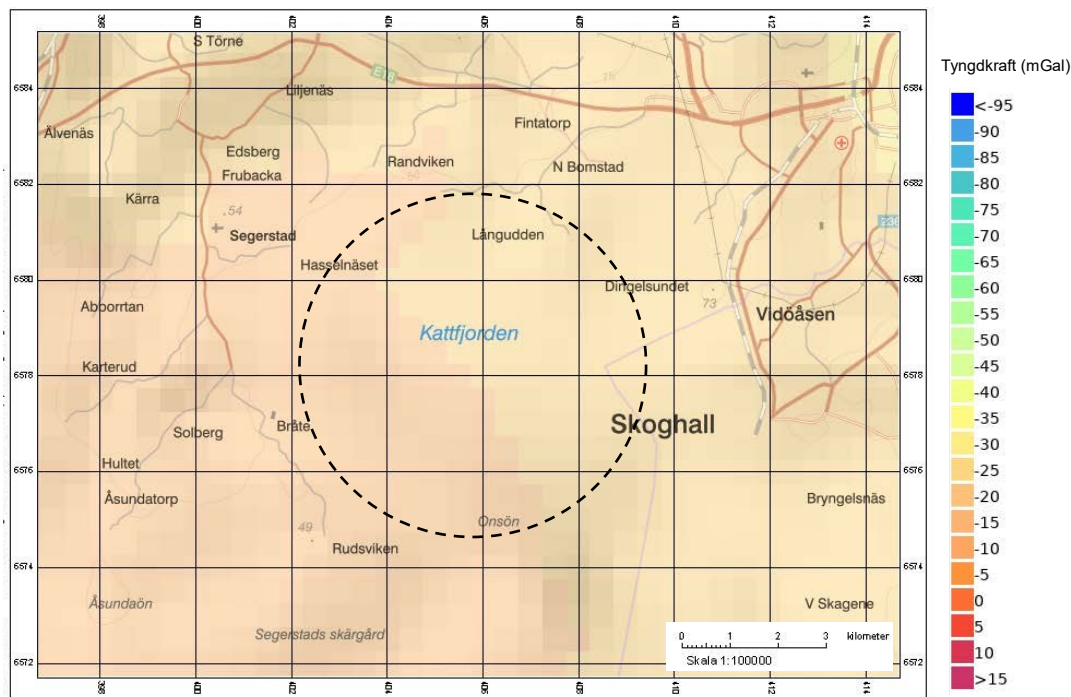


Fig. 19. Gravimetrisk karta över Kattfjorden från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

#### 4.5 Järna

Järna anges enligt Henkel & Pesonen (1992) som en möjlig nedslagsstruktur med en diameter på 12 km. Järna strukturen är belägen syd-sydväst om Siljan och väst om Borlänge. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess

topografi.

Det kan inte tydas någon cirkulär struktur eller topografisk depression i berggrunden vid Järna (Fig. 20). Det kan anas en något högmagnetisk anomali kring Järna (Fig. 21) men ingen avvikande gravimetrisk anomali (Fig. 22).

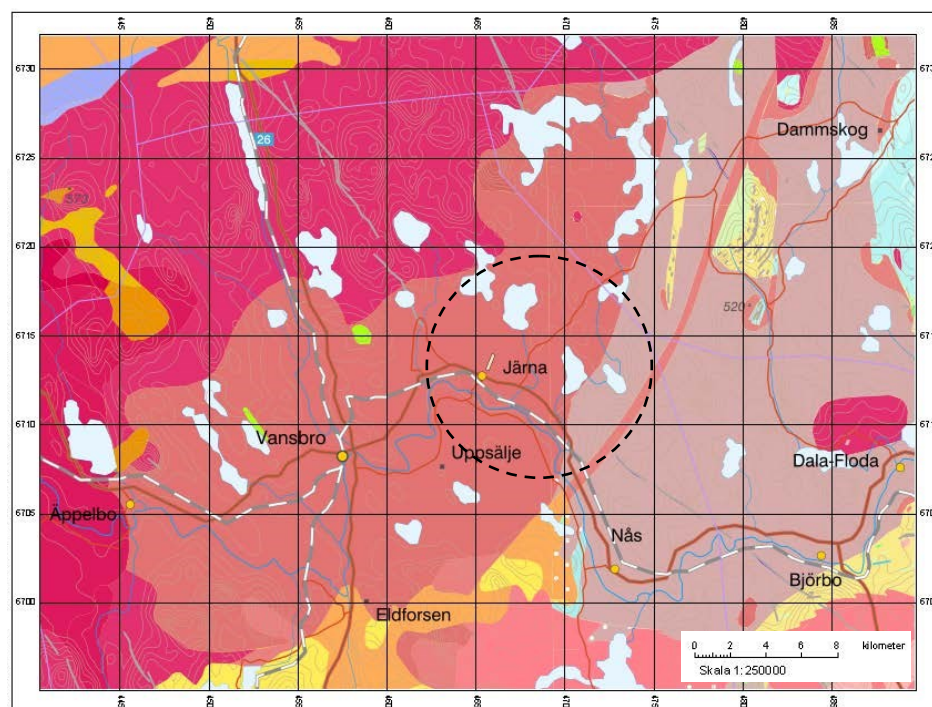


Fig. 20. Berggrundskarta över Järna från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

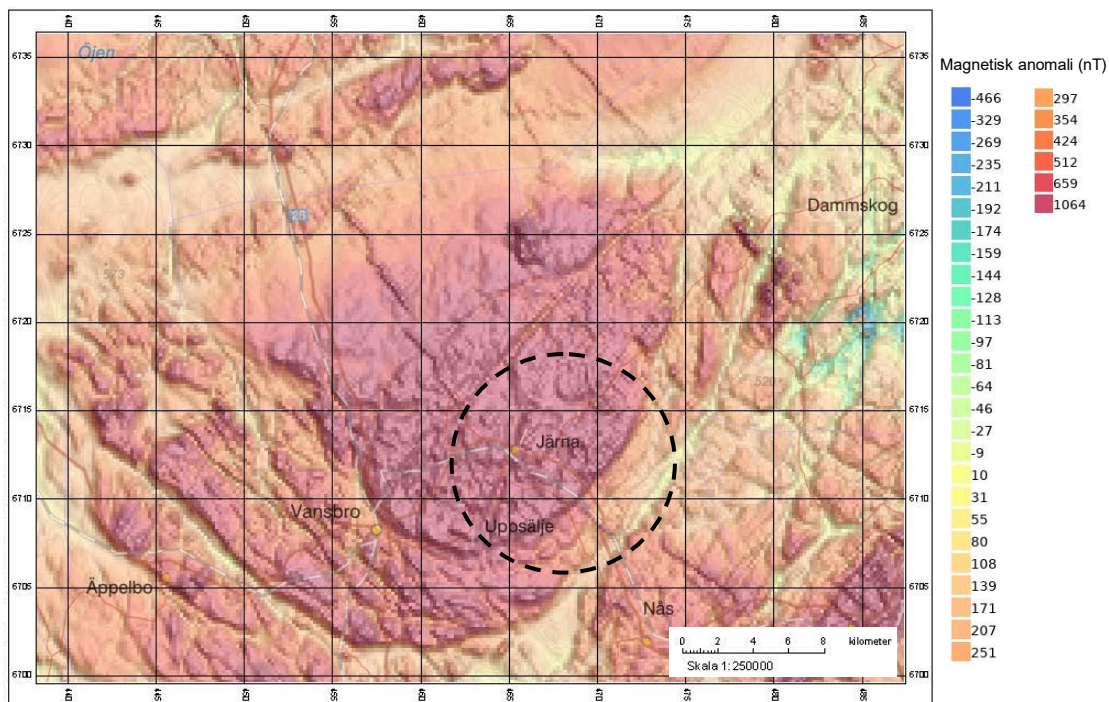


Fig. 21. Flygmagnetisk karta över Järna från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

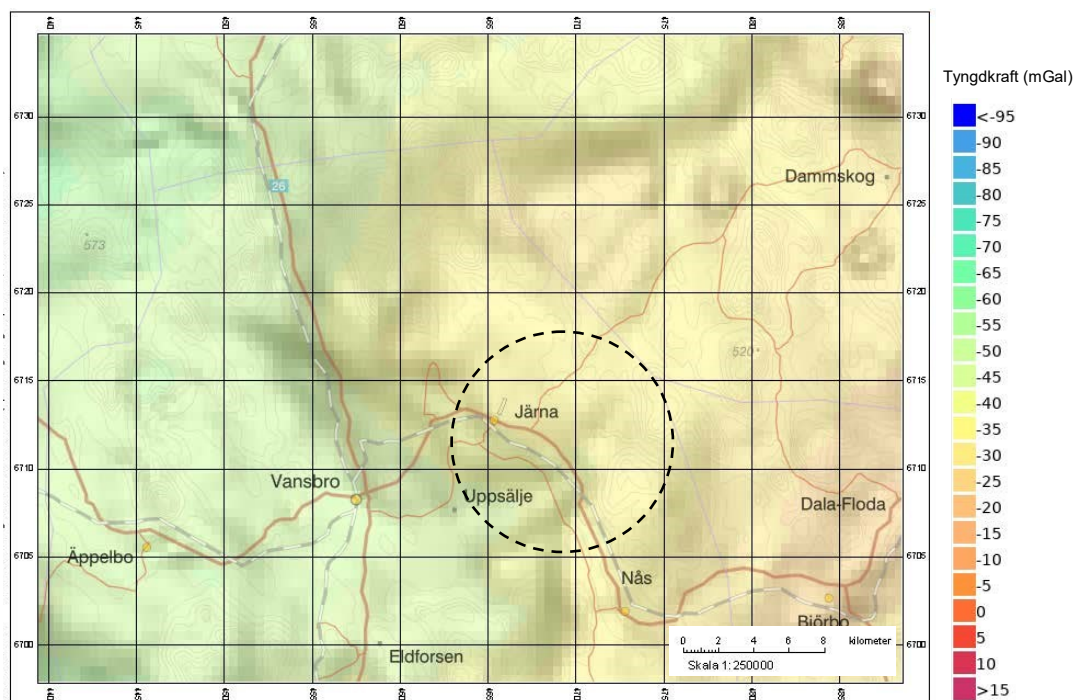


Fig. 22. Gravimetrisk karta över Järna från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

## 4.6 Båven

Båven strukturen anges av Henkel & Pesonen (1992) som en möjlig nedslagskrater med en diameter på 15 km. Strukturen är belägen öst om Flen. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess topografi samt att det ska förekomma en ringformad struktur.

Båvenvattnet utgör en något ringformad struktur och en topografisk depression (Fig. 23). Dock kan varken någon cirkulär magnetisk anomali (Fig.24) eller en cirkulär gravimetrisk anomali (Fig.25) tydas över Båven.

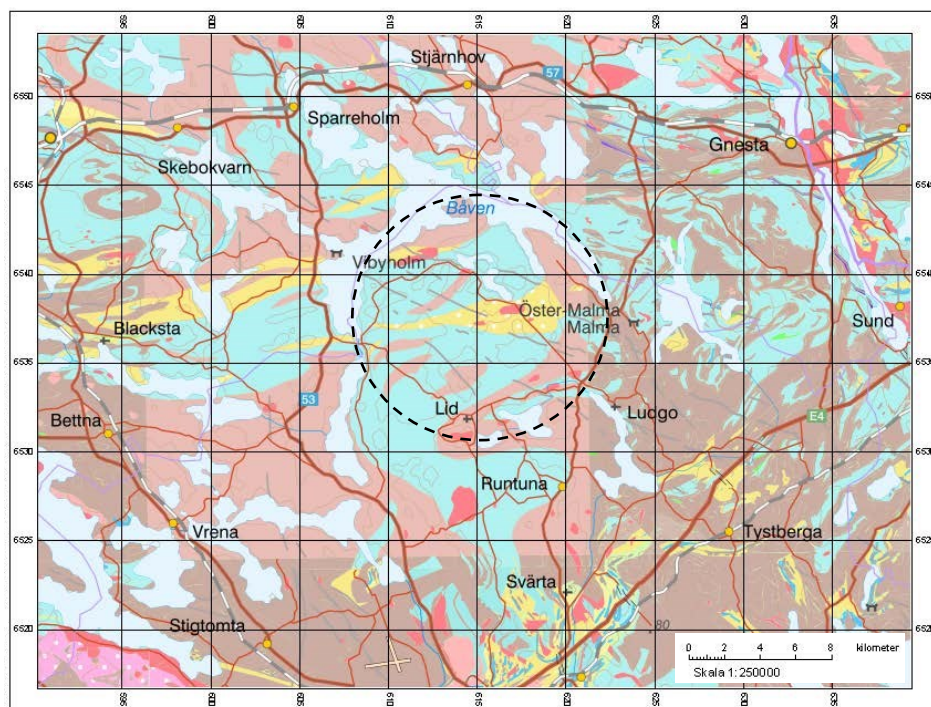


Fig. 23. Berggrundskarta över Båven från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

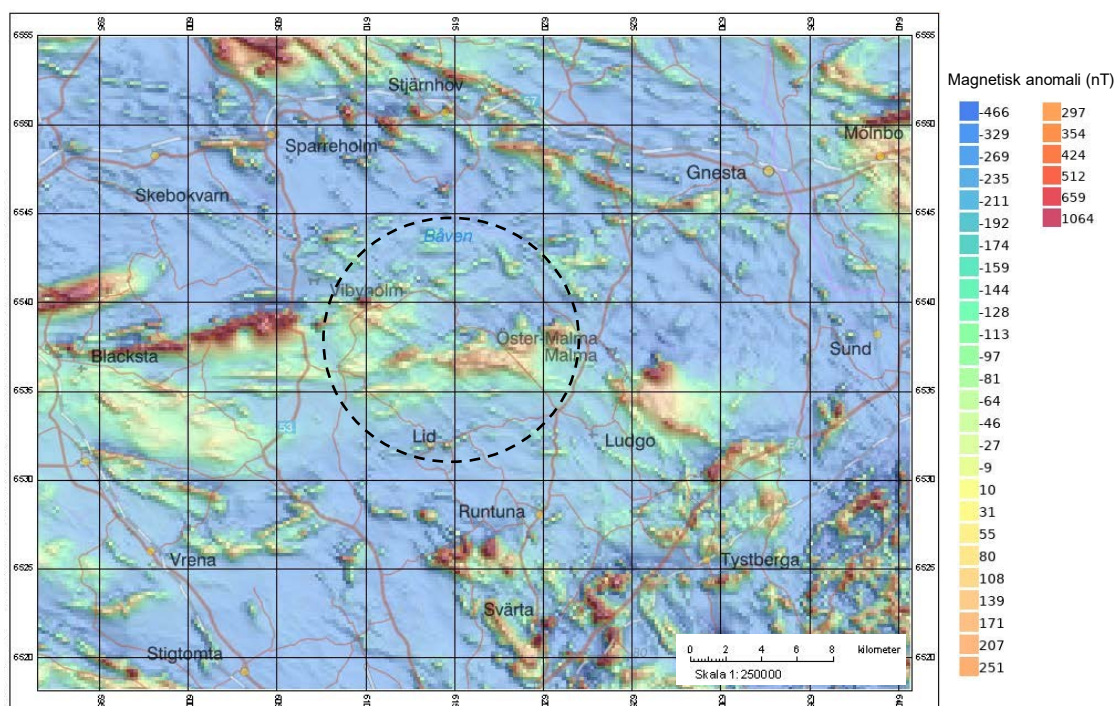


Fig. 24. Flygmagnetisk karta över Båven från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

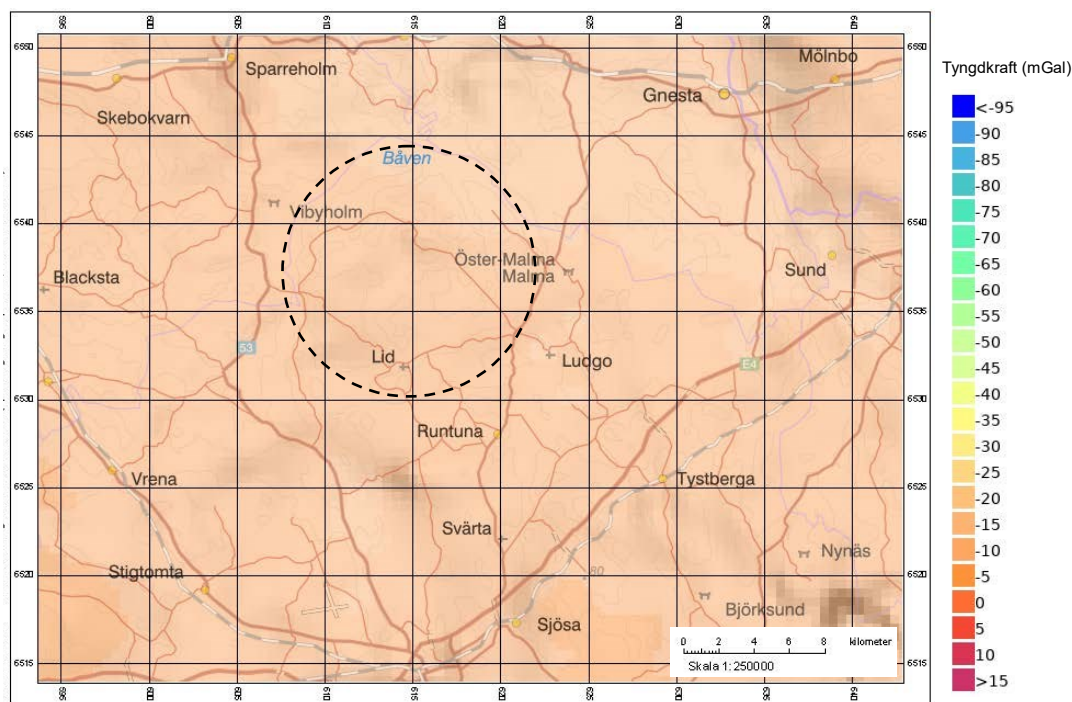


Fig. 25. Gravimetrisk karta över Båven från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

#### 4.7 Ledfat

Ledfat strukturen anges av Henkel & Pesonen (1992), Wickman (1988) och Dypvik et al (2008) som en trolig nedslagskrater. Henkel & Pesonen (1992) menar att strukturen har en diameter på 7 km och visar indikationer på både förekomst av breccia och kraterfyllnads sediment. Strukturen är belägen sydväst om Arvidsjaur. Wickman (1988) beskriver Ledfat som en skål-liknande struktur väst om Ledvattnet. Wickman (1988) menar att ett nedslagsursprung för Ledfat skulle förklara problematik kring strukturens stratigrafi. Ytterligare menar Wickman (1998) att strukturen inte är väl bevarad främst då granitformationer har intruderat och deformerat strukturen. Utöver det tolkas breccior i området som nedslagsbreccior av Wickman (1988)

Kathol och Wiehd (2005) beskriver i *Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas* förekomst av vulkaniska bergarter i området.

Ledfat utgörs av en skålformad struktur i berggrunden som tydligt går att urskilja i berggrundskartan (Fig. 26). Det går inte att tyda någon topografisk depression i området (Fig. 26). En högmagnetisk något cirkulär anomali kan tolkas kring strukturen (Fig. 27) men ingen avvikande gravimetrisk anomali kan tydas (Fig. 28).

#### 4.8 Burträsket

Burträsket anges av Henkel & Pesonen (1992) som en möjlig nedslagskrater med en diameter på 25 km. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess topografi samt att det ska förekomma en ringformad struktur. Strukturen är belägen sydväst om Skellefte och sträcker sig från Burträsket, norrut förbi Kläppen mot Kultmark. Nisca et al (1995) menar att förkastningar är ett alternativt

ursprung till Bureträsk strukturen.

Bureträsket utgör en cirkulär struktur i berggrunden men ingen topografisk depression kan tydas (Fig. 29). Det går i den flygmagnetiska kartan även att se en något cirkulär lågmagnetisk anomali, med en avvikande anomali relativt centralt i strukturen (Fig. 30). I den gravimetriska kartan kan ingen cirkulär anomali tydas, men något förhöjda värden i centrala delarna av strukturen, samt en avvikande anomali som sammanfaller med den magnetiska anomalin (Fig. 31).

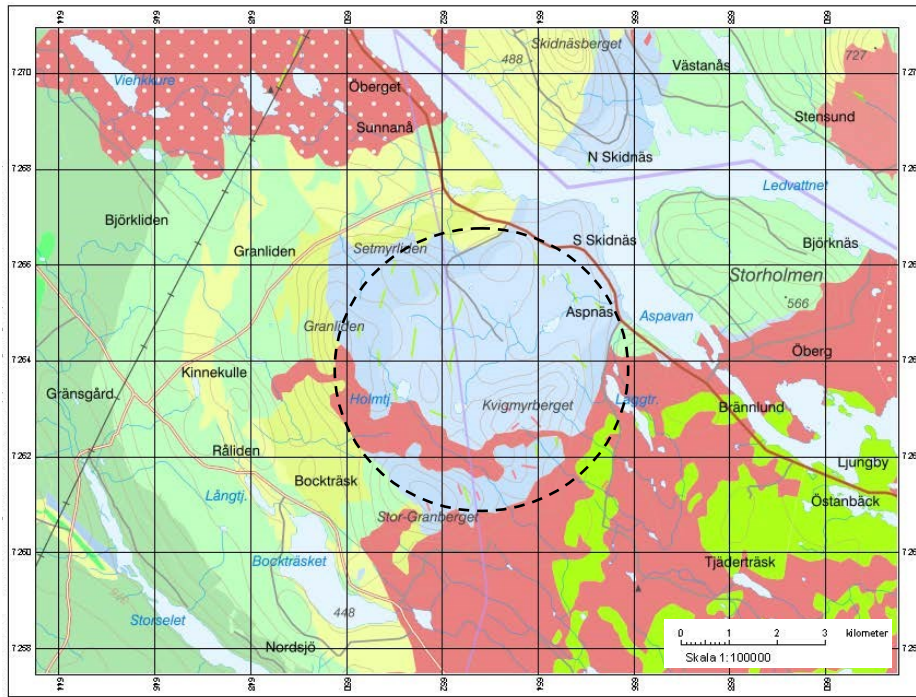


Fig. 26. Berggrundskarta över Ledfat från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). © Sveriges Geologiska Undersökning.

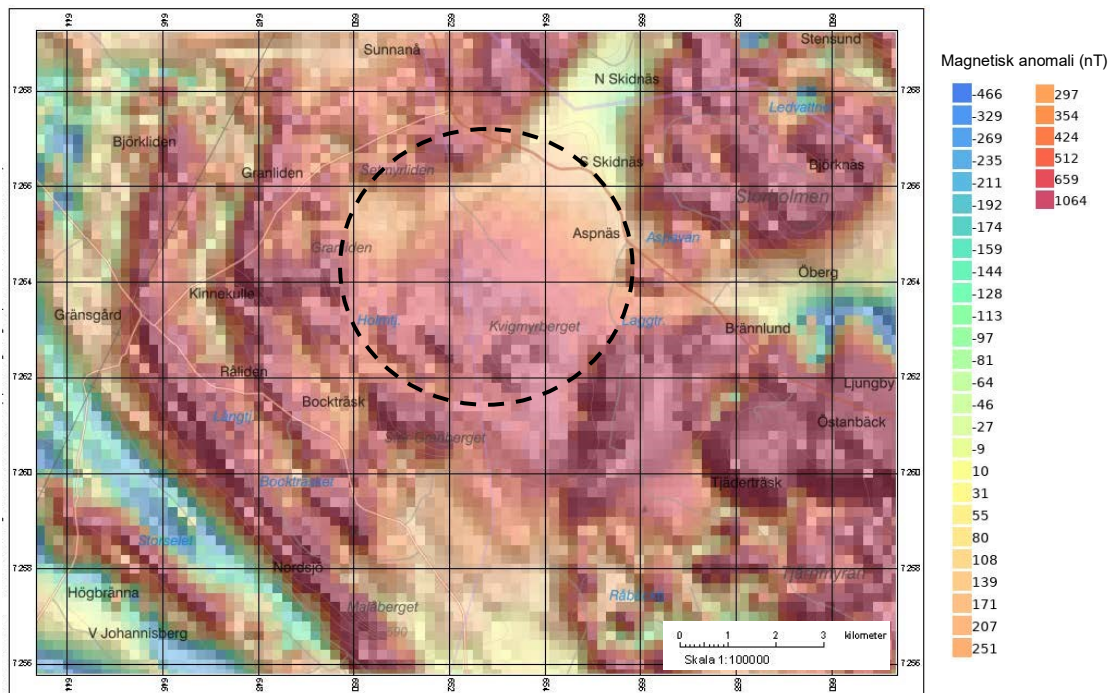


Fig. 27. Flygmagnetisk karta över Ledfat från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). © Sveriges Geologiska Undersökning.

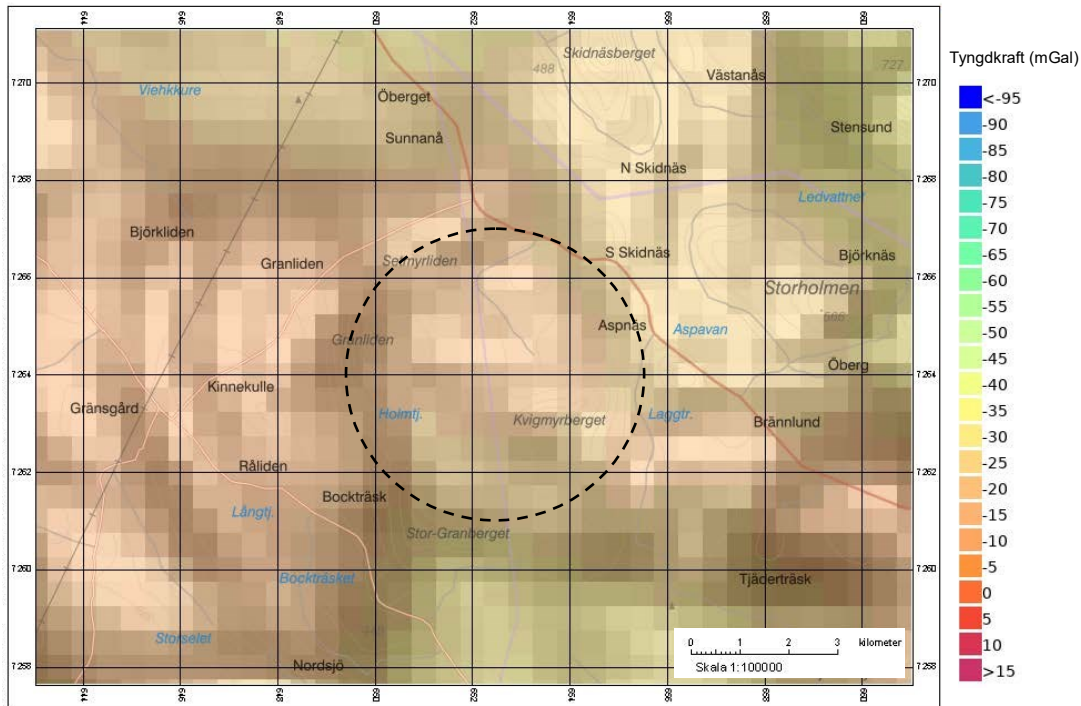


Fig. 28. Gravimetrisk karta över Ledfat från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

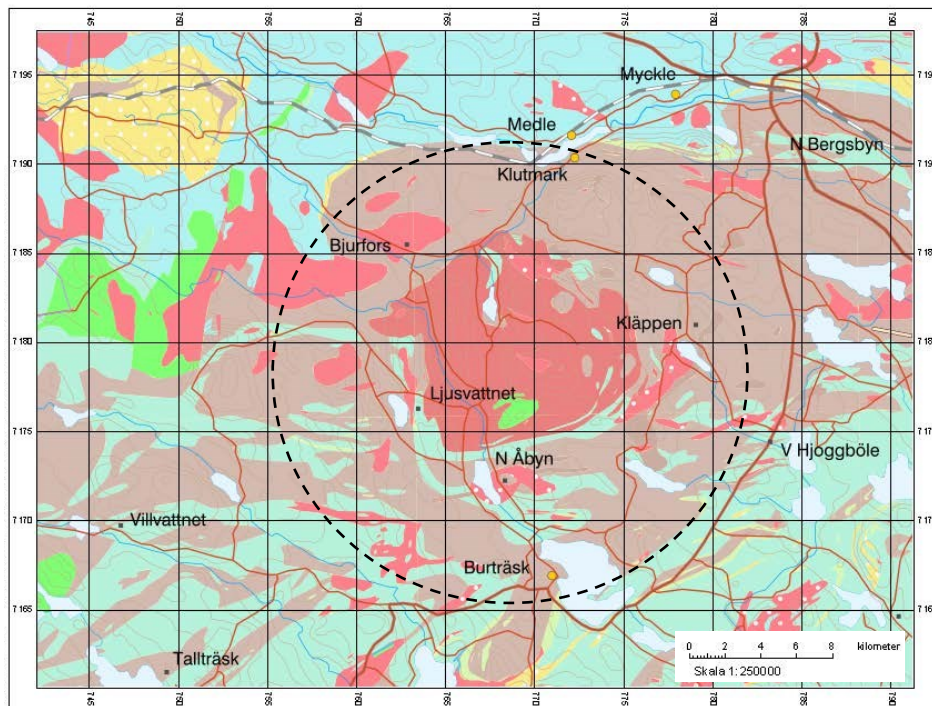


Fig. 29. Berggrundskarta över Burträsket från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

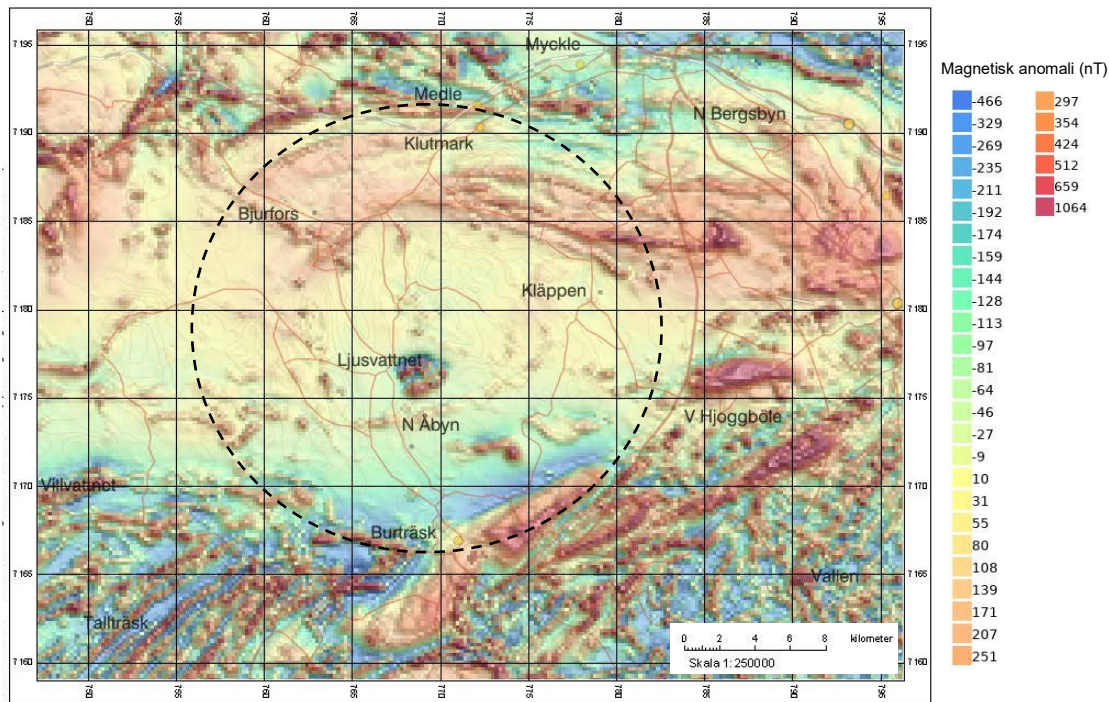


Fig. 30. Flygmagnetisk karta över Burträsket från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

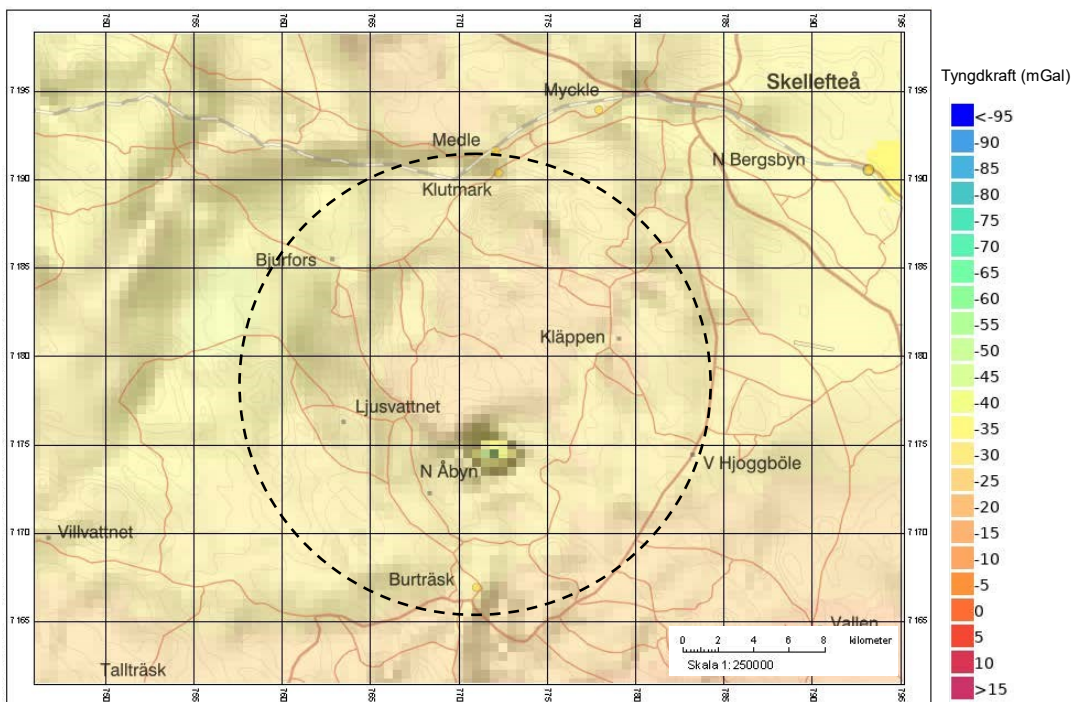


Fig. 31. Gravimetrisk karta över Burträsket från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.



## 4.9 Sautusjärvi

Sautusjärvi anges av Henkel & Pesonen (1992) som en möjlig nedslagskrater med en diameter på ca 10 km. Strukturen ligger öst om Kiruna och utgörs av en sjö intill Jukkasjärvi. Henkel & Pesonen (1992) anger att indikationen för denna möjliga nedslagskrater är dess topografi, förekomst av breccia och elektromagnetiska egenskaper.

Eriksson och Hallgren (1975) beskriver i *Beskrivning till Berggrundskartbladen Vittangi NV, NO, SV, SO* förekomsten av vulkaniter i området kring Sautusjärvi.

Sautusjärvisjön har en något rundad form och omkringliggande berggrund har rundade strukturer (Fig. 32). Sjön utgör även en topografisk depression (Fig. 32). Det går även att ana rundade former av växlande stråk låg- och högmagnetiska anomalier (Fig. 33). Men inga avvikande gravimetriska anomalier kan tydas (Fig. 34).

## 4.10 Dobblon

Dobblon är belägen norr om sjön Storjunkan, sydväst om Forsnäs. Henkel & Pesonen (1992) menar att det förekommer breccia kring Dobblon men att ingen krater har lokaliserats. Liljequist & Reimold (1999) föreslår Dobblon som en möjlig nedslagsstruktur då de tolkar ett rhyolitiskt lager som nedslagssmälta samt att de föreslår sedimentär berggrund i området som kraterfyllnads sediment. Lilljequist & Preeden (2005) anser att hypotesen om att Dobblon strukturen är en ned-

slagsstruktur är den mest troliga tolkning av Dobblon. Detta motiveras av den enligt Lilljequist & Preeden (2005) möjliga förekomsten av plana deformationsstrukturer i kvarts, att stratigrafin påminner om den för bevisade nedslagskratrar och att det förekommer breccia. De beskriver att chockmetamorfa strukturer har observerats i tre tunnslip från olika borrhokaler i området och bland dessa har det observerats möjliga PDFs i kvarts. Lilljequist & Preeden (2005) menar även att det troligen förekommer enheter av nedslagssmälta i området

Kathol och Wiehd (2005) beskriver i *Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas* förekomsten av vulkaniska bergarter i området samt vulkaniska breccior. Dessa breccior beskrivs ha matrix av vulkaniskt ursprung.

Sjöarna kring Dobblon utgör en något cirkulär struktur och även en topografisk depression (Fig. 35). Det kan även anses en något lågmagnetisk något cirkulär anomali över området, men den är otydlig (Fig. 36). Inga avvikande gravimetriska anomalier kan tydas över Dobblon (Fig. 37).

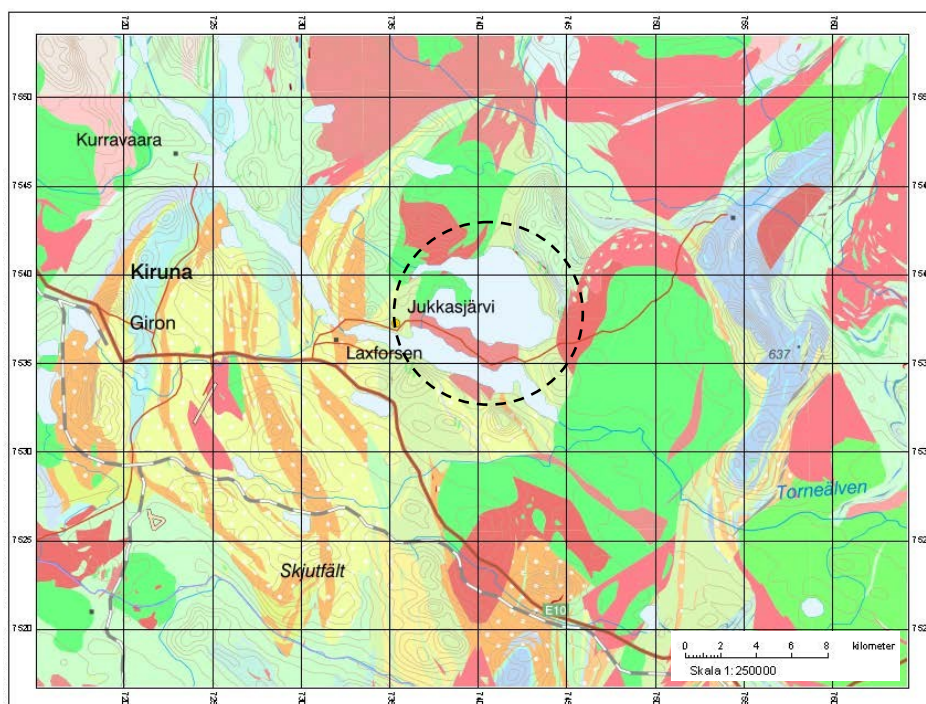


Fig. 32. Berggrundskarta över Sautusjärvi från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). © Sveriges Geologiska Undersökning.

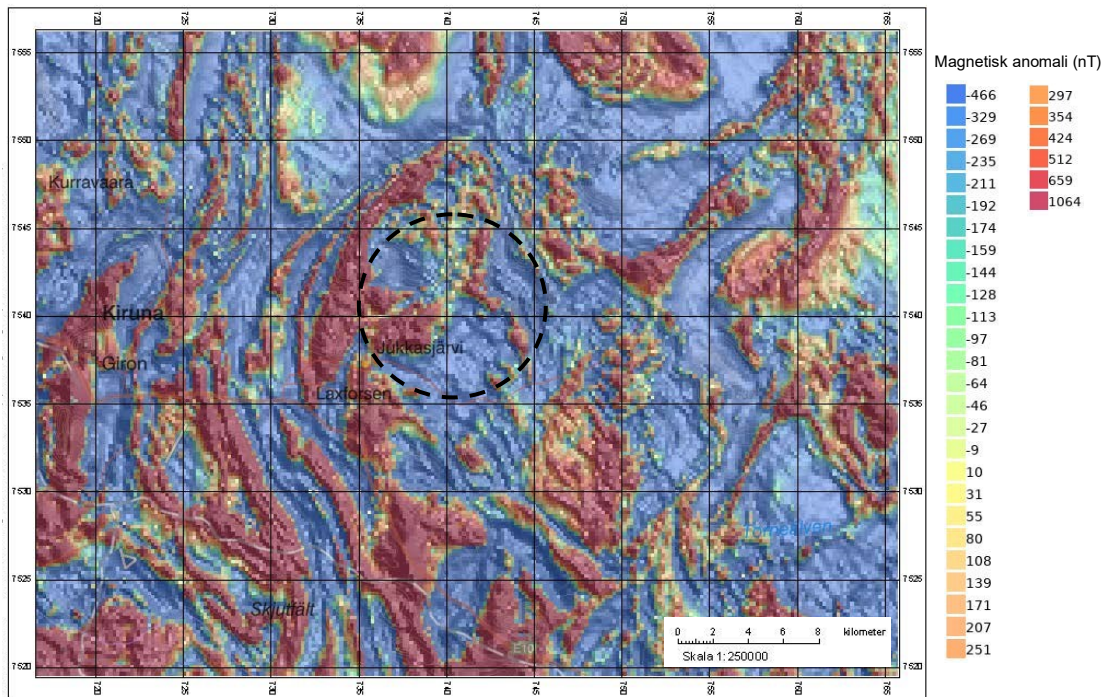


Fig. 33. Flygmagnetisk karta över Sautusjärvi från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

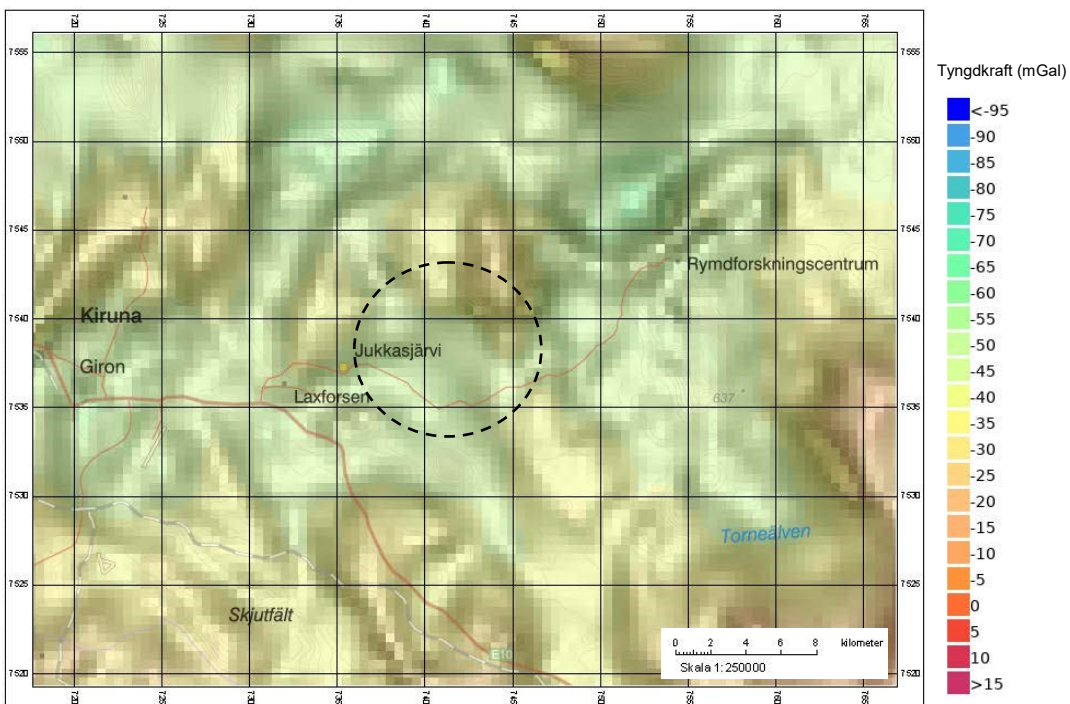


Fig. 34. Gravimetrisk karta över Sautusjärvi från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

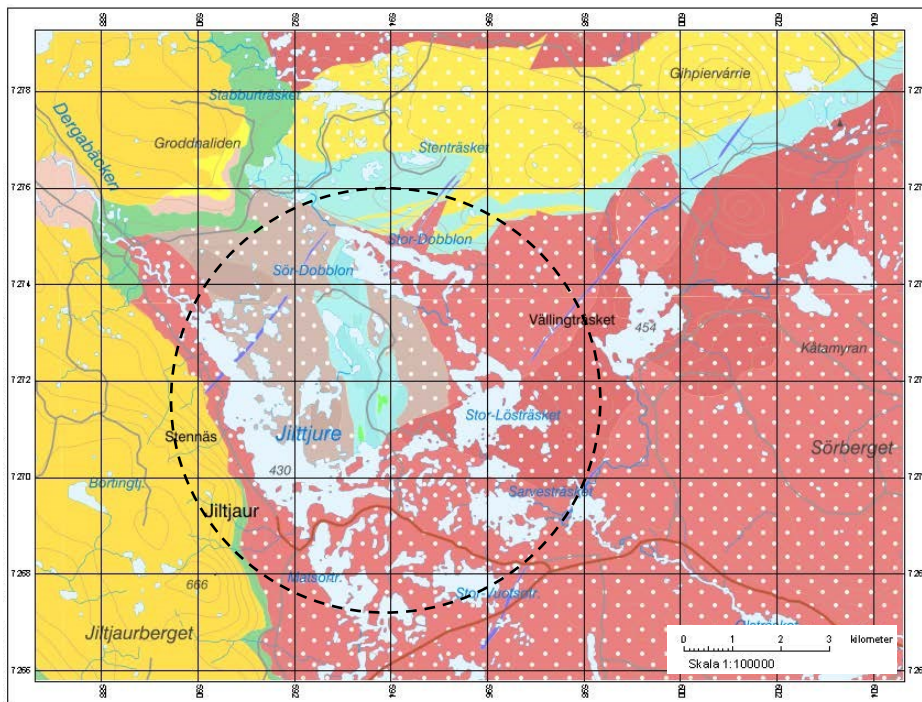


Fig. 35. Berggrundskarta över Dobblon från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

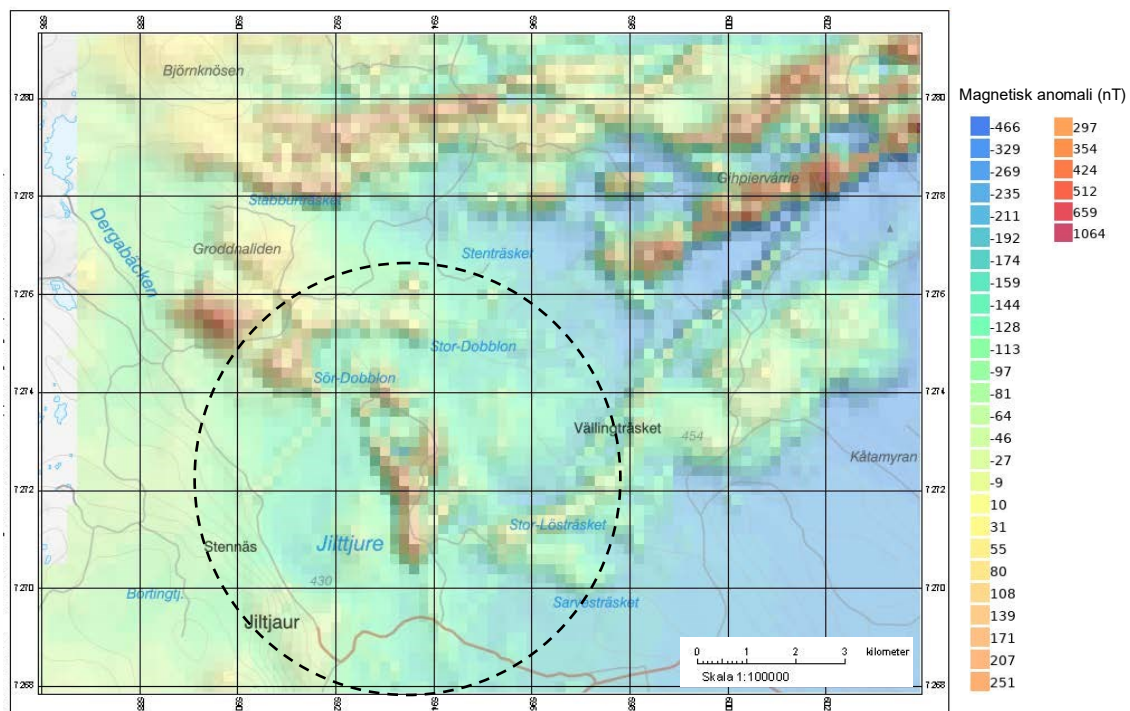


Fig. 36. Flygmagnetisk karta över Dobblon från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

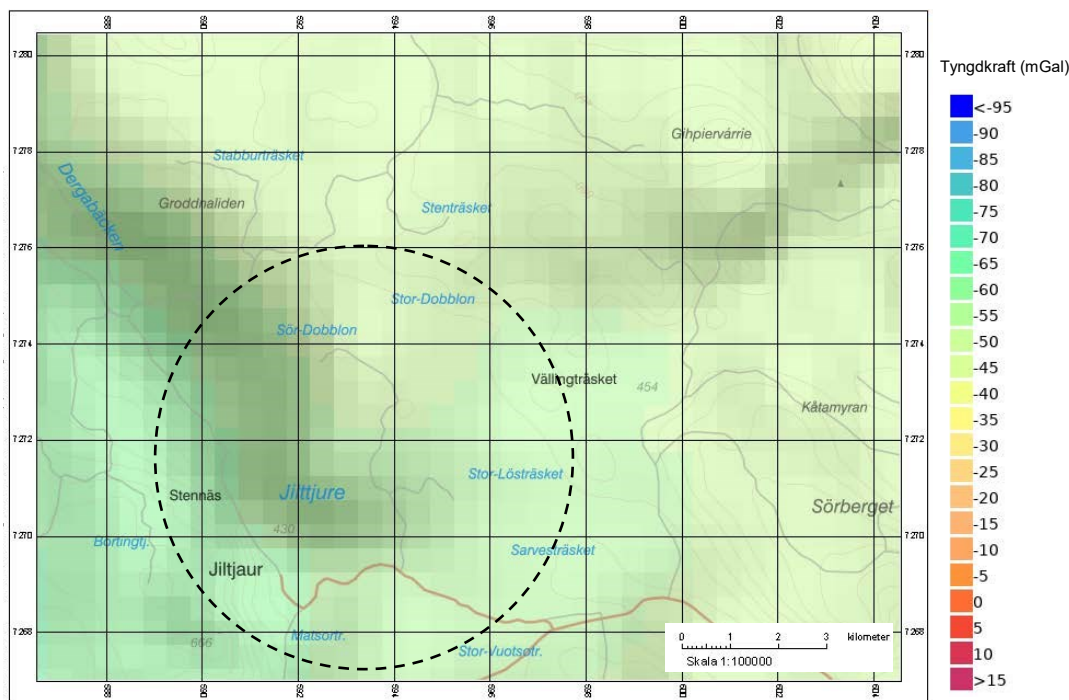


Fig. 37. Gravimetrisk karta över Dobblon från SGUs kartvisare. Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

#### 4.11 Lycksele

Lycksele strukturen beskrivs av Holmqvist et al (2020) som en struktur med en diameter på 100 km. Lycksele är belägen nordväst från Umeå. Holmqvist et al (1982) beskriver en stor cirkulär struktur över Lycksele på satellitbilder. Nisca et al (1996) beskriver också denna cirkulära struktur i berggrunden över Lycksele. Thunehed et al (1999) menar att Lycksele strukturen framträder i form av en cirkulär förkastningszon och en cirkulär granitisk intrusion. Vidare menar Thunehed et al (1999) att strukturen påvisar låggravimetriska anomalier i ytterkanterna av strukturen och en höggravimetrisk anomaly i centrala delen. Holmqvist et al (2020) presenterar resultat från fältstudier och laboratorieanalyser där varken slagkägglor eller chockmetamorfa strukturer hittades. Holmqvist et al (2020) menar att ett annat ursprung för strukturen så som en diapirisk, kan vara ett alternativ, med tanke på att inga unika spår efter nedfall hittades. Holmqvist et al (2020) menar vidare dock att inte heller något annat ursprung kan bekräftas av deras resultat och att därför att de varken kan neka eller bekräfta möjligheten att Lycksele är en nedslagskrater. Ytterligare diskuterar Holmqvist et al (2020) orsaken till varför unika spår inte hittas ifall Lycksele skulle vara en nedslagskrater. De menar att strukturen skulle kunna vara så pass eroderad att chockmetamorfa strukturer inte längre finns kvar. Vidare menar Holmqvist et al (2020) att den höggravimetriska centrala anomalin i strukturen skulle kunna vara en central förhöjning som förekommer i komplexa kratrar, i det fallet att Lycksele är en nedslagskrater.

Kathol och Wiehd (2005) beskriver i *Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas* förekomsten av vulkaniska bergarter som väldigt metamorfoserade.

Kuddlava beskrivs även i området syd-sydöst om Lycksele och breccia beskrivs också förekomma kring strukturen.

Inga tydliga strukturer syns i vare sig berggrundskartan eller de geofysiska kartorna. I berggrundskartan över Lycksele kan en otydlig cirkulär struktur tydas i berggrunden (Fig. 38). I den flygmagnetiska kartan anas ett något lågmagnetiskt område kring strukturen (Fig. 39) och på den gravimetriska kartan kan något förhöjda värden centralt i strukturen anas (Fig. 40).

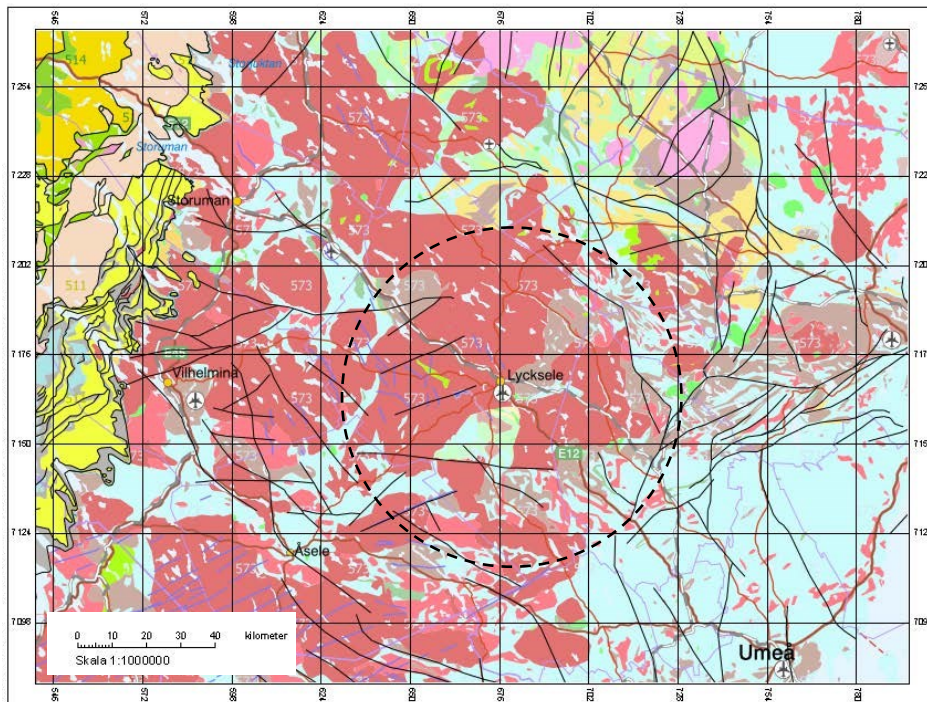


Fig. 38. Berggrundskarta över Lycksele från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

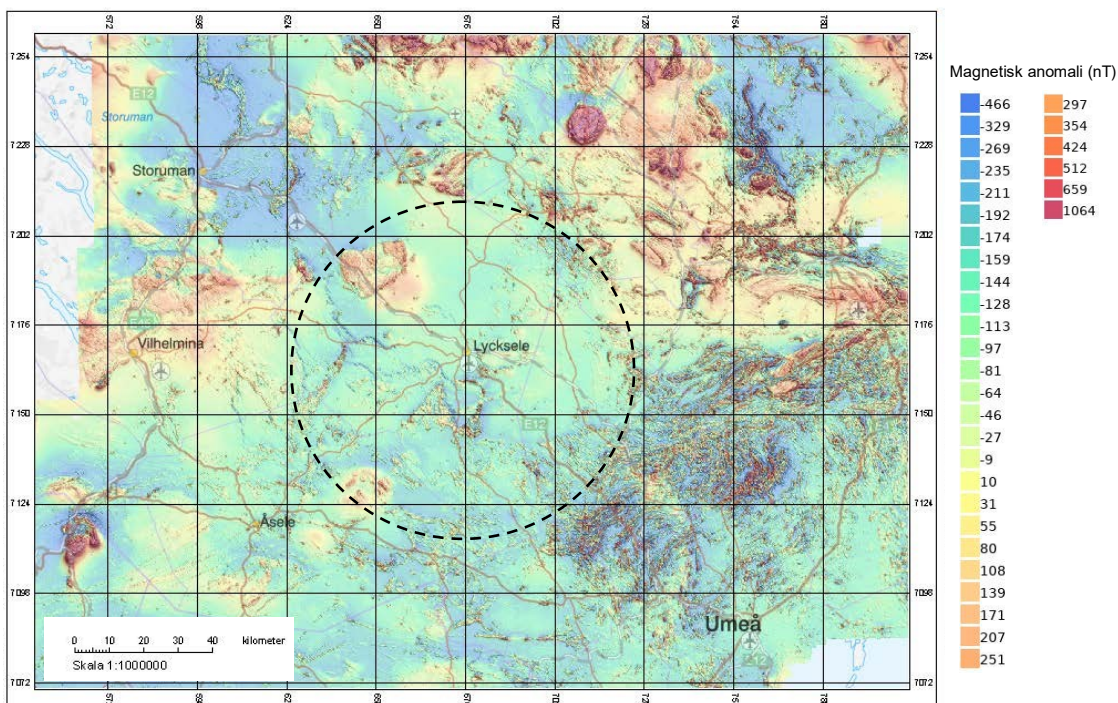


Fig. 39. Flygmagnetisk karta över Lycksele från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

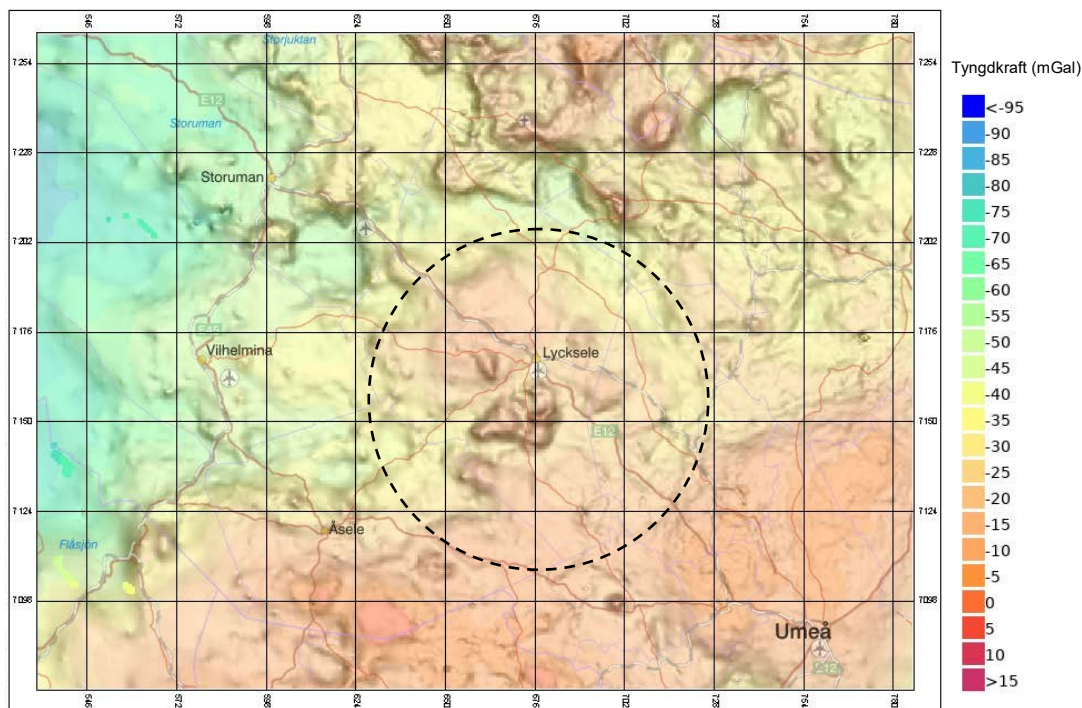


Fig. 30. Gravimetrisk karta över Lycksele från SGUs kartvisare . Modifierad i Adobe Illustrator. Cirkeln hänvisar till där strukturen uppskattas vara belägen enligt anvisningar från Henkel & Pesonen (1992). @ Sveriges Geologisk Undersökning.

Kartstudier				
Struktur	Utmärkande cirkulär struktur	Utmärkande topografisk depression	Cirkulär magnetisk anomali	Cirkulär gravimetrisk anomali
Björkö	Nej	Ja	Nej	Nej
Vara	Nej	Nej	Nej	Nej
Unden	Ja	Ja	Otydlig	Nej
Kattfjorden	Otydlig	Ja	Otydlig	Nej
Järna	Nej	Nej	Otydlig	Nej
Båven	Ja	Ja	Nej	Nej
Ledfat	Ja	Nej	Ja	Nej
Burträsket	Ja	Nej	Ja	Nej
Sautusjärvi	Otydlig	Ja	Otydlig	Nej
Dobblon	Otydlig	Ja	Otydlig	Nej
Lycksele	Otydlig	Nej	Otydlig	Ja

Tabell 1. Det sammanställda resultatet från studierna av berggrundskartor och geofysiskakartor från SGUs kartvisare för alla strukturer.

## 5 Diskussion

Syftet för detta kandidatarbete är att bedöma vilka av de utvalda strukturerna som är mest troliga att vara verkliga nedslagskratrar. De bästa förutsättningarna för en sådan bedömning vore om det fanns lika mycket litteratur om varje struktur. Men för de utvalda strukturerna i detta kandidatarbete är så inte fallet. Därför baseras bedömningen av varje struktur på olika omfattning av tidigare studier. Detta bidrar till att bedömningen av de strukturer som studerats mest är mer rättfärdiga än bedömningen av de strukturer som knappt beskrivits alls i litteratur. De studier som tidigare gjorts på strukturerna är även av olika slag, samt att studierna har gjorts av olika personer och vid olika årtionden. Detta föreslås även ha påverkat resultatet. För att göra en mer pålitlig bedömning krävs fler ingående studier av varje struktur, att samma undersökningar görs på alla strukturer och möjligen att det inte skiljer allt för många årtionden mellan undersökningarna.

Efter de litteratur- och kartstudier som gjorts under detta kandidatarbete ifrågasätts även vad som egentligen kan anses vara en potentiell nedslagskrater och vad som endast borde anses som en avvikande struktur. Anses alla något cirkulära strukturer i berggrunden eller cirkulära topografiska depressioner vara potentiella nedslagskratrar? Några av de strukturer som studerats i detta kandidatarbete, exempelvis Vara, Järna och Båven, påvisar just endast cirkulära strukturer i berggrunden och/eller en topografisk cirkulär depression. Ändå anges de i litteratur som potentiella nedslagskratrar. Vad som krävs för att en struktur ska kunna anses som en potentiell nedslagskrater verkar således något oklart. För eventuella framtida studier av strukturerna föreslås vidare att de inte bara studeras som potentiella nedslagskratrar utan även som "avvikande strukturer i berggrunden med okänt ursprung". Detta kanske öppnar upp för fler perspektiv som bidrar till att undersökningar görs efter alternativa ursprung för strukturerna.

Det finns även lite att diskutera angående de kartstudier som har gjorts. I de flesta fall har berggrundsstrukturerna som beskrivits i litteraturen även tolkats ur de studerade berggrundskartorna. Men vad gäller de geofysiska kartorna så har dessa i vissa fall påvisat anomalier som inte är beskrivna i tidigare litteratur. Ledfat påvisar en högmagnetisk anomali, Bureträsket påvisar en lågmangetiska anomali med en liten central högmagnetisk anomali och Järna påvisar även en högmagnetisk anomali. Men ingen av dessa anomalier hittas beskrivna i litteratur. En orsak till detta kan vara att studier av strukturernas geofysiska egenskaper inte tidigare har gjorts. Dock är de geofysiska anomalierna ofta otydliga och utan fler studier går det inte att avgöra om de orsakas av en nedslagskrater eller andra litologiska eller morfologiska egenskaper i berggrunden. Därav anses dessa geofysiska anomalier som osäkra motiv för bedömningen av strukturernas ursprung. Mer ingående studier av bergarter och jordarter kring strukturerna kanske ger bättre indikationer på vad de geofysiska anomalierna orsakas av.

### 5.1 Björkö

På berggrundskartan över Björkö kan höjden Ingerberga tydas, vilket av Flodén, Söderberg & Wickman

(1993) föreslås vara den centrala topografiska upphöjningen i den potentiella nedslagsstrukturen. Det spår av nedslag i Björkö som omnämns mest i litteratur är förekomsten av breccia som Henkel & Pesonen (1992) och Flodén, Söderberg & Wickman (1993) tolkar som nedslagsbreccia. Av den litteratur som hittats om Björkö finns det inte beskrivningar av några unika spår av nedslag. Dock menar Flodén, Söderberg & Wickman (1993) att de funnit plana strukturer i ett tunnslip från ön Midsommar sydväst om Björkö. Däremot har inga andra tidigare studier hittat liknande plana strukturer från området. Flodén, Söderberg & Wickman (1993) menar även att de endast hittat ett tunnslip med dessa strukturer. Därav är frågan om det verkligen är plana strukturer som hittats. Men utan egna studier av tunnslipen kan inget annat göras än att ifrågasätta Flodén, Söderberg & Wickman (1993) upptäckt. Men med resultatet från detta kandidatarbete görs bedömningen att Björkö vidare kan anses som möjlig nedslagskrater. Björkö bedöms även relativt många av de andra strukturer som mer trolig att vara en verklig nedslagskrater. Dock behövs ytterligare undersökningar av strukturen och letandet efter fler plana strukturer för en bättre bedömning.

### 5.2 Vara

Eftersom inga publicerade studier av Vara har hittats baseras bedömningen av hur troligt det är att Vara är en verklig nedslagskrater endast på det Henkel & Pesonen (1992) skriver och kandidatarbetets kartstudier. Kartstudierna ger dock inga indikationer alls på att Vara skulle kunna vara en nedslagskrater. Således bidrar de alltså inte till att stötta Henkel & Pesonens (1992) förslag om att Vara är en möjlig nedslagsstruktur. Därav ifrågasätts om dessa resultat ens räcker som underlag för att föreslå att Varas är en potentiell nedslagskrater. Fler studier måste således göras på Vara för att en rättfärdig bedömning ska kunna göras av hur troligt det är att strukturen är en verklig nedslagskrater. Men med det resultat som presenteras i denna uppsats bedöms det vara osannolikt att Vara är en verklig nedslagskrater.

### 5.3 Unden

Resultaten från litteratur och kartstudierna påvisar inga tydliga spår av nedslag i Undensjön. Utöver sjöns cirkulära form och topografiska depression som beskrivs av Henkel & Pesonen (1992), beskriver Westergård och Johansson (1915) i *Kartbladsbeskrivning Töreboda* förekomst av breccia i områdets förkastningszoner. Dock har breccian enligt kartbladsbeskrivningen inte tolkats som nedslagsbreccia och kan därför inte bidra till stöd för Henkel & Pesonens (1992) förslag att Unden är en möjlig nedslagskrater. Därav ifrågasätts åter igen om de knappa beskrivningar av Unden verkligen räcker som underlag för att ens föreslå att det är en potentiell nedslagskrater. Fler studier behöver således göras på Unden för en rättfärdig bedömning av hur troligt det är att strukturen är en verklig nedslagskrater. Framtida studier behöver fokusera på breccian kring strukturen. Detta för att undersöka om det förekommer chockmetamorfa strukturer i breccian som kan indikera att det är nedslagsbreccia (French & Koeberl 2009; French 1998). Slutligen bedöms det med resultatet som presenteras i denna uppsats att vara

ganska osannolikt att Unden är en verklig nedslagskrater.

## 5.4 Kattfjorden

Kattfjorden har bara angivits som möjlig nedslagskrater av Henkel & Pesonen (1992). Från kartstudierna påvisas inga anomalier som kan stötta Henkel & Pesonens (1992) förslag. Det enda möjliga spår av nedslag som kan föreslås är de breccior som Magnusson och Sandegren (1933) beskriver i *Beskrivning till kartbladet Karlstad* förekommer kring Kattfjorden. Dock är dessa breccior enligt Magnusson och Sandegren (1933) orsakade av tektonisk aktivitet och därav inga impaktiter. Framtida studier på breccian och sökandet efter chockmetamorfa strukturer behövs för att kunna avgöra om det är nedslagsbreccia eller inte (French & Koeberl 2009; French 1998). Det behövs således göras fler studier på Kattfjorden innan en rättfärdig bedömning kan göras av hur troligt det är att strukturen är en verklig nedslagskrater. Återigen ifrågasätts också om de knappa beskrivningar av Kattfjorden verkligen räcker som underlag för att föreslå att det är en potentiell nedslagskrater. Men med resultaten från detta kandidatarbete bedöms Kattfjorden inte vara troligt att vara en verklig nedslagskrater.

## 5.5 Järna

Inga publicerade studier av Järna har hittats. Därför baseras bedömningen av hur troligt det är att strukturen är en verklig nedslagskrater endast på det som Henkel & Pesonen (1992) skriver och de egna kartstudierna. Kartstudierna påvisar högmagnetiska anomalier kring Järna. Dock går det inte utan vidare studier att avgöra orsaken till dessa anomalier. Detta då det inte finns några enstaka specifika magnetiska anomalier som indikerar en nedslagskrater (French 1998). Följaktligen ifrågasätts om dessa resultat ens räcker som underlag för att föreslå att Varas är en potentiell nedslagskrater. För få studier på Järna har således gjorts för en rättfärdig bedömning. Men med det resultat som presenteras i denna uppsats bedöms det vara osannolikt att Järna är en verklig nedslagskrater.

## 5.6 Båven

Bedömningen av hur troligt det är att Båven är en verklig nedslagskrater baseras endast på det Henkel & Pesonen (1992) skriver och kandidatarbetets kartstudier. Detta eftersom inga publicerade studier av strukturen har hittats. Kartstudierna av den flygmagnetiska och den gravimetriska kartan påvisar dock inga anomalier som skulle kunna indikera att Båven är en nedslagskrater. Detta motsätter således Henkel & Pesonens (1992) förslag om att Båven är en möjlig nedslagsstruktur. Därför ifrågasätts om resultatens räcker för att föreslå Båven som en potentiell nedslagskrater. Det behövs således fler studier på strukturen för en mer rättfärdig bedömning. Men med de resultat som presenteras i detta kandidatarbete bedöms det vara osannolikt att Båven är en verklig nedslagskrater.

## 5.7 Ledfat

Ledfat anges som trolig nedslagskrater av både Henkel & Pesonen (1992), Wickman (1988) och Dypvik et al

(2008). Ledfat är även den struktur som tydligast går att urskilja i berggrundskartan. På den flygmagnetiska kartan förekommer även högmagnetiska anomalier som sammanfaller med strukturen i berggrunden. Dock går det inte utan fler studier att avgöra orsaken till dessa anomalier. Detta för att det inte finns några specifika magnetiska anomalier som indikerar just en nedslagskrater (French 1998). Kathol och Wiehd (2005) beskriver i *Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas* förekomsten av vulkaniska bergarter. Eftersom det kan förekomma likheter mellan vulkaniska bergarter och nedslagsbergarter (French 1998; French & Koeberl 2009) kanske de påträffade vulkaniska bergarterna egentligen är nedslagsbergarter. Men utan fler studier på bergarterna kan endast denna möjlighet föreslås. Ytterligare beskriver Wickman (1998) möjlig nedslagsbreccia kring Ledfat och Henkel & Pesonen (1992) beskriver möjliga kraterfyllnadssediment. Om det verkligen är nedslagsbreccia och kraterfyllnadssediment i Ledfatstrukturen är dessa bra indikationer för en nedslagskrater. Men för att avgöra om det är nedslagsbreccia behöver chockmetamorfa strukturer förekomma i bergarten (French & Koeberl 2009; French 1998). Med detta bedöms det vara troligare att Ledfat är en nedslagskrater än tidigare nämnda strukturer. Men detta baseras självklart mycket på att fler studier har gjorts av Ledfat vilket gett bättre underlag för en bedömning.

## 5.8 Burträsket

Burträsket påvisar en mycket tydlig cirkulär struktur i berggrunden. Dock hittas inte litteratur som beskriver några andra möjliga spår av nedslag i strukturen. I den magnetiska kartan kan en något cirkulär anomali tydas. Anomalin verkar relativt väl sammanfalla med den cirkulära strukturen i berggrunden. Men eftersom det inte finns några enstaka specifika magnetiska anomalier som indikerar en nedslagskrater (French 1998) går det inte utan fler studier att avgöra orsaken till anomalin. Det förekommer både i den magnetiska kartan och den gravimetriska kartan en anomali centralt i strukturen som verkar sammanfalla med en avvikande bergart som även finns centralt på berggrundskartan. Men vidare tolkning av denna anomali kan inte göras utan fler studier av strukturen. Fler studier behöver således göras överlag för en mer rättfärdig bedömning av hur troligt det är att Burträsket är en verklig nedslagskrater. Men med det resultat som presenteras i denna uppsats bedöms det inte vara vidare troligt att Burträsket är en verklig nedslagskrater.

## 5.9 Sautusjärvi

Sautusjärvisjön är något rundad och berggrunden kring har även rundade former. Men strukturen är inte vidare utmärkande. Henkel & Pesonen (1992) menar att det förekommer breccia i området men detta beskrivs inte av Eriksson och Hallgren (1975) i *Beskrivning till Berggrundskartbladen Vittangi NV, NO, SV, SO*. Däremot beskrivs vulkaniter av Eriksson och Hallgren (1975). Det kan förekomma likheter mellan vulkaniska bergarter och nedslagsbergarter, vilket ibland gör att bergarterna är svåra att särskilja. Men för att urskilja om det är nedslagsbergarter måste material påverkat av chockmetamorfos påträffas i bergarten (French 1998;



French & Koeberl 2009). Utan ytterligare studier av berggrunden kan endast möjligheten föreslås att de vulkaniska bergarterna egentligen är nedslagsbergarter. För en mer rättfärdig bedömning av strukturens möjlighet att vara en nedslagskrater behövs vidare studier. Men med det resultat som presenteras i denna uppsats bedöms det inte vara vidare troligt att Sautusjärvi är en verklig nedslagskrater.

## 5.10 Dobblon

Dobblon föreslås av flera författare vara en möjlig nedslagskrater (Henkel & Pesonen 1992; Liljequist & Reimold 1999; Liljequist & Preeden 2005). I dessa artiklar beskrivs möjlig förekomst av flera spår som kan indikera på en nedslagskrater. Dels beskrivs förekomst av nedslagsbreccior av Henkel & Pesonen (1992) och nedslagsmältor tolkas förekomma av både Liljequist & Reimold (1999) och Liljequist & Preeden (2005). Kathol och Wiehd (2005) beskriver i *Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas* förekomsten av vulkaniska bergarter i området samt vulkaniska breccior. Kanske kan dessa bergarter vara samma som både Henkel & Pesonen (1992), Liljequist & Reimold (1999) och Liljequist & Preeden (2005) beskriver som nedslagsbergarter. Det kan nämligen vara svårt att särskilja vulkaniska bergarter och nedslagsbergarter. Men för att avgöra om det är nedslagsbergarter måste chockmetamorfa strukturer hittas i bergarterna (French 1998; French & Koeberl 2009). Liljequist & Preeden (2005) menar att de observerat chockmetamorfa strukturer i mineralkorn från Dobblon och att det möjligen bland dessa förekommer PDFs i kvarts. Om det verkligen är så att det är PDFs så är Dobblon en nedslagskrater. Följaktligen krävs vidare studier av dessa tunnslipp och sökande efter fler chockmetamorfa strukturer i Dobblon. Resultaten av kartstudierna kan varken stödjer eller motsätter sig möjligheten att Dobblon är en möjlig nedslagskrater. Men utifrån den litteratur som har hittats bedöms Dobblon relativt många av de andra strukturerna vara troligt att vara en nedslagskrater. Inga studier har heller hittats som sätter sig emot denna hypotes. Dock är Dobblon, jämfört med många av de andra strukturerna, väl studerad vilket gör det lättare att göra en bedömning av strukturens ursprung.

## 5.11 Lycksele

I litteratur finns det flera beskrivningar av Lyckseles cirkulära struktur (Holmquist et al 1982, Nisca et al 1996, Thunehed et al 1996). I de gjorda kartstudierna har dock inte någon tydlig cirkulär struktur i berggrunden kunnat tydas. Dock beskrivs strukturen förekomma i förkastningsystem (Thunehed et al 1996) som möjligen är lättare att se i fält och på andra typer av kartor än de som studerats i detta arbete. Av de undersökningar som Holmquist et al (2020) har gjort på Lycksele har inga chockmetamorfa strukturer hittats. Men trots detta föreslår Holmquist et al (2020) möjligheten att Lycksele ändå skulle kunna vara en nedslagskrater. De menar att erosion kan ha resulterat i att chockmetamorfa strukturer inte längre finns kvar. Ytterligare går det i den gravimetriska kartan över Lycksele att urskilja en central högggravimetrisk anomali. Denna anomali föreslås av Homqvist et al (2020) skildra en central upphöjning som kännetecknar kom-

plexa nedslagskratrar. Vad gäller andra kännetecken av nedslag så föreslås möjligheten att de vulkaniska bergarter som beskrivs av Kathol och Wiehd (2005) i *Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas* kunna vara egentliga nedslagsbergarter. Detta föreslås då det finns likheter mellan vulkaniska bergarter och nedslagsbergarter vilket kan göra dem svåra att skilja på (French 1998; French & Koeberl 2009). För att bedöma om hur troligt det är att Lycksele är en nedslagskrater behövs dock vidare studier av strukturen. Framtida studier på de vulkaniska bergarterna bör fokusera på att leta efter chockmetamorfa strukturer som kan avgöra om det är nedslagsbergarter eller inte (French & Koeberl 2009; French 1998). Men med det resultat som presenteras i denna uppsats bedöms Lycksele inte vara mycket mer troligt att vara en nedslagskrater än de andra strukturerna.

## 6 Slutsatser

De strukturer som bedöms vara mest troliga att vara nedslagskratrar samt lämpar sig bäst för vidare studier är Dobblon, Ledefat och Björkö. Dobblon bedöms vara mest troligt eftersom Liljequist & Preeden (2005) menar att de observerat chockmetamorfa strukturer i tunnslipp och att de föreslår att PDFs möjligen förekommer bland dessa. Ytterligare görs denna bedömning då Dobblon, Ledefat och Björkö föreslås påvisa fler spår av nedslag än vad resterande strukturer gör. Till exempel så föreslås för alla tre strukturerna att både nedslagsbreccia och kraterfyllnadssediment förekommer. Dock har dessa strukturer studerats mer än många av de andra elva strukturerna, vilket följaktligen kan ha påverkat denna slutsats. Således kan vidare studier på strukturer ge en mer rättfärdig tolkning och möjligt motsätta sig denna slutsats.

## 7 Tack

Jag skulle vilja tacka mina handledare Sanna Alwmark och Carl Alwmark för all hjälp med både litteratur, teori och vägledning genom detta kandidatarbete. Jag vill även tacka Britta Smångs som varit till stor hjälp med artiklar och referenser.

## 8 Referenser

- Binzel R. P., Gehrels T., and Matthews M. S., eds. 1989: Asteroids II. University of Arizona, Tucson. 1258 pp.
- Cintala, M J & Grieve, R A F., 1998: Scaling impact-melt and crater dimensions: Implications for the lunar cratering record. *Meteoritics & Planetary Science* 33, 889-912. doi: 10.1111/j.1945-5100.1998.tb01695.x
- Dence, M R., 1971: Impact melts. *Journal of Geophysical Research* 76, 5552- 5565. doi: 10.1029/JB023p05552
- Dypvik, H., Plado, J., Heinberg, C., Håkansson, E., Pesonen, L. J., Schmitz, B. & Raiskila, S., 2008: Impact structures and events - A nordic perspective. *Episodes* 31, 107-114. doi: 10.18814/epiugs/2008/v31i1/015
- Eriksson, B., Hallgren, U., 1975: Beskrivning till berg-

- grundskartbladen Vittangi NV, NO, SV, SO. Sveriges Geologiska Undersökning Af 13-16, C. Davidsons Boktryckeri AB, Växjö. 5-127.
- Flodén, T., Söderberg, P., & Wickman, F E., 1993: Björkö, a possible Middle Proterozoic impact structure west of Stockholm. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, Stockholm. 25-38, doi: 10.1080/11035899309454826
- French B.M. & Koeberl C., 2009: The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth-Science Reviews* 98, 123-170. doi: 10.1016/j.earscirev.2009.10.009
- French, B. M., Koeberl, C., Gilmour, I., Shirey, S. B., Dons, J. A., & Naterstad J., 1997: The Gardnos impact structure, Norway: Petrology and geochemistry of target rocks and impactites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 873-904. doi: 10.1016/S0016-7037(96)00382-1
- French, B. M., 1998: Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures. LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute, Houston. 120 s.
- Gorbatshev, R & Kint, O., 1961: The Jotnian Målar sandstone of the Stockholm region, Sweden. *Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala* 40, 51-68.
- Grieve, R A F & Pilkington, M., 1996: The signature of terrestrial impacts. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics* 16, 399-420
- Henkel, H. & Pesonen, L. J., 1992: Impact craters and craterform structures in fenoscandia. *Tectonophysics* 216, 31-40. doi: 10.1016/0040-1951(92)90153-w
- Holmqvist, A., Alwmark, C., Dypvik., H. & Nilson, O. 2020: The Lycksele ring structure - still no proof of an impact origin. *GFF*. doi: 10.1080/11035897.2019.1701547
- Holmqvist, A., Ihre, P., Isaksson, H., Lundholm, I., Nisca, D. & Quezada, R. 1982: The Lycksele ring - a possible circular structure in Västerbotten county, northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 104, 381 - 381. doi: 10.1080/11035898309453452
- Kathol, B., Wiehd, P., 2005: Description of regional geological and geophysical maps of the Skellefte District and surrounding areas. *Sveriges Geologiska Undersökning Ba 57*, NRS Tryckeri, Huskvarna. 7-79.
- Lilljequist, R., & Preeden, U., 2005: The Duobblon Structure - A Small Segment of a Large Precambrian Impact Structure. In Koeberl, C & Henkel, H (eds): *Impact Tectonics*, 307-323. Springer, The Netherlands
- Lilljequist, R., Reimold, WU., 1999: The Duobblon Structure - a suspected impact formation: Meteoritics and Planetary Science 34, A74. North Atlantic Resources AB, Upplands Vasby.
- Magnusson, N H., Sandegren, R., 1933: Beskrivning till kartbladet Karlstad. *Sveriges Geologiska Undersökning Aa 174*, Stockholm Norstedts Tryckeri, Stockholm. 5-116.
- Melosh, H J & Vickery, A M 1991: Melt droplet formation in energetic impact events. *Nature* 350, 494-497. doi: 10.1038/350494a0
- Milton, D J., 1977: Shatter cones - An outstanding problem in shock mechanics. /D. J. Roddy., R. O. Pepin & R. F. Merrill (red.): *Impact and Explosion Cratering: Planetary and Terrestrial Implications*, 703-714. Pergamon, New York.
- Newburn R. L. Jr., Neugebauer M., and Rahe J., eds. 1991: *Comets in the Post-Halley Era*. Kluwer Academic, Boston. 1360 s.
- Nisca, D.H., S.-Å. Elming, S.Å & H. Thunehed., 1996: The Lycksele ring structure in northern Sweden: The result of an impact?, *GFF*, 118:S4, 100-100, doi: 10.1080/11035899609546420
- Nisca, D H., 1995: Nya litologiska-tektoniska modeller för regionen Västerbotten - södra Norrbotten. PH. D. thesis. Luleå tekniska högskola, Luleå. 228 s.
- Roddy, D.J. & Davis, L. K., 1977: Shatter cones formed in largescale experimental explosion craters. /D. J. Roddy. R. O. Pepin, and R. B. Merrill, (red.): *Impact and Explosion Cratering: Planetary and Terrestrial Implications*, 715-750. Pergamon, New York
- Thunehed, H., Elming, S.-Å. & Pesonen, L.J., 1999: Lycksele structure in northern Sweden: result of an impact? *Geological Society of America, special paper*. 339, 125-30 DOI: 10.1130/0-8137-2339-6.125
- Westergård, A H., Johansson, H E., 1915: Beskrivning till kartbladet Töreboda. *Sveriges Geologiska Undersökning Aa 139*, Stockholm Norstedts Tryckeri, Stockholm. 3-54
- Wickman, F.E., 1988: Possible impact structures in Sweden. In A. Boden and K.G. Eriksson (Editors), *Deep Drilling in Crystalline Bedrock*, 299-327. Springer, Berlin
- Wilkening L. L., ed. 1982: *Comets*. University of Arizona, Tucson. 766 pp.
- Stöffler, D. & Grieve, R. A. F., 2007: Impactites. /Fettes, D. and Desmons, J. (reds.) *Metamorphic Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences*, 82-92, 111-125, and 126-242. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stöffler, D & Langenhorst, E., 1994: Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: 1. Basic observation and theory. *Meteoritics* 29, 155-181. doi: 10.1111/j.1945-5100.1994.tb00670.

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

542. Martell, Josefin, 2018: Shock metamorphic features in zircon grains from the Mien impact structure - clues to conditions during impact. (45 hp)
543. Chitindingu, Tawonga, 2018: Petrological characterization of the Cambrian sandstone reservoirs in the Baltic Basin, Sweden. (45 hp)
544. Chonewicz, Julia, 2018: Dimensionerande vattenförbrukning och alternativa vattenkvaliteter. (15 hp)
545. Adeen, Lina, 2018: Hur lämpliga är de geofysiska metoderna resistivitet och IP för kartläggning av PFOS? (15 hp)
546. Nilsson Brunlid, Anette, 2018: Impact of southern Baltic sea-level changes on landscape development in the Verkeån River valley at Haväng, southern Sweden, during the early and mid Holocene. (45 hp)
547. Perälä, Jesper, 2018: Dynamic Recrystallization in the Sveconorwegian Frontal Wedge, Småland, southern Sweden. (45 hp)
548. Artursson, Christopher, 2018: Stratigraphy, sedimentology and geophysical assessment of the early Silurian Halla and Klinteberg formations, Altajme core, Gotland, Sweden. (45 hp)
549. Kempengren, Henrik, 2018: Att välja den mest hållbara efterbehandlingsmetoden vid sanering: Applicering av beslutsstödsverktyget SAMLA. (45 hp)
550. Andreasson, Dagnija, 2018: Assessment of using liquidity index for the approximation of undrained shear strength of clay tills in Scania. (45 hp)
551. Ahrenstedt, Viktor, 2018: The Neoproterozoic Visingsö Group of southern Sweden: Lithology, sequence stratigraphy and provenance of the Middle Formation. (45 hp)
552. Berglund, Marie, 2018: Basaltkuppen - ett spel om mineralogi och petrologi. (15 hp)
553. Hernnäs, Tove, 2018: Garnet amphibolite in the internal Eastern Segment, Sveconorwegian Province: monitors of metamorphic recrystallization at high temperature and pressure during Sveconorwegian orogeny. (45 hp)
554. Halling, Jenny, 2019: Characterization of black rust in reinforced concrete structures: analyses of field samples from southern Sweden. (45 hp)
555. Stevic, Marijana, 2019: Stratigraphy and dating of a lake sediment record from Lyngsjön, eastern Scania - human impact and aeolian sand deposition during the last millennium. (45 hp)
556. Rabanser, Monika, 2019: Processes of Lateral Moraine Formation at a Debris-covered Glacier, Suldenferner (Vedretta di Solda), Italy. (45 hp)
557. Nilsson, Hanna, 2019: Records of environmental change and sedimentation processes over the last century in a Baltic coastal inlet. (45 hp)
558. Ingered, Mimmi, 2019: Zircon U-Pb constraints on the timing of Sveconorwegian migmatite formation in the Western and Median Segments of the Idefjorden terrane, SW Sweden. (45 hp)
559. Hjorth, Ingeborg, 2019: Paleomagnetisk undersökning av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, för att bestämma dess utbrotts historia. (15 hp)
560. Westberg, Märta, 2019: Enigmatic worm-like fossils from the Silurian Waukesha Lagerstätte, Wisconsin, USA. (15 hp)
561. Björn, Julia, 2019: Undersökning av påverkan på hydraulisk konduktivitet i förorenat område efter in situ saneringsförsök. (15 hp)
562. Faraj, Haider, 2019: Tolkning av georadarprofiler över grundvattenmagasinet Verveln - Gullringen i Kalmar län. (15 hp)
563. Bjeremo, Tim, 2019: Eoliska avlagringar och vindriktningar under holocen i och kring Store Mosse, södra Sverige. (15 hp)
564. Langkjaer, Henrik, 2019: Analys av Östergötlands kommande grundvattenresurser ur ett klimtperspektiv - med fokus på förstärkt grundvattenbildning. (15 hp)
565. Johansson, Marcus, 2019: Hur öppet var landskapet i södra Sverige under Atlantisk tid? (15 hp)
566. Molin, Emmy, 2019: Litologi, sedimentologi och kolisotopstratigrafi över krita-paleogen-gränsintervallet i borrhningen Limhamn-2018. (15 hp)
567. Schroeder, Mimmi, 2019: The history of European hemp cultivation. (15 hp)
568. Damber, Maja, 2019: Granens invandring i sydvästa Sverige, belyst genom pollenanalys från Skottenesjön. (15 hp)
569. Lundgren Sassner, Lykke, 2019: Strandmorfologi, stranderosion och stranddeposition, med en fallstudie på Tylösand sandstrand, Halland. (15 hp)
570. Greiff, Johannes, 2019: Mesozoiska konglomerat och Skånes tektoniska utveckling. (15 hp)
571. Persson, Eric, 2019: An Enigmatic Cerapodian Dentary from the Cretaceous of southern Sweden. (15 hp)
572. Aldenius, Erik, 2019: Subsurface characterization of the Lund Sandstone – 3D model of the sandstone reservoir and evaluation of the geoneergy storage potential,

- SW Skåne, South Sweden. (45 hp)
573. Juliusson, Oscar, 2019: Impacts of sub-glacial processes on underlying bedrock. (15 hp)
574. Sartell, Anna, 2019: Metamorphic paragenesis and P-T conditions in garnet amphibolite from the Median Segment of the Idefjorden Terrane, Lilla Edet. (15 hp)
575. Végvári, Fanni, 2019: Vulkanisk inverkan på klimatet och atmosfärcirkulationen: En litteraturstudie som jämför vulkanism på låg respektive hög latitud. (15 hp)
576. Gustafsson, Jon, 2019: Petrology of platinum-group element mineralization in the Koillismaa intrusion, Finland. (45 hp)
577. Wahlquist, Per, 2019: Undersökning av mindre förkastningar för vattenuttag i sedimentärt berg kring Kingelstad och Tjutebro. (15 hp)
578. Gaitan Valencia, Camilo Esteban, 2019: Unravelling the timing and distribution of Paleoproterozoic dyke swarms in the eastern Kaapvaal Craton, South Africa. (45 hp)
579. Eggert, David, 2019: Using Very-Low-Frequency Electromagnetics (VLF-EM) for geophysical exploration at the Albertine Graben, Uganda - A new CAD approach for 3D data blending. (45 hp)
580. Plan, Anders, 2020: Resolving temporal links between the Högberget granite and the Wigström tungsten skarn deposit in Bergslagen (Sweden) using trace elements and U-Pb LA-ICPMS on complex zircons. (45 hp)
581. Pilser, Hannes, 2020: A geophysical survey in the Chocaya Basin in the central Valley of Cochabamba, Bolivia, using ERT and TEM. (45 hp)
582. Leopardi, Dino, 2020: Temporal and genetic constraints of the Cu-Co Vena-Dampetorp deposit, Bergslagen, Sweden. (45 hp)
583. Lagerstam Lorien, Clarence, 2020: Neck mobility versus mode of locomotion – in what way did neck length affect swimming performance among Mesozoic plesiosaurs (Reptilia, Sauropterygia)? (45 hp)
584. Davies, James, 2020: Geochronology of gneisses adjacent to the Mylonite Zone in southwestern Sweden: evidence of a tectonic window? (45 hp)
585. Foyn, Alex, 2020: Foreland evolution of Blåisen, Norway, over the course of an ablation season. (45 hp)
586. van Wees, Roos, 2020: Combining luminescence dating and sedimentary analysis to derive the landscape dynamics of the Velická Valley in the High Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
587. Rettig, Lukas, 2020: Implications of a rapidly thinning ice-margin for annual moraine formation at Gornergletscher, Switzerland. (45 hp)
588. Bejarano Arias, Ingrid, 2020: Determination of depositional environment and luminescence dating of Pleistocene deposits in the Biely Váh valley, southern foothills of the Tatra Mountains, Slovakia. (45 hp)
589. Olla, Daniel, 2020: Petrografisk beskrivning av Prekambriska ortognejser i den undre delen av Särsvskollan, mellersta delen av Skollenheten, Kaledonska orogener. (15 hp)
590. Friberg, Nils, 2020: Är den sydatlantiska magnetiska anomalin ett återkommande fenomen? (15 hp)
591. Brakebusch, Linus, 2020: Klimat och väder i Nordatlanten-regionen under det senaste årtusendet. (15 hp)
592. Boestam, Max, 2020: Stränder med erosion och ackumulation längs kuststräckan Trelleborg - Abbekås under perioden 2007-2018. (15 hp)
593. Agudelo Motta, Laura Catalina, 2020: Methods for rockfall risk assessment and estimation of runout zones: A case study in Gothenburg, SW Sweden. (45 hp)
594. Johansson, Jonna, 2020: Potentiella nedslagskratrar i Sverige med fokus på Östersjön och östkusten. (15 hp)
595. Haag, Vendela, 2020: Studying magmatic systems through chemical analyses on clinopyroxene - a look into the history of the Teno ankaramites, Tenerife. (45 hp)
596. Kryffin, Isidora, 2020: Kan benceller bevaras över miljontals år? (15 hp)
597. Halvarsson, Ellinor, 2020: Sökande efter nedslagskratrar i Sverige, med fokus på avtryck i berggrunden. (15 hp)



# LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund