

Geomorfologisk studie av Jezerokraterns kant (Mars)

-Potentiella mekanismer bakom kraterkantens nuvarande utseende

Dari Elfström

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 691
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2024

**Geomorfologisk studie av Jezero-
kraterns kant (Mars)**
**-Potentiella mekanismer bakom kraterkantens
nuvarande utseende**

Kandidatarbete
Dari Elfström

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2024

Innehåll

1.0	Introduktion	7
1.1	Syfte och Frågeställningar	7
2	Bakgrund	7
2.1	Jezerokratern i kontext	8
2.2	Regional geologi	9
2.3.1	Jezerokraterns lakustrina historia	9
2.3.2	Vulkaniska avlagringar	9
2.3.3	Kraterkantens nuvarande utseende	9
2.4	Stratigrafi och geologi	9
2.5	Kraterbildning och kantupplyftning	10
3.0	Metod	11
4.0	Resultat	12
4.1	Första indelning	15
4.2	Andra indelning	15
4.2.1	SV	15
4.2.2	NV	15
4.2.3	NÖ	15
4.2.4	SÖ	15
4.2.5	JM	18
4.3	Tredje indelningen	18
4.3.1	SV	18
4.3.2	NV	18
4.3.3	NÖ	18
4.3.4	SÖ	18
4.3.4	JM	18
4.3.5	Kombinering	18
5.0	Diskussion	18
5.1	Jämförelse med tidigare karteringar	19
5.1.1	Kc, Lc, NÖ-Lt och NÖ-SU	19
5.1.2	NV-Sc	19
5.1.3	Kraterkantens utbredning	20
5.2	NÖ, potentiella mekanismer bakom den mindre distinkta kraterkanten	20
5.2.1	Pre-impakt faktorer	20
5.2.2	Kraterkantsupplyftning	21
5.2.3	Kraterkantserosion	21
5.3	JM, potentiella mekanismer bakom den enhetliga lutningen	23
5.4	Potentiella nedslagsstrukturer	23
6.0	Slutsats	23
7.0	Tackord	24
8.0	Referenser	24

Omslagsbild: Bild över det västra föreslagna deltat i Jezerokratern med kraterkanten i bakgrunden. Bild tagen av Perseverance (NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS).

Sammanfattning

Dari Elfström

Elfström, D., 2024: Geomorfologisk studie av Jezerokraterns kant -Potentiella mekanismer bakom kraterkantens nuvarande utseende. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 691, 10 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Högaktuellt inom forskning de senaste 30 åren har varit att studera de mineralogiska och morfologiska bevisen för att Mars en gång varit en blöt planet. Detta är delvis syftet med NASA:s senaste flaggskepps-uppdrag, Mars 2020, där den mobila forskningsstationen Perseverance ger ovärderliga in-situ data från Mars yta. Målet med uppdraget är att ge oss en bättre förståelse av den blöta period som delvis format dagens Mars, men framför allt hitta specifika indikatorer för potentiellt fossilt liv. Idag befinner sig Perseverance i Jezerokratern som en gång hållit en stående kropp med vatten. Bevarat från Jezerokraterns blöta period är två floddeltan med vardera inflöden samt ett utlopp. Jezerokratern är en 45 km bred nedslagskrater med en upplyft kraterkant och ett topografiskt lägre kratergolv. Kraterkantens topografiska karaktär varierar runt hela Jezero. Den norra delen av kraterkanten är den minst topografiskt distinkta och tidigare studier menar att denna del utstått en högre grad av fluvial erosion. I denna studie redogör jag för potentiella mekanismer, inklusive fluvial erosion, som bakom kraterkantens nuvarande utseende. Med hjälp av orbitaldata i form av satellitbilder och topografiska data gjordes en geologisk karta över kraterkanten. Kartan baserades på topografisk morfologi (topografisk variation och lutning in och ut från kratern) och textur (till exempel bergighet, knottrighet, skrovlighet). Kartan visade att den sydvästra halvan av kraterkanten bestod av mer morfologiskt varierande enheter kännetecknade av ojämna bergiga ytor, medan den nordöstra delen bestod av mer släta sammanhängande enheter med svagare morfologisk variation. Mekanismer som diskuterades för att förklara den nordöstra kraterkantens utseende var pre-impakt faktorer (målberggrundens egenskaper), fluvial erosion och kraterkantsupplyftning. Inga bevis för att den norra kraterkanten blivit mindre upplyft än resterande kraterkant kunde identifieras, dock hittades potentiella bevis för att den norra kraterkanten genomgått en liknande mängd upplyftning som den södra. Detta skulle kunna indikera att olika mängd kraterkantsupplyftning inte är en huvudsaklig anledning till kraterkantens olika topografiska karaktär. Bevis för att den nordöstra kraterkanten utsatts för mer omfattande fluvial erosion hittades där den geologiska kartan dessutom indikerade en fornlödesdal öster om det norra inflödet. Det identifierades även bevis för att den nordöstra kraterkanten varit mindre erosionsbeständig till följd av pre-impakt faktorer, vilket föreslås vara den huvudsakliga anledningen till den nordöstra kraterkantens topografiska karaktär. Den östra kraterkanten, placerad vid berget Jezero Mons, var karakteriserad av en relativt enhetlig sluttning vilket studerades vidare. Flera skredliknande morfologier kunde identifieras och jag föreslår att kraterkanten genomgått omfattande modifiering till följd av ett skred som efter tid täckts av lavaflöden.

Nyckelord: Mars, Perseverance, Astrobiologi, Nedslagskratrar, Astronomi

Handledare: Sanna Alwmark

Ämnesinriktning: Planetär geovetenskap

Dari Elfström, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: da7703els@student.lu.se

Abstract

Dari Elfström

Elfström, D., 2024: Geomorphological study of the Jezero crater rim –Potential mechanisms behind today's expressions of the crater rim. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 691, 10 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: Over the last 30 years scientists have studied the morphological and mineralogical proofs of past aqueous activity on Mars. NASA's latest flagship mission, the Mars 2020 mission with its Perseverance rover, landed in Jezero crater in 2021. Perseverance is tasked with investigating the wet history that has partially formed today's Mars, and more specifically, find specific indicators for potential past life. Jezero is a 45 km wide impact structure with an uplifted rim and a lower standing relatively flat crater floor. This site is particularly interesting for investigating the aqueous history of Mars because Jezero once hosted a lake. Today Jezero preserves two deltas with inlet valleys and one outflow channel. While these features have been of focus in many publications, less scientific attention has been devoted to the large-scale structural features of Jezero crater. Presently, the crater rim is highly fluctuating in topographic relief and the northern rim is almost not possible to identify because of its low relief. Earlier studies means that the lower topographic relief of the northern rim is because of fluvial erosion. The present study uses topographic data and high-resolution orbital images and is aimed at investigating different mechanisms, including fluvial erosion, to explain the current expression of the Jezero crater rim. With the help of orbital data, in the form of satellite pictures and topographic data, a geological map was made. The mapping was based on topographic morphology (topographic variation and slope angles in and out of the crater) and texture (such as, ruggedness, knobs, rockiness). The map showed that the southwestern parts of the crater rim was characterized by more rugged rocky units and the northeastern parts held more smooth units. Mechanisms discussed to explain this expression of the crater rim was crater rim uplift, fluvial erosion and pre-impact factors (target rock properties). Possible evidence for a similar crater rim uplift in the northeastern parts as in the southwestern parts was found. This could indicate that crater rim uplift is not a driving factor in the different topographic expressions of the Jezero crater rim. The findings further indicate evidence for pre-impact factors, which would have influenced the erosional resistance of the crater rim, and fluvial erosion as mechanisms behind the present expression of the Jezero crater rim. The eastern rim of the crater was found to have a constant slope, with landslide-like features and potential lava flows preserved on the inside of the rim. These could originate from the high-standing feature Jezero Mons, a potential volcanic edifice, although further investigations are needed to exclude other possible mechanisms for the topography.

Keywords: Mars, Perseverance, Astrobiology, Impact-craters, Astronomy

Supervisor(s): Sanna Alwmark

Subject: Planetary geoscience

Dari Elfström, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: da7703el-s@student.lu.se

1.0 Introduktion

Förekomsten av vatten och hydrologiska processer på Mars har väckt stort forskningsintresse de senaste 30 åren. Genom morfologiska och mineralogiska studier gjorda med data från Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité (OMEGA) som sitter ombord på ESA:s satellit Mars Express och Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM), High Resolution Imaging Experiment (HiRISE) som båda sitter på NASA:s satellit Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) är de bevis som upptäckts flodområden, floddeltan, vattenomvandlade och fluvialt transporterade material (Goudge et al., 2015). Den fluviala aktiviteten på Mars avtog troligen runt 3,6 Ga vilket man daterat med hjälp av buffrad kraterräkning i fluvialt påverkade dalgångsnätverk (Fassett & Head, 2008).

Trots bevis för fluvialt påverkad yta på Mars saknas det fortfarande mycket information om hur klimatet såg ut under denna blöta historia. Hypoteserna spretar, och det är oklart om den fluviala aktiviteten varit periodvis, i cykler, eller varför den sedermera avtog (Goudge et al., 2015).

År 2021 landade NASA:s senaste flaggskeppsuppdrag Mars 2020 med Perseverance, en mobil forskningsstation, i Jezerokratern på Mars (figur 2 och 3) med målet att ge viktig in situ data för att förstå den fluviala aktiviteten som ägt rum, men framför allt leta efter indikationer för potentiellt fossilt liv (Farley et al., 2020). Jezero är en nedslagskrater som en gång hållit en stående vattenkropp med tillhörande inflöden, deltan samt ett utlopp (Goudge et al., 2015). Detta gör Jezerokratern till ett högintressant område för att förstå den fluviala aktiviteten på Mars, men framför allt hitta bevis för forna biologisk aktivitet (Farley et al., 2020; Goudge et al., 2015).

Jezerokratern är en cirkulär struktur som består av en upphöjd kraterkant och ett relativt platt, topografiskt lägre, kratergolv (figur 3). Stratigrafiskt så är kraterkanten äldst (Goudge et al., 2015). Enligt Bamber et al. (2022) och Horgan et al. (2020) tros Jezerokraterns kant, i synnerhet den norra, blivit starkt modifierad av fluvial aktivitet som gjort vissa delar mindre topografiskt distinkta än övriga. Så vitt jag vet så har inget tidigare arbete övervägt potentiella pre-impaktfaktorer och kraterkantsupplyftning som anledning till kraterkantens nuvarande utseende. En pre-impaktfaktor har med nedslagskraterns målberggrund att göra, dessa faktorer styr delvis kraterbildningen. Pre-impaktfaktorer, kraterkantsupplyftning och erosion kommer att diskuteras i denna rapport som potentiella mekanismer bakom kraterkantens morfologi. Studien kommer att topografiskt samt textuellt kartera kraterkanten för att potentiellt ge ny information om vad som styr utvecklingen av kraterkantens nuvarande morfologi och möjligtvis, genom detta, ge bättre förståelse av Jezerokraterns blöta historia.

1.1 Syfte och Frågeställningar

Syftet med arbetet är att förstå de mekanismer som format Jezerokraterns kants nuvarande utseende för att kunna ge ny information om den blöta period som delvis format dagens Mars. Frågeställningarna jag

ställt mig är:

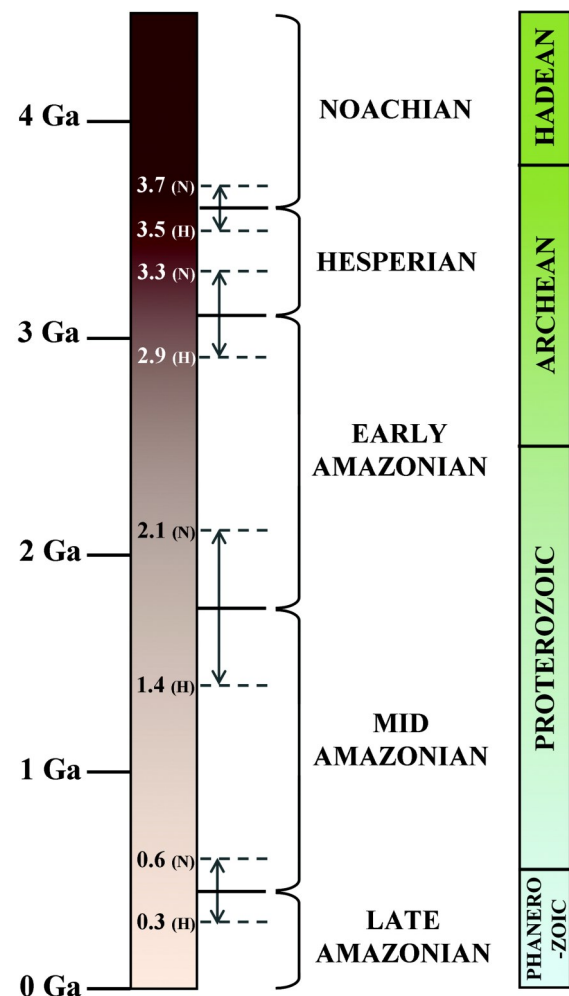
”Vilka är mekanismerna bakom Jezerokraterns kants nuvarande utseende?”

”Har den norra kraterkanten blivit lika mycket upplyft som övriga kraterkanten och i sådana fall, är det fluvial erosion eller någon annan mekanism som ligger bakom det mindre topografiskt distinkta utseendet?”

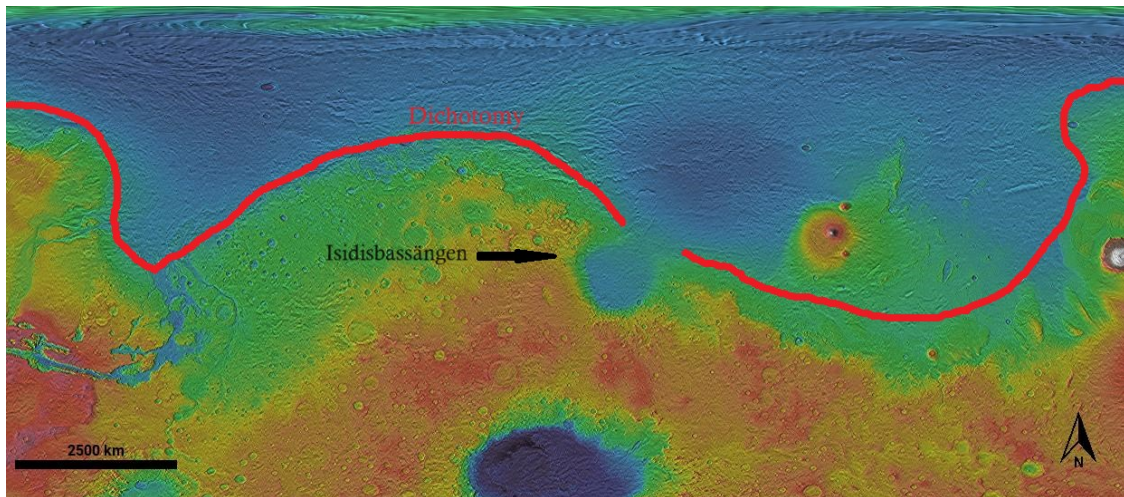
2.0 Bakgrund

2.1 Jezerokratern i kontext

Nordväst om Isidiskratern, i Nili Fossae-regionen, är den 45 km breda nedslagskratern Jezero lokaliserad. Isidiskratern har en diameter på cirka 1900 km och är bildad av en himlakropps-kollision vid ca 3,96–3,97 Ga, i början av den Noachiska eonen (figur 1) (Werner, 2008; Wichman & Schultz, 1989). Isidiskratern är starkt modifierad men går fortfarande att identifiera som en nedslagskrater då dess inre kraterkant, potentiella yttre kraterkant, samt cirkulära form är bevarad (Goudge et al., 2015). Isidis ligger strax norr om Mars ekvator, på den så kallade ”dikotomin” (*Martian*



Figur 1: Figuren visar en bild över Mars tidsåldrar med absolutåldrar baserade på buffrad kraterräkning. Figuren är hämtad från Cousins and Crawford (2011).



Figur 2: Topografisk karta över Mars norra halvklotet. De blå färgerna indikerar låg topografi och de röda områdena indikerar högre topografi. Utmarkerat i bilden är Dikotomin samt en pil som pekar på Isidisbassängen. Kartan är hämtad i Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).

dichotomy), som är en topografisk avskiljning om 1–3 km runt det norra halvklotet (figur 2) (Wichman & Schultz, 1989). Isidiskratern är så stor att den haft omfattande tektonisk påverkan regionalt vid dess bildning (Wichman & Schultz, 1989). Nedslaget har gett upphov till den nordvästra regionen Nili Fossae som är starkt karakteriserad av ett flertal koncentriska graben-strukturer (Wichman & Schultz, 1989).

2.2 Regional geologi

Geologin väster om Isidisbassängen, Nili Fossae-regionen, är mineralogiskt och stratigrafiskt mångfaldig med geologiska enheter från tidig Noachisk till Amazonisk ålder (figur 1; Goudge et al., 2015; Scheller & Ehlmann, 2020). Området är starkt påverkat av Isidiskraterns bildning, men också av fluvial aktivitet och vulkanism (Goudge et al., 2015). Den stratigrafiskt äldsta enheten i området är ”Noachian basement unit” som är ca 600 m mäktig (Scheller & Ehlmann, 2020). ”Noachian basement unit” har blivit indelad av Scheller & Ehlmann (2020) i en stratigrafisk bottenenhetsgrupp, ”Noachian basement group”, bestående av 5 geologiska enheter: Stratified Basement Unit, Blue Fractured Unit, Mixed Lithology Plains Unit och LCP Plateaus Unit. I Scheller and Ehlmann (2020) identifierades dessutom två geomorfologiska enheter i det aktuella området: Mega-breccia, som är identifierade utspritt över Nili Fossae, och ryggar. Mega-breccian tros ha bildats av gravitationella flöden under Isidiskraterns bildning och blivit placerade ovanpå de Noachiska bottenenheterna Blue fractured Unit och Stratified Basement Unit (Scheller & Ehlmann, 2020).

Målberggrunden för Jezeronedslaget var just ”Noachian basement group” (Scheller & Ehlmann, 2020) och dess distribution runtom kraterkanten är intressant då denna därmed troligen utgör berggrunden som kraterkantens består av (French, 1998; Kenkmann et al., 2014).

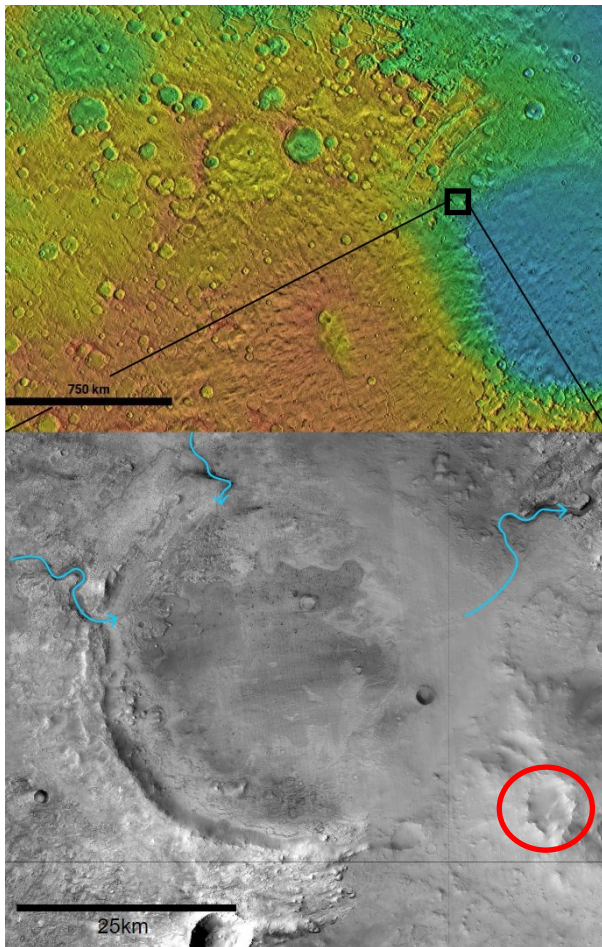
I Scheller & Ehlmann (2020) karterades den sydvästra delen utanför Jezerokratern och alla enheter ingående i Noachian basement group identifierades. Den största delen av området bestod av ”Mixed Litho-

logy Plains Unit” som har en blandning av LCP Plateaus Unit och Fe- och Mg-smektit. Fe- och Mg-smektiten är en produkt av omvandling som sker i närvaro av vatten och LCP Plateaus Unit har ett oklart ursprung (Scheller & Ehlmann, 2020). Norra delen utanför Jezerokratern har ingen detaljkartering av Noachian Basement Group på samma sätt som sydvästra. Dock har Goudge et al (2015) karterat området och hittar några få exponeringar av Noachisk berggrund. Den geologiska kartan i Goudge et al. (2015; figur 4) visar att den Noachiska berggrunden skiljer sig åt på sydvästra och östra/nordöstra sidan utanför Jezero, dock diskuteras inte detta i texten. Scheller & Ehlmann (2020) menar dock att de två Noachiska enheterna i Goudge et al. (2015) båda är Mixed Lithology Plains Unit men med olika morfologi.

2.3 Jezerokraterns geologi

2.3.1 Lakustrin historia

Jezerokratern är bildad under den Noachiska eonen (figur 1) efter Isidisbassängens bildning. Kratern har två föreslagna floddeltan, ett i västra och ett i norra delen, samt ett utflöde i öster (figur 3; Goudge et al., 2015). Dessa floddeltan tillsammans med tecken på att mineral i kraterns berggrund genomgått vattenrelaterad omvandling är bevis på att Jezerokratern en gång varit en sjö (Goudge et al., 2015). De två inloppen tillsammans med utloppet ger dessutom bevis på att Jezerokratern vid något tillfälle har varit en öppen bassäng då sjön fyllts på i sådan takt att det också tappats ur vatten från den (Goudge et al., 2015; Salese et al., 2020). Hur länge och hur många gånger Jezerokratern har hållit en stående kropp med vatten är fortfarande omdiskuterat. Horgan et al. (2020) menar det att det är troligt att Jezerokratern fyllts med vatten relativt direkt efter kraterns bildning. Tappning av sjön tros ha skett minst 3 gånger under okända tidsskalor, dock tillräckligt långa tidsskalor för att erodera en utloppskanal från Jezero (Salese et al., 2020). Det tros ha tagit mellan 90–150 eller 330–550 år att bilda deltan i storleken som identifieras i Jezerokratern (Salese et al., 2020). Deltana har troligen bildats under en stängd bassängfas



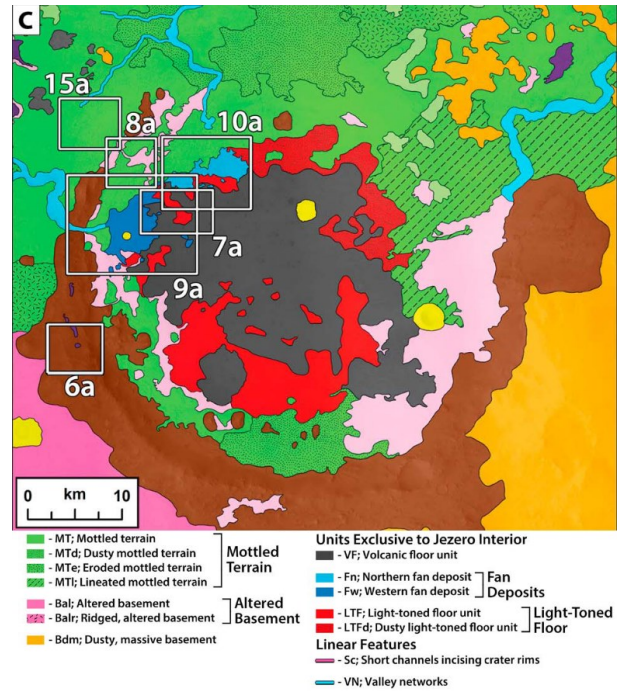
Figur 3: Den övre kartan visar en topografisk karta över Isidissässingen med en ruta i för vart den nedre bilden är placerad. Den nedre bilden visar en närbild på Jezerokratern med markerade ut- och inflöden (blå pilar) samt Jezero Mons (röd cirkel). Bilderna är hämtade i Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).

där 3 tappningar av sjön skett under okänt långa perioder (Salese et al., 2020). Det finns också bevis för att Jezerokratern hållit fler stängda bassängfaser med en fjärde lägre vattennivå samt potentiellt ytterligare lägre vattennivåer identifierade (Annex & Ehlmann, 2024; Mangold et al., 2021). Den fluviala aktiviteten i Jezerotros ha avtagit mellan 3,5 - 3,8 Ga (Fassett & Head, 2008).

2.3.2 Vulkaniska avlagringar

Jezerokratern har också präglats av omfattande vulkanism och det finns idag flera avlagringar med vulkaniskt ursprung i och runt Jezerokratern (Alwmark et al., 2023; Farley et al., 2022; Goudge et al., 2015). Det är fortfarande oklart var de vulkaniska bergarterna kommer ifrån och hur gamla de är. Det västra deltat i Jezerokratern överlagrar dessa vulkaniska enheter men det finns potentiella bevis för att de vulkaniska enheterna mellanlagrar kraterns tidigare lakustrina perioder (Annex & Ehlmann, 2024).

Anledningen till att de vulkaniska enheterna som utgör kratergolvet i Jezero idag inte är täckta av lakustrina sediment (avsatta samtidigt som det västra deltat) är troligen på grund av att dessa finkornigare sedimenten eroderats bort (Holm-Alwmark et al.,



Figur 4: Geologisk karta över Jezerokratern med tillhörande legend hämtad från Goudge et al. (2015).

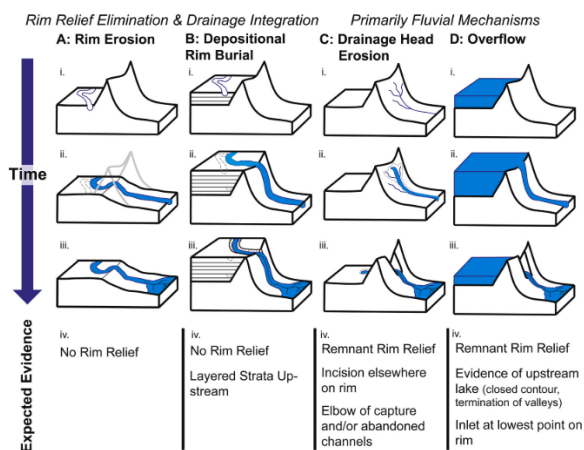
2021).

2.3.3 Kraterkanten

Nedslagskratrar i Jezeros storlek har normalt en högt stående kraterkant runt hela kratern (French, 1998; Kenkmann et al., 2014) vilket inte är fallet i Jezero och flera andra forna kratersjöar på Mars i dagsläget (Salese et al., 2020). Som tidigare nämnt är Jezerokraterns norra kraterkant mycket mindre topografiskt distinkt jämfört med övriga kraterkanten (figur 3). Horgan et al. (2020) och Bamber et al. (2022) menar att anledningen till den norra kraterkantens mindre distinkta topografi troligen beror på omfattande fluvial erosion.

Inflödesdalarna till Jezerokratern har troligen bildats genom processen ”drainage head erosion” (figur 5C) som är en process där ett flödeshuvud skulle bildats i kraterkanten och eroderat sig i motsatt riktning till hur vattnet flödat. I processen ”drainage head erosion” har vattnet sitt ursprung i nederbörd, snöavsmältning eller grundvattensdränering och rinner ursprungligen ned längs kraterkanten i små flöden men samlas till slut i bredare flöden (Bamber et al., 2022). Punkten där de mindre flödena samlas kallas flödeshuvud vilket också är punkten där mest erosion sker (figur 5C) (Bamber et al., 2022). Dock är detta mest troligt för det norra inflödet men är också ett potentiellt scenario för det västra inflödets bildning (Bamber et al., 2022). Det finns möjlighet för en bassäng norr om kratern som potentiellt, om den hållit en stående vattenkropp, kan ha bidragit till att erodera den norra kraterkanten (Bamber et al., 2022). Dock saknar denna potentiella bassäng intakta topografiska hinder i söder och norr men det är inte omöjligt att det en gång funnits i form av till exempel en glaciär eller en högre stående berggrund (Bamber et al., 2022).

I Östra delen av kratern, mer specifikt i kraterkanten, finns det en topografisk höjdpunkt, Jezero Mons



Figur 5: Illustrationer av vilka mekanismer som troligen bildat inflödesdalar i kraterkanter på Mars. Till vänster i bilden visas en tidsskala uppifrån och ner. Drainage head erosion representeras i C. Figur hämtad från (Bamber et al., 2022).

(figur 3), som sträcker sig cirka 2000 meter över kratergolvet. Ursprunget till detta berg är fortfarande oklart, men det föreslås att det är en forna vulkan som potentiellt är ursprunget till tefra och lava i Jezerokratern (Alwmark et al., 2023; Bell et al., 2022). Ingen information om Jezero Mons bildning relativt till Jezerokratern kunde hittas i litteraturen läst inför detta arbete.

2.4 Stratigrafi och mineralogi

Jezerokraterns stratigrafi består av en bottenenhet som är själva kratergolvet och kanten som är spektralt svårdefinierad med några få spektrala indikationer på Fe- och Mg-smektit (Goudge et al., 2015). I en fotogeologisk karta presenterad i Stack et al. (2020) har kraterkanten vid västra inflödet delvis karterats. Det identifierades fyra olika enheter som hade direkt med kraterkanten att göra: Crater Rim Rough, Crater Rim Breccia, Crater Rim Layered och Crater Rim Blocky. Stratigrafiskt över kraterkanten och golvet hittar man enheten "Mottled terrain" (MT) som visar spektrala indikationer på olivin och karbonat, där karbonaten troligen kommer från in-situ omvandling av Mg-rik olivin (Goudge et al., 2015; Horgan et al., 2020). MT är en regional enhet som hittas i stora delar av västra Isidibassängen och tros utgöra ett ultramafiskt tefralager, potentiellt från den närliggande vulkanen Syrtis Major (Goudge et al., 2015; Horgan et al., 2020). I liknande stratigrafiska nivå som MT hittas enheten "Light toned floor unit" (LTF) som direkt överlagras av enheten "Volcanic floor Unit" (VF) (Goudge et al., 2015). Det har diskuterats om LTF och MT potentiellt är besläktade med varandra på grund av deras stratigrafiska nivå samt relativt liknande mineralogiska komposition (Alwmark et al., 2023; Farley et al., 2022; Goudge et al., 2015; Horgan et al., 2020).

In-situ observationer med Perseverance har gett ovärderliga data för förståelsen av de vulkaniska enheterna LTF och VF i Jezero. Delarna av dessa enheter som studerats in-situ har senare fått de informella namnen Maáz (del av VF) och Séitah (del av LTF) (Alwmark et al., 2023). Séitah har tolkats som ett

olivinkumulat, vilket vanligtvis är associerat med långsamt kristalliserade lavaflöden, lavasjöar eller intrusioner (Farley et al., 2022). Det anses idag vara osannolikt att Séitah/LTF är relaterad till MT då detta skulle tyda på en otroligt stor volym av regionalt spridd ultramafisk smälta (Farley et al., 2022). Dock är det fortfarande oklart hur eller om Séitah är relaterad med den regionala enheten MT eller om MT är en samling av mineralogiskt liknande enheter och att dessa inte nödvändigtvis är relaterade (Alwmark et al., 2023; Farley et al., 2022).

I Alwmark et al. (2023) studerade man Artruby ridge, som är en plats där Séitahformationen går in under Maázformationen, med perseverance data och drog slutsatsen att Maáz, vid Artruby ridge, representerar ett flertal olika lavaflöden.

Den översta stratigrafiska enheten i Jezerokratern är det västra deltat (Fw). Med hjälp av in-situ observationer av Perseverance har det bevisats att Fw är ett delta (Mangold et al., 2021). Bevisen man kunde identifiera var tydliga foresets, topsets och bottomsets som alla är starkt associerade med deltaavlagringar (Mangold et al., 2021). Det var länge diskuterat om Fw var den yngsta enheten i Jezerokratern men i Holm-Alwmark et al. (2021) tillsammans med in-situ observationer av Perseverance (Paige et al., 2024) har man bevisat att Fw är den översta stratigrafiska enheten i Jezerokratern.

Det föreslagna norra deltat (Fn) är också en av de översta stratigrafiska enheterna i Jezerokratern och tros ha en liknande ålder som Fw (Goudge et al., 2015).

Fw visar spektrala indikationer på Fe-Mg smektit medan Fn visar indikationer på Olivin-karbonat (Goudge et al., 2015). Både det västra och norra deltat utgörs av material som fluvialt transporterats från respektive deltas flodområden, väster om Jezero, samt norr om Jezero (Goudge et al., 2015). Fn är mer eroderat och modifierat än Fw. Goudge et al. (2015) menar att detta beror på den litologiska skillnaden mellan de två och inte någon större åldersskillnad.

2.5 Kraterbildning och kantupplyftning

Nedslagskratrar är cirkulära strukturer som bildas till följd av kollisioner mellan två himlakroppar (French, 1998). På mindre än 10 minuter efter kollision har den färdiga strukturen bildats (French, 1998). Oavsett om det är en mindre eller större nedslagskrater (med en diameter upp till över 1000 km) så är bildningstiden densamma, men det är storleken som avgör strukturens slutgiltiga morfologi (French, 1998).

Det finns två huvudsakliga typer av nedslagskratrar; enkla och komplexa. Om kraterns slutgiltiga morfologi blir av typen simpel eller komplex styrs av gravitation, målberggrundens sammansättning samt kraterns storlek (French, 1998). De mindre nedslagsstrukturerna får en mer "enkel" morfologi medan större kratrar får en mer komplex morfologi med central upplyftning och omfattande modifiering till följd av kraterkantskollaps (French, 1998). Övergången från enkla till komplexa kratrar på Mars är ungefär när kraterns diameter överskrider 6 km (Sturm et al., 2016). Jezerokratern klassificeras som en komplex krater (Schon et al., 2012).

Simpla och komplexa kratrars första steg i bildningen är relativt lika fram till efter stadiet

”övergångskrater” (figur 6). Övergångskratersstadiet karakteriseras av en expanderande kavitet som avslutas när kaviteten uppnått maximal diameter, detta inom 2 minuter efter nedslag (French, 1998). Övergångskraterns kant går igenom en upplyftning till följd av injektionsprocesser, spallation och bildning av en så kallad ”*overturned flap*” (figur 6; Kenkmann et al., 2014). Injektionsprocesserna som lyfter upp kraterkanten involverar injekterade gångbergarter (injection dikes) samt inskjutna kilar (interthrust wedges) (figur 6) som lyfter kraterkanten högre än pre-impakt nivån av målberggrunden (Kenkmann et al., 2014). En *overturned flap* är en del av målberggrundens översta stratigrafi som välts över kraterkanten och karakteriseras av en uppochnervänd stratigrafi (figur 6; Kenkmann et al., 2014).

Komplexa kratrar genomgår stora förändringar i modifieringsstadiet (Kenkmann et al., 2014). Förutom central upplyftning av kratergolvet förstoras den komplexa kratern under kraterkantskollaps på grund av ett flertal normalförkastningar som bildas (figur 6) (Kenkmann et al., 2014). Förstöring av kratern varierar från himlakropp till himlakropp (Sturm et al., 2016). I Sturm et al. (2016) studerades ett flertal komplexa nedslagskratrar på Mars och man kom fram till att den slutgiltiga kratern är 1,21 – 1,87 gånger större än övergångskratern. Den slutgiltiga kraterkanten blir då alltså 1,21 – 1,87 gånger längre ut än övergångskra-

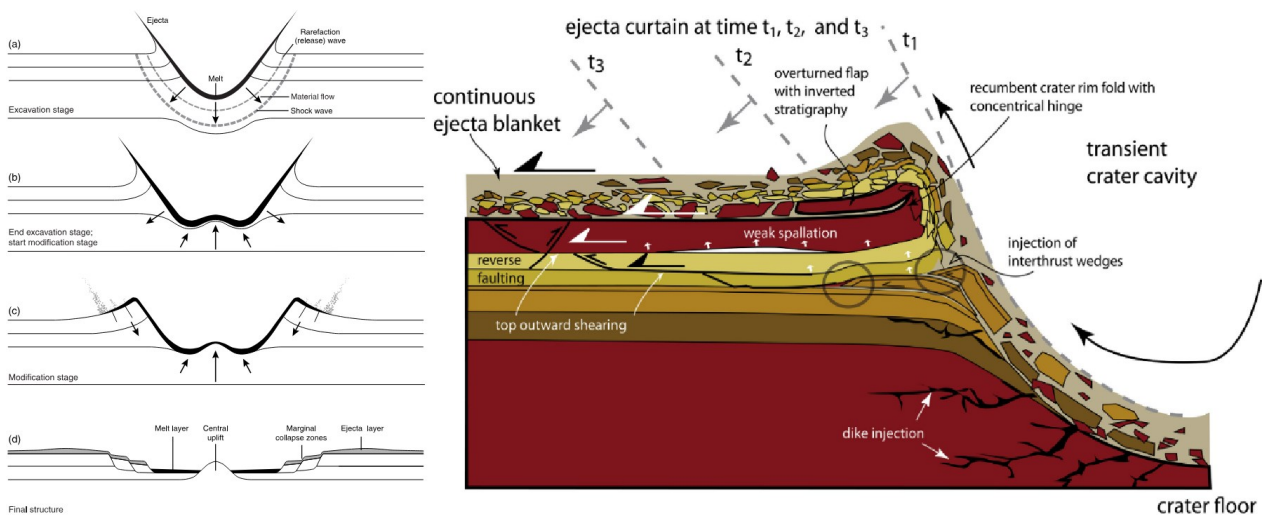
terns kraterkant (Sturm et al., 2016). I Sturm et al. (2016) menar man att upplyftningen som syns i komplexa kratrars slutgiltiga kraterkant på Mars troligen inte enbart är driven av ovannämnda upplyftningsprocesser (injektionsprocesser, spallation och overturned flap) utan drivs av en annan process som lyfter upp kraterkanten längre ut, men denna mekanism har inte identifierats.

3.0 Metod

Studien är baserad på orbitala data tillgänglig i Jmars som är ett offentligt dataprogram (Christensen, 2009). Den orbitala data från Jmars inkluderar topografiska data från instrumentet Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) som sitter på satelliten Mars Global Surveyor (MGS) samt högupplösta satellitbilder från Context Camera (CTX) som sitter på satelliten MRO.

Jag började med att studera topografiska skillnader runt Jezerokratern för att dela in kraterkanten i topografiska enheter efter olika höjdsnitt.

Den andra indelningen av kraterkanten är baserad på topografisk morfologi. Genom en funktion i Jmars som ritar ut topografiska profiler kunde detta göras. Alla profiler drogs efter två cirklar, en som var 5km innanför kraterkanten och en 5km utanför. Detta gjorde att profilängden alltid var 10 km samt gjorde att alla profiler gick över kraterkanten. Denna mer detaljerade indelning var fokuserad på kraterkantens



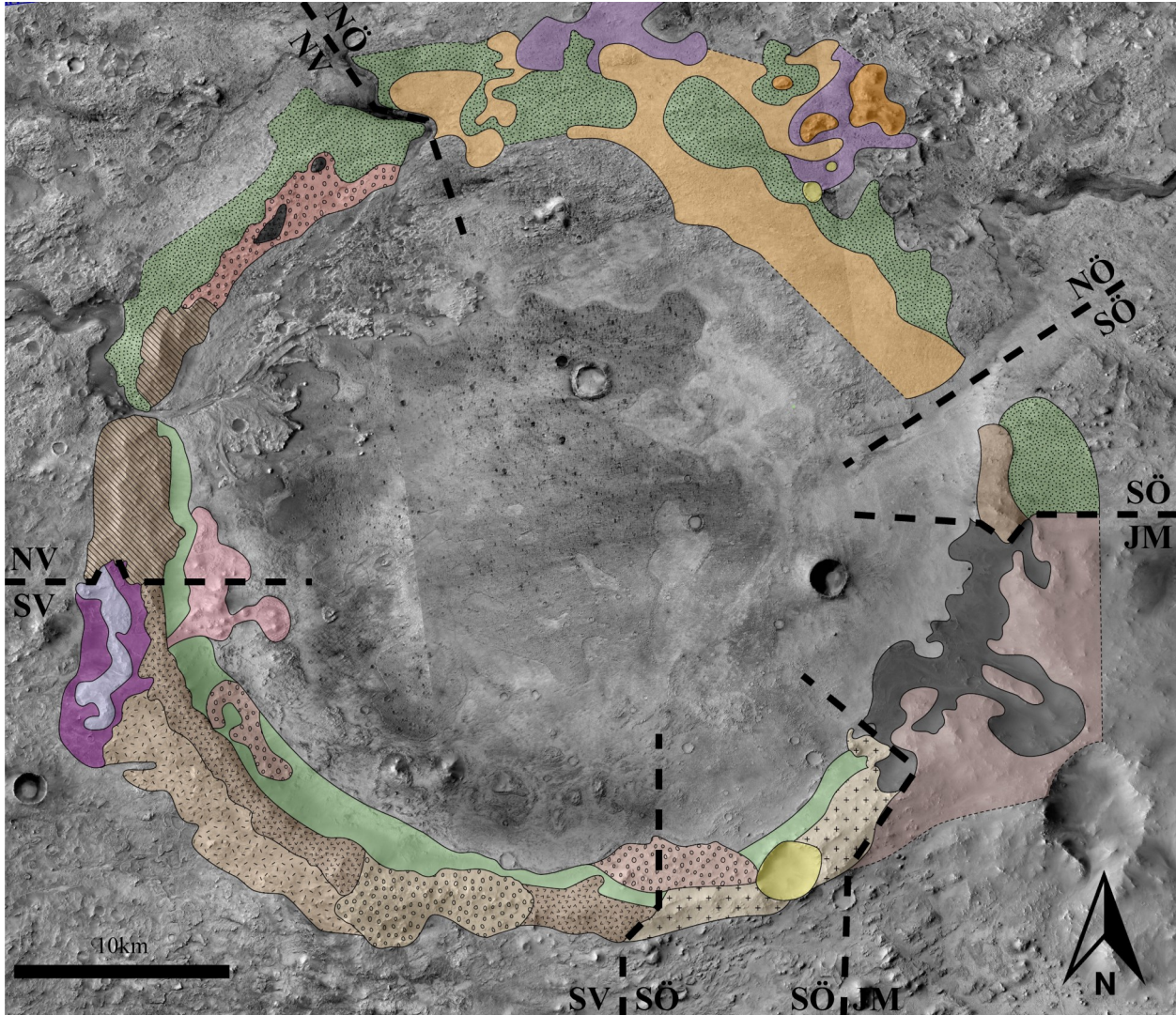
Figur 6: Figuren visar till vänster en bild hämtad från (French, 1998) som visar stegen i bildningen av en komplex krater där a och b representerar övergångskratern, c representerar modifieringsstadiet och d representerar den slutliga komplexa kratern. Till höger är en bild tagen från (Kenkmann et al., 2014) som visar strukturgeologin i en kraterkant innan kratern går in i modifieringsstadiet. ”Transient cavity” är översatt till Övergångskrater, ”Dike injection” är översatt till ”Injekterade gångbergarter” och ”interthrust wedges” är översatt till Inskjutna kilar i denna rapport. Reversförkastningarna (reverse faulting) som (Sturm et al., 2016) nämner som potentiellt kan vara en kraterkantsupplyftande mekanism finns illustrerade i den högra bilden längst till vänster.

lutning in mot kratern, lutning ut från kratern och topografisk variation.

Sista delen av arbetet gick ut på att studera CTX bilder från varje enhet introducerade i andra indelningen och se på textur samt topografi för att identifiera enheter associerade med kraterkanten. Tanken med detta var att skapa en geologisk karta över hela Jezerokraterns kant.

4.0 Resultat

Arbetet resulterade i 4 topografiska enheter, 5 enheter baserade på topografisk morfologi och 21 geologiska enheter baserade på textuell morfologi. Den slutliga produkten var en geologisk karta (figur 7) som representerar den topografimorfologiska samt den textuella enhetsindelningen vars enhetsnamn och beskrivningar presenteras i tabellerna 1, 2, 3 och 4.



Legend

SV	NV	NÖ	SÖ och JM
SV-Bc; Bergig kraterkant	NV-Sc; Sluttande kraterkant	Kc; Knotttrig kraterkant	Kc; Knotttrig kraterkant
SV-BBc; Blockig Bergig kraterkant	Kc; Knotttrig kraterkant	NÖ omslutande enheter	SÖ-Sc; Skrovlig kraterkant
Lc; Len kraterkant	Lc; Len kraterkant	NÖ-Lt; Len terräng	JM-S; Skrovlig terräng
SV-Vtc; Varierad terräng kraterkant	NV-Bc; Blockig kraterkant	NÖ-SU; Len Spräcklig Utanföer	JM-L; Len knoppig terräng
SV mindre enheter	NV mindre enheter	NÖ mindre enheter	Lc; Len kraterkant
SV-bu; bergig utanför	NV-Bb; Berghällar	NÖ-PB; Plåtäg Berghäll	SÖ-GSc; Grov Skrovlig kraterkant
SV-lu; len utanför	Enhetsgränser	Kratar mindre än 10km	SÖ mindre enheter
SV-Ki; Knoppig innanför	Tydlig gräs för indelning 3		SÖ-Si; Skrovlig Innanför
SV-Si; Skrovlig innanför	Gräns där enheten går utanför kraterat område för indelning 3		
	Gränser för indelning 2		

Figur 7: Geologisk karta baserad på textur och topografimorfologi över Jezerokraterns kant med tillhörande legend. Den ursprungliga satellitbilden är en samling av CTX bilder hämtade från Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).

Enhetsnamn:	Beskrivning:
SV	Det som karakteriserar SV enheten är delvis dess höga topografi (högst runt -1500 och minst ca -1900), dess tydliga kraterkant, dess starkt fluktuerande topografi och dess branta lutning in och ut från kratern.
Större geologiska enheter	
SV-Bc	Karakteriseras av bergighet samt hög och kantig topografi.
SV-Vtc	Är en svårkarakteriserad terräng med stor diversitet och skulle behöva en egen kartering, dock är detta inget som denna rapport kommer att göra. Enheten varierar av len och skrovlig terräng och har ett par cirkulära knoppar/hällar som sticker upp på olika platser.
SV-BBc	Är en relativt varierad terräng som karakteriseras av bergighet, potentiell blockighet samt knottrighet.
Lc	Insidan av brantare delar av kraterkanten, len textur troligen på grund av ett eoliskt sediment. Avgränsas av en skrovlig smal enhet in mot kratern. Involverar enheterna NV-Lc, SV-Lc och SÖ-Lc.
Mindre geologiska enheter	
SV-bu	Återfinns på en plats i området och är en förhöjning med form av ett bortvänt C, karakteriseras av skrovlig bergighet
SV-lu	Är en enhet som ser ut att omsluta SV-bu och har ett par platåiga strukturer i sig och karakteriseras av en relativt len terräng.
SV-Ki	Karakteriseras av ett flertal större knoppar och utbreder sig från kraterkanten, genom Lc, ut in i kratern.
SV-Si	Identifieras inuti SV- Lc och karakteriseras av grov skrovlighet/potentiell blockighet eller bergighet.

Tabell 1: Beskrivning för SV samt enhetsnamn och beskrivning av större och mindre geologiska enheter i SV.

Enhetsnamn:	Beskrivning:
NV	Det som karakteriserar NV enheten är dess tydliga kraterkant, topografi under -2000m, dess mindre fluktuerande topografi (jämfört med SV enheten) och dess lägre lutning in mot kratern relativt till SV enhetens lutning in mot kratern.
Större geologiska enheter	
NV-Bc	Karakteriseras av knoppar och ett potentiell eoliskt sediment emellan dessa. Knopparna skulle kunna vara berggrundsblock men svårt att avgöra från den orbitala data.
NV-Sc	Bergiga delar av kraterkanten som ser ut att slutta och dessutom ser ut att ha en mer utbredd upplyftning än övriga kraterkanten. Karakteriseras också av skrovlighet.
Lc	Insidan av brantare delar av kraterkanten, len textur troligen på grund av ett eoliskt sediment. Avgränsas av en skrovlig smal enhet in mot kratern. Involverar enheterna NV-Lc, SV-Lc och SÖ-Lc.
Mindre geologiska enheter	
NV-Bb	Är identifierat på två platser och ser ut att vara mindre berghällar som kan vara delar av kraterkanten.

Tabell 2: Beskrivning för NV samt enhetsnamn och beskrivning av större och mindre geologiska enheter i NV.

Enhetsnamn:	Beskrivning:
NÖ	Enhetsen NÖ karakteriseras av låg topografi (under -2100), otydlig kraterkant, svag topografisk fluktuation och låg lutning in mot kratern samt lutning topografiskt uppåt ut från kraterkanten vilket skiljer sig från alla andra enheter.
Större geologiska enheter	
Kc	Tydlig knottig textur, följer kraterkanten. Involverar enheterna NV-Kc, NÖ-Kc och SÖ-Kc.
Omslutande geologiska enheter	
NÖ-Lt	Karakteriseras av lenare terräng än Kc och identifieras både innanför, utanför och jämsides med Kc i NÖ, dock i störst utbredning innanför.
NÖ-SU	Karakteriseras av spräcklig och len terräng där spräckligheten beror på att enhetens mindre kratrar är relativt välbevarade. Enhetsen är inte lika utbredd som NÖ-Lt och finns enbart på två platser utanför kraterkanten.
Mindre geologiska enheter	
NÖ-PB	Ser ut som berghällar med plåtåig textur och återfinns enbart på några platser utanför NÖKc och ökar i täthet österut. Potentiellt en av dessa berghällar inuti kratern men denna är inte markerad i kartan då den är så pass långt in i kratern.

Tabell 3: Beskrivning för NÖ samt enhetsnamn och beskrivning av större, omslutande och mindre geologiska enheter i NÖ.

Enhetsnamn:	Beskrivning:
SÖ	SÖ enhetsen är karakteriserad av kraterkantens lägsta topografi (-2200 till -2400), en relativt otydlig kraterkant (jämfört med SV och NV) och liknande lutning in mot kratern som NV.
JM	JM enhetsen är karakteriserad av en konstant relativt enhetlig sluttande topografi och en icke identifierbar kraterkant.
Större geologiska enheter	
SÖ-GSc	Karakteriseras av en relativt grov skrovlighet.
SÖ-Sc	Karakteriseras av skrovlighet och ligger på insidan inåt av kraterkantens högsta topografi.
JM-L	Enhetsens utbredning börjar uppe vid Jezero Mons och ser ut att flöda genom JM-S ner till kratergolvet där det finns en del vågiga strukturer samt en del knoppar.
JM-S	Är en knoppig enhet som är delad i tre av JM-L. JM-S ser ut att följa kraterkanten men har en uppenbart starkare ellips än övriga kraterkanten. Detta skulle kunna betyda att den är en del av kraterkanten.
Mindre geologiska enheter	
SÖ-Si	Har en liknande textur och placering som SV-Si därav har de fått samma legendfärg i den fullständiga geologiska kartan. Karakteriseras av skrovlighet, potentiell bergighet, potentiell blockighet och har ett flertal ryggar som går i Sydvästlig-Nordostlig riktning.

Tabell 4: Beskrivning för SÖ och JM samt enhetsnamn och beskrivning av större och mindre geologiska enheter i SÖ och JM.

4.1 Första indelning

Höjdspannen som bestämde den första indelningen av enheter var: över -2000m (SV), -2000 - -2100m (NV), -2100 - -2200m (NÖ) och -2200 - -2400m (SÖ) (figur 8). Höjderna är alla baserade på en referenshöjd, Aero-iden (0 m), jämförbar med Jordens Geoid (Burke et al., 2012). Höjdspannet -2200 - -2400m var så pass varierande i topografin att den fick involvera -2200 - -2300m och -2300 - -2400m istället för att de fick varsin enhet. Indelningen ledde till 4 enheter (SV, NV, NÖ och SÖ). Övergångsområdena mellan enheterna hade topografi som inte platsade in i någon av enheterna och blev markerade med sicksackmönster i figur 8.

4.2 Andra indelning

Arton profillinjer placerades sedan ut i de topografiska enheterna från första indelningen (figur 10). De topografiska profilerna syns i figur 11 med namn samt färg efter vilken enhet de är indelade i. Denna indelning utgick från samma enheter introducerade i den första indelningen men en ny enhet introducerades, JM, som placerades i mitten av SÖ. Profillinjer undvek inflöden och utflöden då dessa är avvikande från kraterkanten. Andra indelningen behöll då de 4 enheterna introducerade i första indelningen, förändrade dess utbredningar och lade till en ny enhet inuti SÖ vilket resulterade i indelningen som syns i figur 9.

4.2.1 SV

Det som karakteriserar SV enheten är delvis dess höga topografi (högst runt -1500 och minst ca -1900), dess tydliga kraterkant, dess starkt varierande topografi och dess branta lutning in och ut från kratern (figur 10 och

11). Gränsen SV/NV vid profilen SV1 (figur 10 och 11) var svår att placera ut då profilen SV1 inte är helt kompatibelt med varken SV eller NV enheten. SV1 kan ändå delas in i SV då den har liknande höjd som övriga SV profiler och sticker inte ut så pass att den kan delas in i en ny enhet.

4.2.2 NV

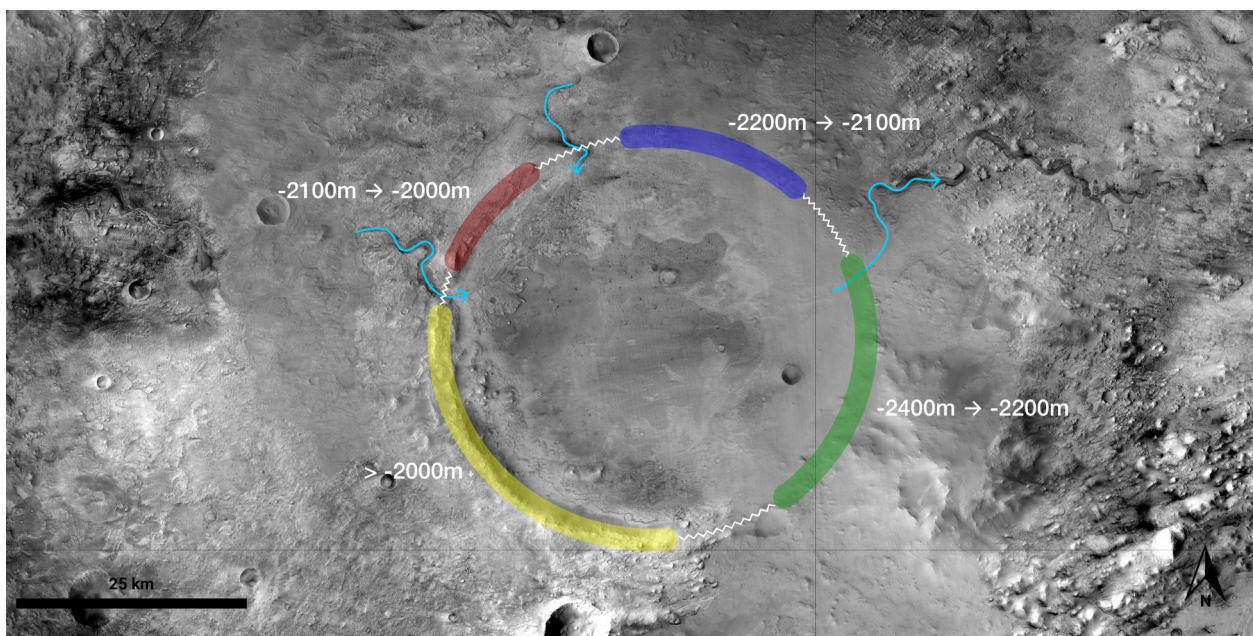
Det som karakteriserar NV enheten är dess tydliga kraterkant, topografi under -2000m, dess mindre fluktuerande topografi (jämfört med SV enheten) och dess lägre lutning in mot kratern relativt till SV enhetens (figur 10 och 11). NV3 och NV4 skulle kunnat bli indelade ensamma i NV enheten då båda dessa går över -2000m vilket inte NV1 och NV2 gör (figur 10 och 11). Detta skulle sätta NV1 och NV2 i SV enheten. Dock valdes detta inte att göras då alla NV1 lutningar in och ut från kratern är liknande och skiljer sig ifrån SV enheten.

4.2.3 NÖ

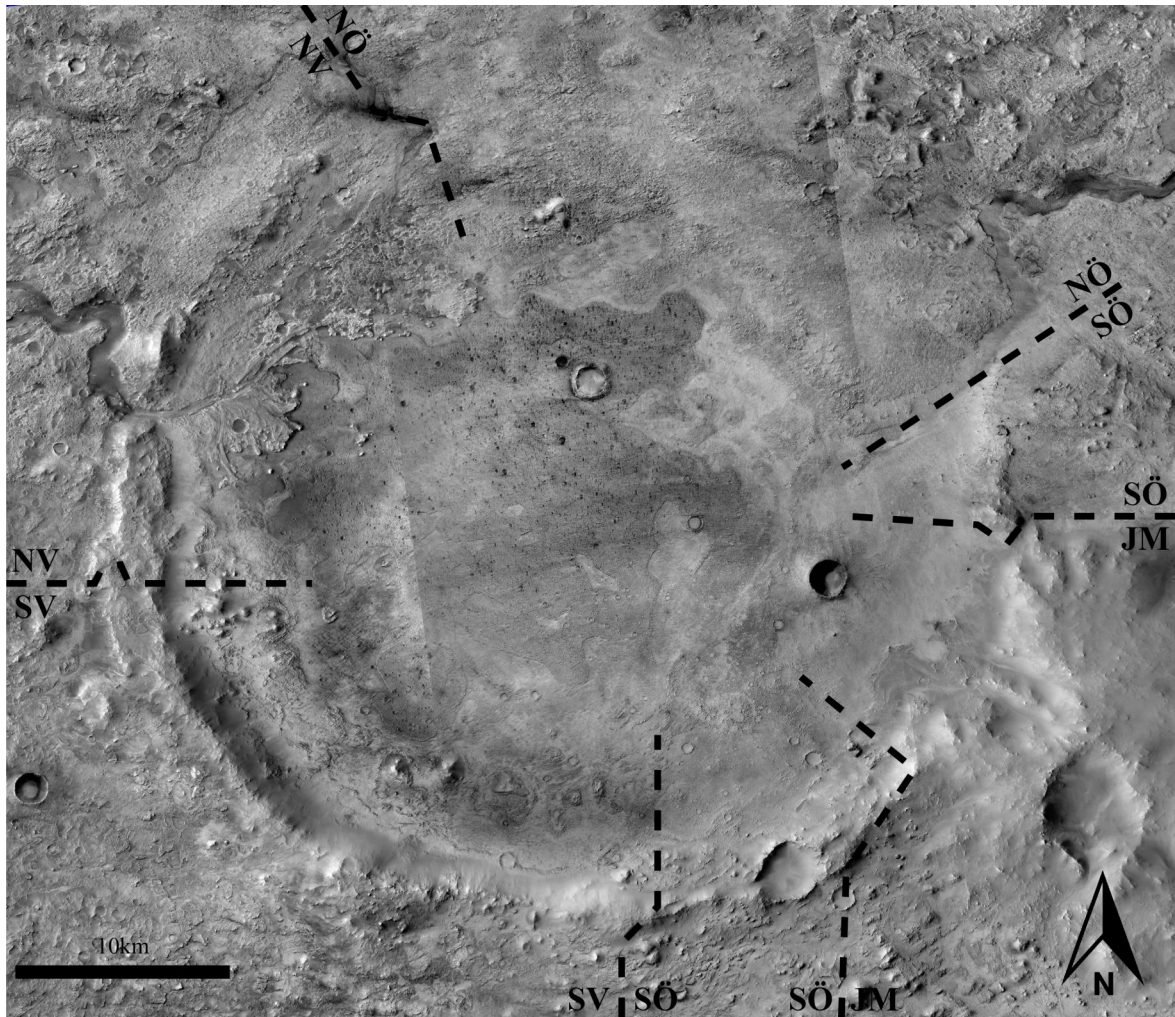
Enheter NÖ karakteriseras av låg topografi (under -2100), otydlig kraterkant, svag topografisk fluktuation och låg lutning in mot kratern samt lutning topografiskt uppåt ut från kraterkanten vilket skiljer sig från alla andra enheter (figur 10 och 11).

4.2.4 SÖ

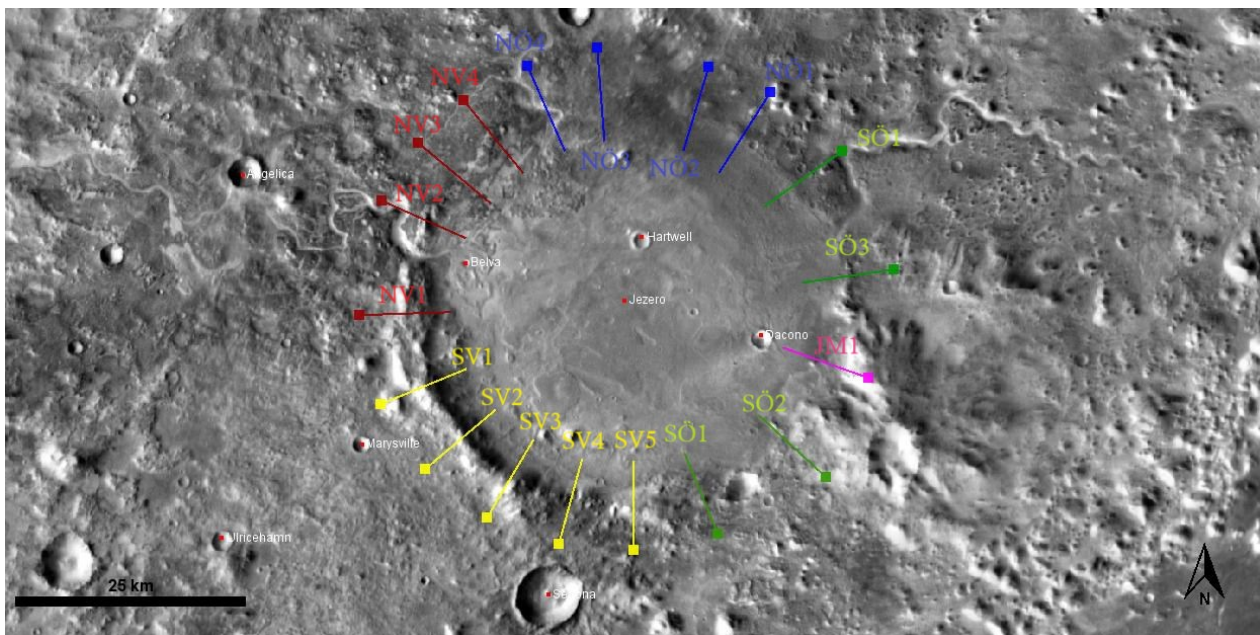
SÖ enheten är karakteriserad av kraterkantens lägsta topografi (-2200 till -2400), en tämligen otydlig kraterkant (otydligare än SV och NV) och liknande lutning in mot kratern som NV (figur 10 och 11). Den topografiska variationen är låg för SÖ enheten och jämförbar med NÖ:s. Profilerna SÖ3 och SÖ4 var först be-



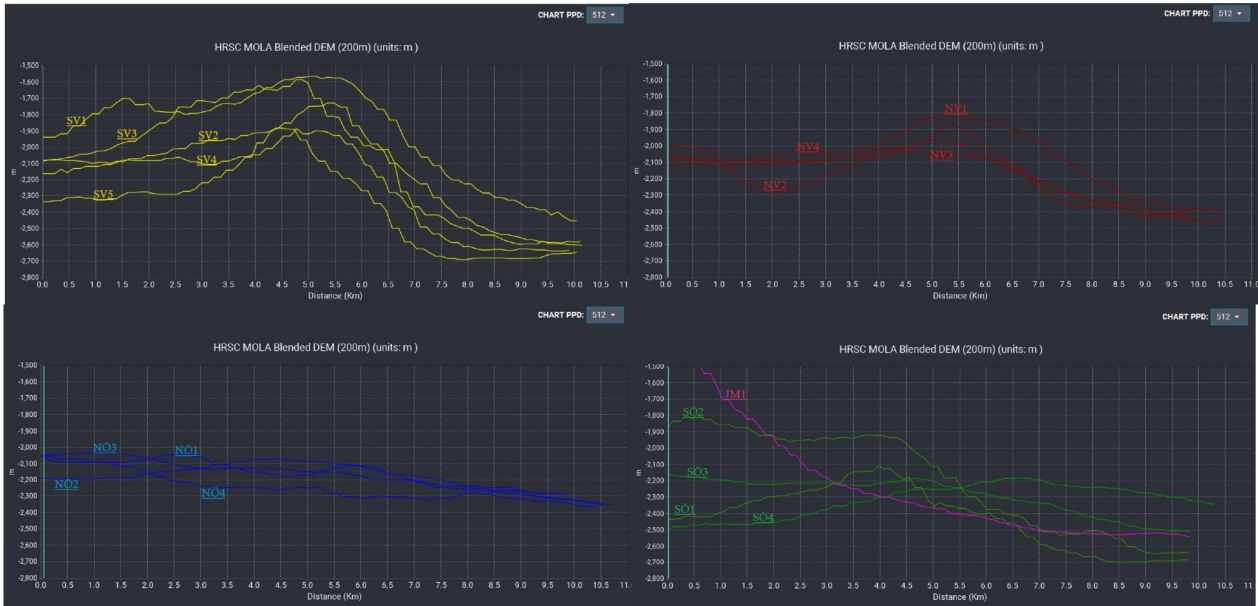
Figur 8: Figuren visar en karta över Jezerokratern med markerade topografiska höjdspann samt markerade inflöden och utflöde. SV är markerad gul i bilden, NV är markerad röd, NÖ är markerad blå SÖ är markerad grön. Sicksacklinjerna mellan de olika enheterna markerar områden med topografi som varierar mellan större höjdspann än 200m. Ursprungliga kartan är hämtad från Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).



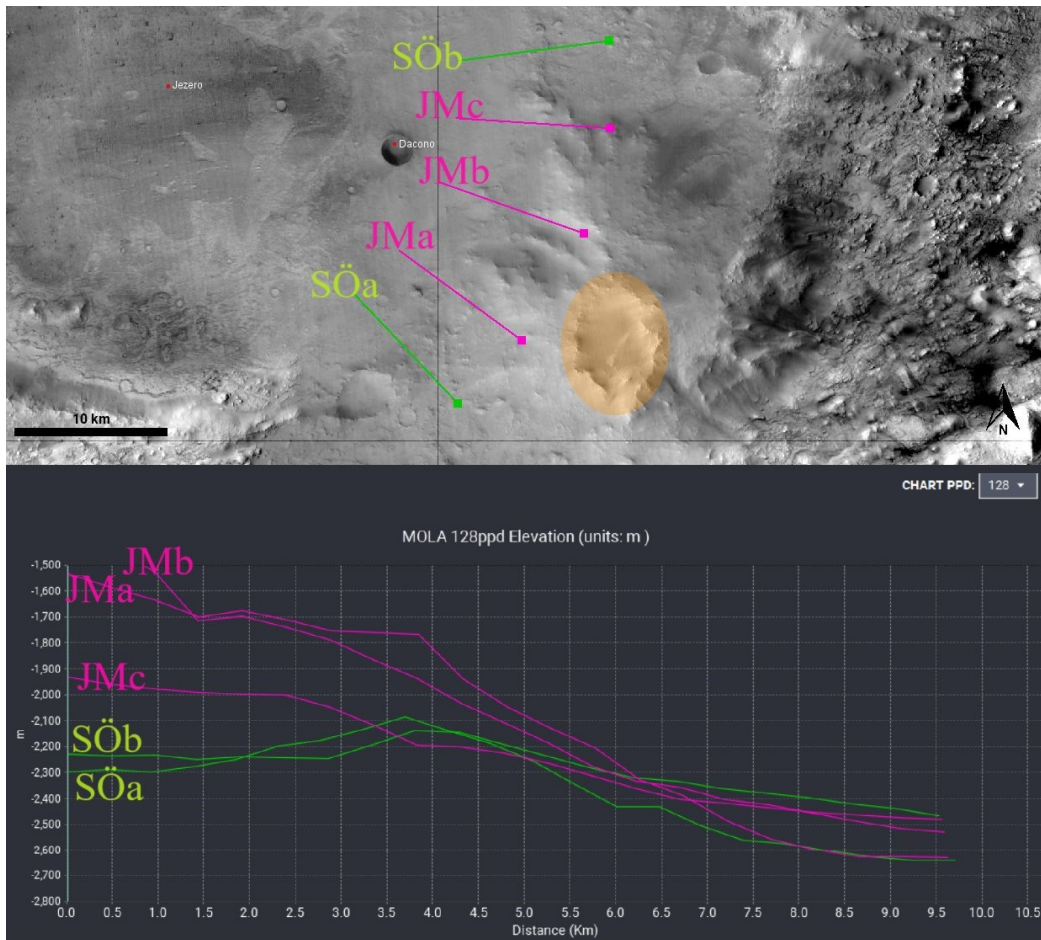
Figur 9: Figuren visar en karta med markerade indelningar från den andra indelningen. Figuren är skapad i Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).



Figur 10: Figuren visar en karta över Jezerokratern med profilinjer och namn för profilerna i figur 11. Inom SV enheten har alla profilinjer färgen gul, inom NV enheten har alla profilinjer färgen mörkröd, inom NÖ enheten har alla profilinjer färgen blå, inom SÖ enheten har alla profilinjer färgen grön och JM enheten har färgen rosa. Figuren är skapad i Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).



Figur 11: Figuren visar profiler från alla profillinjer i figur 10 samt namn. Alla profillinjers data presenteras i respektive enhets profilsamling förutom JM:s profil som presenteras tillsammans med SÖ enhetens profiler. Höjdspannet på y-axeln är samma för alla profiler likaså längden på x-axeln. Profilerna är skapade i Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).



Figur 12: Den övre delen av figuren visar en karta över sydöstra Jezerokratern med profillinjer samt Jezero mons topp (orange) markerade. Profillinjerna har namn och färg för vilken enhet de tillhör, JM har färgen rosa och SÖ har färgen grön. Profillinjernas data plottas i nedre delen av figuren. Figuren är skapad i Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).

skrivna som en del av NÖ enheten men byttes till SÖ enheter på grund av dess tydligare kraterkant jämfört med NÖ enhetens.

4.2.5 JM

JM enheten är kraterkantens minst utbredda enhet och är identifierad i enbart en profillinje i figur 10. JM1 tolkades först som en del av NÖ eftersom topografien ut från kraterkanten hade en lutning uppåt, men JM1 var inte helt lik resterande NÖ enheten (figur 11). Vid mer detaljerad topografisk studie (figur 12) syns det att JM enheten helt saknar en kraterkant jämfört med SÖ enheten och skiljer sig starkt topografiskt från NÖ enheten. JM blev därför en egen enhet då denna stack ut så pass mycket från övriga kraterkanten.

4.3 Tredje indelningen

Tredje indelningen av Jezerokraterns kant gick ut på att studera CTX bilder hämtade från Jmars för att studera kraterkanten mer detaljerat för respektive område (Christensen, 2009). Det identifierades 11 nya större enheter som har med kraterkanten att göra, 2 större enheter som inte var en del av kraterkanten men följer denna och 6 mindre enheter i kraterkanten. De nya enheternas utbredning visas i figur 7 och dess beskrivning i tabellerna 1, 2, 3 och 4.

4.3.1 SV

SV var den mest diversa delen av kraterkanten och det kunde identifieras 4 större enheter i kraterkanten, Len Kraterkant (SV-Lc), Varierad terräng Kraterkant (SV-Vtc), Blockig Bergig Kraterkant (SV-BBc), Bergig Kraterkant (SV-Bc).

Det har också identifierats 4 mindre enheter i SV, Bergig Utanfö (SV-bu), Len Utanfö (SV-lu), Knoppig innanför (SV-Ki) och Skrovlig Innanför (SV-Si).

Alla enheternas utbredning är representerade i Figur 7 och dess beskrivning i tabell 1.

4.3.2 NV

I NV kunde det identifieras 4 större enheter i kraterkanten, Sluttande Kraterkant (NV-Sc), Blockig Kraterkant (NV-Bc), Len kraterkant (NV-Lc) och Knottrig Kraterkant (NV-Kc).

NV-Sc är anmärkningsvärd då den ser ut att vara upplyft längre ut än resten av enheterna i kraterkantens bergiga delar. NV-Kc är också intressant då den återfinns i södra delen av NV utanför både NV-Bc och NV-Sc och i den norra delen så är det den enda enheten associerad med kraterkanten.

En mindre enhet kunde också identifieras; Berghällar (NV-Bb).

Alla enheternas utbredning är representerade i figur 7 och dess beskrivning i tabell 2.

4.3.3 NÖ

I NÖ är kraterkanten som tidigare nämnt mindre distinkt vilket gör att det är svårt att identifiera enheter associerade med kraterkanten. Vid kombination av topografisk studie kunde den topografiskt högsta punkten på flera olika platser markeras ut vilket gjorde det lättare att se vad som var associerat med kraterkanten och inte.

Slutligen identifierades det en enhet associerad med kraterkanten, Knottrig Kraterkant (NÖ-Kc). Dess beskrivning hittas i tabell 3.

Utanför och innanför NÖ-Kc är det 2 enheter som mer eller mindre omsluter den forna kraterkantens form, Len Spräcklig Utanfö (NÖ-SU), Len Terräng (NÖ-Lt).

En mindre enhet hittades, Platå Berghäll (NÖ-PB). Enheternas utbredning hittas i figur 7 och dess beskrivning hittas i tabell 3.

4.4.3 SÖ

Södra delen av SÖ identifieras två större kratrar (4 respektive 1 km i diameter) som kan ha påverkat kraterkantens utseende, detta tas dock inte i beaktning vid indelning av enheter. I SÖ kunde det identifieras 4 enheter, Grov Skrovlig Kraterkant (SÖ-GSc), Len Kraterkant (SÖ-Lc), Skrovlig kraterkant (SÖ-Sc) och Knottrig kraterkant (SÖ-Kc).

En mindre enhet identifierades i SÖ, Skrovlig innanför (SÖ-Si).

Alla enheternas utbredning är representerade i figur 7 och deras beskrivning hittas i tabell 4.

4.4.4 JM

JM är ett intressant område då kraterkantens topografi saknas helt med potentiellt en enhet som någorlunda följer den teoretiska kraterkanten dragen från södra och norra delen av SÖ. I JM kunde det enbart identifieras 2 enheter som är intressanta för kraterkanten, Len knoppig terräng (JM-L) och Skrovlig Terräng (JM-S).

Enheternas utbredning är representerade i figur 7 och deras beskrivning hittas i tabell 4.

4.3.5 Kombinerig

Vissa enheter hade liknande morfologi som andra och dessa enheter kombinerades i nya enheter som då överskrider den andra indelningens enheter.

NV-Kc, NÖ-Kc och SÖ-Kc delade alla en knottrig textur och placerades alla runt och i NÖ, därför lades de ihop till enheten Knottrig Kraterkant (Kc).

NV-Lc, SV-Lc och SÖ-LRc deras lena textur, avgränsning in mot kratern och placering innanför kraterkanten gjorde att dessa kombinerades till enheten Len Kraterkant (Lc).

SÖ-Si och SV-Si fick samma legendfärg och mönster på grund av dess relativt lika textur och placering. Dock fick inte dessa enheter dela namn eftersom det fanns vissa morfologiska egenskaper som skiljde dem åt då SÖ-Si besitter ett flertal ryggar vilket inte SV-Si gör.

5.0 Diskussion

I detta arbete har en detaljerad geomorfologisk analys av Jezerokraterns kant genomförts. Tre indelningar av kraterkanten gjordes, en enbart på topografi, en på topografimorfologi och en texturell kartering med de två tidigare indelningarna i beaktning. Resultatet var 5 större enheter från den andra indelningen och, från tredje indelningen, 11 större enheter som har med kraterkanten att göra, 2 större enheter som inte var en del av kraterkanten men följde denna samt 6 mindre enheter. Andra och tredje indelningen resulterade i en geologisk karta (figur 7).

5.1 Jämförelse med tidigare karteringar

När enheter karterade i Stack et al. (2020) och Goudge et al. (2015) jämförs med enheter karterade i denna studie så finns en generell överensstämmelse, flera enheter har liknande utbredning, men vissa enheter identifierade i den här studien skiljer sig från tidigare karteringar (figur 13). Det bör noteras att i studierna Stack et al. (2020) och Goudge et al. (2015) så användes spektraldata, vilket gör det möjligt att se ungefär vilka mineral berggrund och lösa avlagringar på ytan består av. Detta har inte ingått i denna studie, och påverkar hur många enheter som identifieras samt dess utbredningar.

5.1.1 Kc, Lc, NÖ-Lt och NÖ-SU

Knottig kraterkant (Kc) identifierades i den tredje indelningen och karakteriseras av en knottighet samt att den följer kraterkantens form. Enheten har en relativt stor utbredning och identifieras som 5 delar i den norra delen av Jezerokratern. Kc är en del av Motttled Terrain (MT) i Goudge et al. (2015) (figur 13), samt liknar Nili Planum Fractured i Stack et al. (2020). MT har delvis tolkats som en regional tefraavlagring (Horgan et al., 2020) med spektrala indikationer på Olivin-karbonat. Även om Kc har en liknande utbredning som MT så är MT:s utbredning i Jezerokratern större än Kc:s (figur 13).

Len terräng (NÖ-Lt) är karakteriserad av en relativt len textur och är inte en del av kraterkanten men följer denna. NÖ-Lt är också en del av MT men dess utbredning är en relativt liten del av denna (figur 13).

Spräcklig Utanför (NÖ-SU) karakteriseras av spräcklighet och att den bara identifieras utanför kraterkanten (figur 7). NÖ-SU, precis som NÖ-Lt är också en del av MT men bara en liten del av denna

(figur 13).

Enheten Len kraterkant (Lc) är också en del av MT i Goudge et al. (2015) vilket har visat sig i Stack et al. (2020) och Horgan et al. (2020) inte vara samma som övriga MT. Enheten som Lc följer räknas nu vara en subenhet av MT som kallas Margin Unit (potentiellt lakustrint avsatt karbonat). Lc:s och Margin Unit:s lena textur beror troligen på eoliskt sediment som täckt enheten (Stack et al., 2020).

Lc, Kc, NÖ-Lt och NÖ-SU karterade i denna studie är alla delar av MT i Goudge et al. (2015) och Lc, utöver detta, representerar en stor del av Margin Unit identifierad i Horgan et al. (2020) och karterad i Stack et al. (2020).

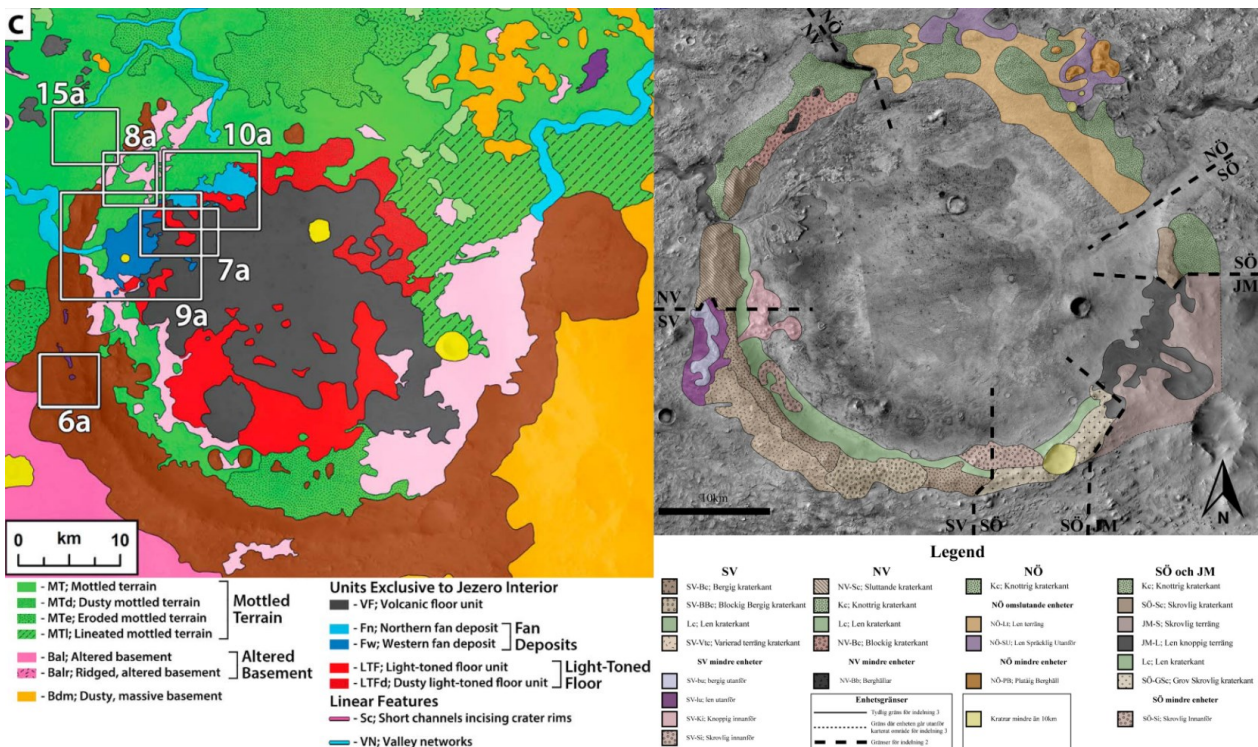
5.1.2 NV-Sc

Enheten Sluttande kraterkant (NV-Sc), som är karakteriserad av skrovlighet samt en jämnt sluttande topografi, har samma utbredning som Crater Rim Rough, Crater Rim Breccia, Crater Rim Layered och Crater Rim Blocky i Stack et al. (2020). Dock är inte hela Sc karterad i Stack et al. (2020) i varken norr eller söder.

Crater Rim Rough, Crater Rim Breccia, Crater Rim Layered och Crater Rim Blocky karterade i Stack et al. (2020) är alla mer detaljerade indelningar av Sc, men är tillsammans denna.

5.1.3 Kraterkantens utbredning

Kraterkantens bredd i Goudge et al. (2015) skiljer sig från denna studie i hela SÖ enheten och delvis i SV men där är skillnaden inte lika stor (figur 13). Bredden för kraterkanten i denna studie är vid SÖ:s norra del 5–6 km och runt 3 km i södra delen. I Goudge et al. (2015) är kraterkantens bredd i både norra och södra delen av SÖ över 10 km. Anledningen till detta är oklar då detta potentiellt kunnat ha inverkan på tolk-



Figur 13: Figuren visar en jämförelse mellan karteringen gjord i Goudge et al. (2015) (vänster) och karteringen gjord i denna studie (höger). Det bör noteras att det är enbart enheterna associerade med kraterkanten i Goudge et al. (2015) som kan jämföras med karteringen gjord i denna studie.

ningen gjord här.

Att kraterkanten skulle upplyfts lika utbrett som representeras i Goudge et al. (2015) kan stämma men det hittade jag inte bevis för eller emot.

5.2 NÖ, potentiella mekanismer bakom den mindre distinkta kraterkanten

I den geologiska kartan (figur 7) händer det något med kraterkanten i NV-Bc samt någonstans i SÖ-GSc. Dras det en linje mellan dessa enheter syns det att den sydvästra delen av denna linje har en bergigare kraterkant och den nordöstra delen besitter mindre/ingen bergighet. Nedan kommer jag att diskutera potentiella mekanismer som ligger bakom detta.

5.2.1 Pre-impakt faktorer

Pre-impakt faktorer skulle kunna förklara den mindre distinkta kraterkanten i NÖ. En potentiell pre-impaktfaktor skulle kunna vara att målberggrunden på nordöstra och sydvästra delen skiljer sig åt. Skillnaden i målberggrund skulle kunnat ge olika erosionsbeständighet i den norra och södra kraterkanten.

I Goudge et al. (2015) syns det en skillnad mellan den sydvästra och östra/nordöstra Noachian Basement (kraterns målberggrund) utanför Jezero. Scheller & Ehlmann (2020) menar att skillnaden mellan de Noachiska enheterna i Goudge et al. (2015) beror på morfologiska egenskaper och att de båda enheterna Goudge karterat är den Noachiska enheten Mixed Lithology Plains Unit. Mixed Lithology Plains Unit:s ursprung är oklart men det föreslås att enheten är avsatt efter Isidisbassängens bildning (Scheller & Ehlmann, 2020). Detta betyder att Mixed Lithology Plains Unit överlagrar tektoniskt påverkad berggrund.

Om Mixed Lithology Plains Unit är av exempelvis sedimentärt ursprung bör, enligt mig, en kraterkant upplyft i denna bli mindre erosionsbeständig än en kraterkant upplyft i en kristallin berggrund. Om området runt Jezerokratern dessutom är tektoniskt påverkat kan sedimentmängd vara olika för olika delar av området. Skulle Jezeros nedslag vara i ett område där sedimentmängden varierar skulle detta troligen leda till att Jezerokraterns kraterkant varierar i komposition och erosionsbeständighet. Figur 14 visar hur denna mekanism hade kunnat se ut.

Ett potentiellt bevis för mekanismen i figur 14 är att Megabreccian, som tros ligga direkt ovanpå den tektoniskt påverkade Noachiska berggrunden, enbart är identifierad i den sydvästra kraterkanten (Scheller & Ehlmann, 2020). Detta skulle kunna betyda att den södra kraterkanten består av berggrund som ligger stratigrafiskt under den berggrund som är upplyft i norra delen. Att megabreccian enbart är identifierad i södra kraterkanten skulle också kunna bero på att den norra delen påverkats av mer erosion och/eller sedimentöverlagring.

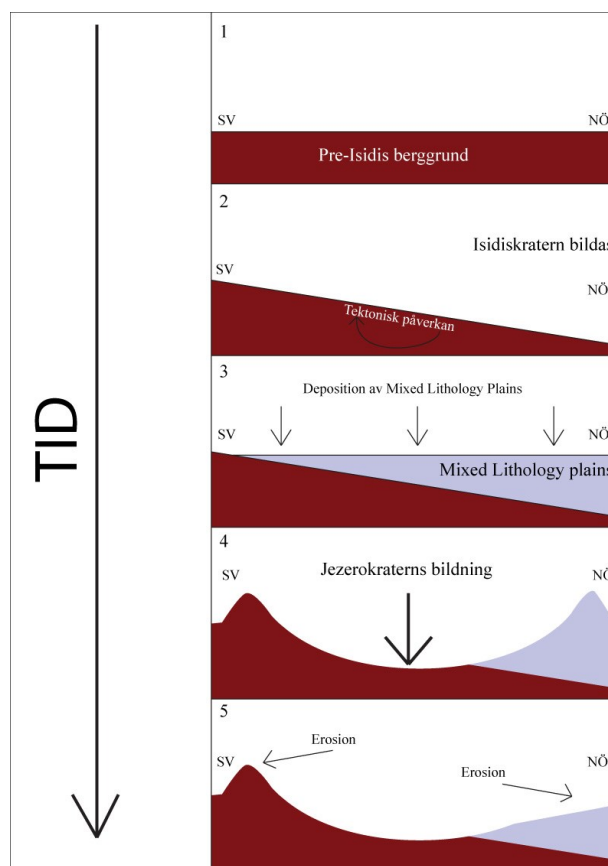
Ett annat potentiellt bevis är att Noachiska bottenenheter identifierats utanför sydvästra delen av kratern (Scheller & Ehlmann, 2020). Dock är de Noachiska bottenenheter bara karterade sydväst om kratern vilket skulle kunna betyda att dessa enheter kan identifieras norr om kratern också.

En effekt av olika sedimentmängd i nedslagskraterns målberggrund bör också vara att kraterns form

inte blir helt cirkulär då ökad sedimentmängd gör att kraterns storlek blir större (Collins et al., 2008). Detta finns dock inga tydliga bevis för då Jezerokratern är relativt koncentrisk. Dock hade mer detaljerade studier förmodligen bringat klarhet i frågan.

Det bör noteras att kraterkantens erosionsbeständighet på grund av olika målberggrund är ett relativt outforskat område på Mars (Bamber et al., 2022) och mer forskning om detta behöver göras.

Det finns en möjlighet för att mekanismen bakom den oliktopografiskt distinkta kraterkanten är en pre-impaktfaktor. Pre-impaktfaktorn, som skulle gett kraterkanten olika sammansättning, har gjort kraterkanten olika beständig mot erosion. Dock baseras denna teori på antagandet att den nordöstra kraterkanten har gått



Figur 14: Figuren visar en potentiell mekanism som skulle kunna leda till olika erosionsbeständig kraterkant över tid (tidslinje till vänster i bilden). NV och SV i figuren står för de topografimorfologiska enheterna. **Ruta 1.** Visar en pre-Isidis kristallin berggrund som är en av de nedersta stratigrafiska enheterna i Noachian Basement Group (Scheller & Ehlmann, 2020). **Ruta 2.** Visar hur berggrunden går igenom tektonisk påverkan (som gör att berggrunden stupar mot nordöst) till följd av Isidisbassängens bildning. **Ruta 3.** Visar hur Mixed Lithology Plains Unit avsätts ovanpå den sluttande berggrunden (Scheller & Ehlmann, 2020) vilket gör att Mixed Lithology Plains Unit får olika mängd i området. **Ruta 4.** Visar hur Jezerokraterns impakt lyfter upp en kraterkant med olika lithologier till följd av den varierande sedimentmängden. **Ruta 5.** Visar hur kraterkanten utsätts för erosion som kraterkanten i NÖ inte är lika beständig emot som den i SV (som består av upplyft kristallin berggrund). Bilden är inte skalenlig.

igenom relativt lik mängd upplyftning som den sydvästra.

5.2.2 Kraterkantsupplyftning

Olika omfattande kraterkantsupplyftning skulle potentiellt kunna leda till en olik topografiskt distinkt kraterkant.

Kc:s form i NÖ ser ut att vara relativt koncentrisk och dess placering samt svaga upphöjning indikerar att den potentiellt följer den forna kraterkantens form. Detta skulle då vara den enda större enheten i den norra delen som är associerad med kraterkanten. Enheten Platåig Berghäll (NÖ-PB) (figur 7 och tabell 3) skulle potentiellt kunna vara delar av den norra kraterkanten men att den idag skulle vara så pass eroderad att den bara är exponerad i några få berghällar. Jämfört med NV-Sc:s relativt breda utbredning (5km) skulle NÖ-PB:s placering i förhållande till Kc vara kompatibel med att det är en del av kraterkanten då den befinner sig inom 5km från Kc. Detta skulle eventuellt kunna vara bevis för att kraterkanten i norra delen genomgått liknande mycket upplyftning som den sydvästra med antagandet att Kc:s form är samma som kraterkantens.

NÖ-PB har karterats av (Goudge et al., 2015) och tolkats som en del av Dusty massive basement (Noachian basement) vilket inte är kompatibelt med NÖ-PB som en del av kraterkanten. Goudge et al. (2015) har dessutom identifierat en enhet som är en del av norra kraterkanten en bit in i kratern. Samma enhet noterades i Tabell 4 som en potentiell del av NÖ-PB vilket bör tas i beaktning då det kan betyda att det är samma enhet, till skillnad från den uppdelning som gjordes av Goudge et al. (2015).

Vid jämförelse med karteringen gjord av Scheller och Ehlmann (2020) av de Noachiska enheterna i nordvästra Isidis skulle potentiellt LCP-Plateaus Unit kunna vara samma enhet som NÖ-PB. Detta skulle inte vara kompatibelt med NÖ-PB som en del av kraterkanten då LCP-Plateaus Unit är en regional enhet (Scheller & Ehlmann, 2020).

Det finns en möjlighet till att NÖ-PB är en del av kraterkanten vilket kan vara bevis för att kraterkantsupplyftningen i NÖ varit lika omfattande som i SV. Att enheten liknar LCP-Plateaus Unit (Scheller & Ehlmann, 2020), som förekommer i regional skala, är inte kompatibelt med att enheten är en del av Jezerokraterns kant. Det kan dock inte uteslutas att de är samma enhet.

5.2.3 Kraterkantserosion

Utbredningen för NÖ-Lt är inte begränsad utav den forna kraterkantens utbredning, med antagandet att Kc följer denna, utan enheten hittas både innanför, utanför och jämsides vilket är något som inte hittas någon annanstans runt kraterkanten. Detta betyder att NÖ-Lt är avsatt i en process som uppstått både innanför och utanför kraterkanten.

NÖ-Lt går igenom kraterkanten på en plats vilket skulle kunna indikera att NÖ-Lt är avsatt i en process där det flödar utifrån och in i kratern, potentiellt en

akvatisk process. Jag föreslår att platsen där NÖ-Lt penetrerar kraterkanten (figur 7) är en forna inflödesdal, bildad innan det norra och den västra inflödet. Denna inflödesdal blev inaktiv i samband med att det norra inflödet bildades då vattenflödet koncentrerades dit istället. Potentiellt har vattnet en gång flödat längs med norra kraterkantens utsida och efter tid eroderat sig in i kraterkanten där den var mindre beständig mot erosion. Erosionen skulle till exempel kunna ha skett genom grundvattensdriven "drainage head erosion" (figur 5C). Detta skulle förklara varför den norra kraterkanten utstått en högre grad av erosion än övriga. Mekanismen illustreras i figur 15.

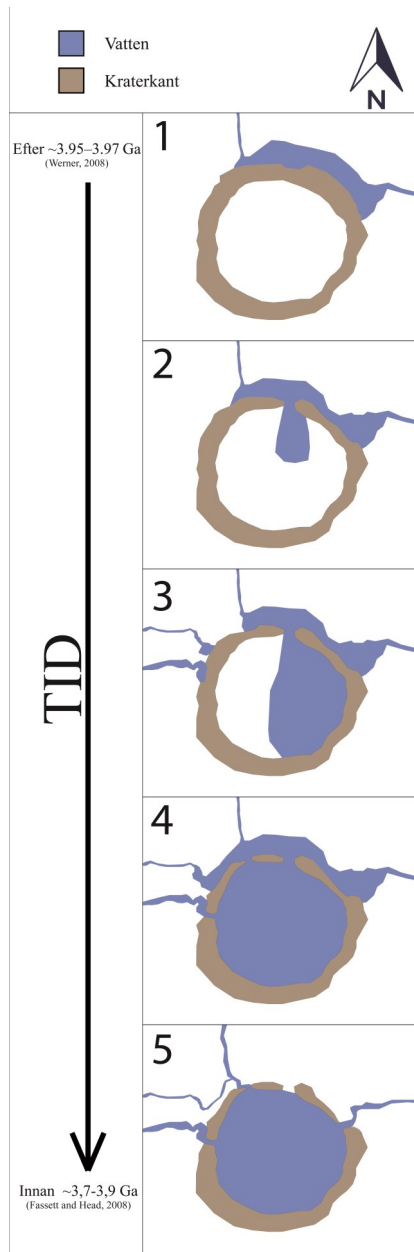
Kc är enbart identifierat där figur 15 visar att det funnits vatten, inte ovanpå de högre stående delarna av kraterkanten. Enheten MT, som Kc är en del av, visar spektrala indikationer för att ha genomgått vattenrelaterad omvandling runt och på den norra kraterkanten (Horgan et al., 2020). Sammantaget tyder denna observation på att MT i och runt Jezerokratern är en akvatiskt avsatt enhet. Potentiellt har vattennivån varit så pass hög att den dräckt kraterkanten i NÖ, kanske under ett liknande stadie som presenteras i ruta 4 i figur 15. Att Kc i NV skulle vara akvatiskt avsatt är dock svårt att förklara, kanske är detta på grund av ännu en topografisk bassäng placerad där det mindre flödet rinner innan den rinner samman med det norra inflödet illustrerat i ruta 4, figur 15. Modellen kan tyckas spekulativ, men behöver testas ytterligare innan den kan förkastas helt.

Teorin illustrerad i figur 15 skulle förklara varför NÖ-Lt är avsatt innanför, utanför och jämsides den forna kraterkanten. I Bamber et al. (2022) föreslås en potentiell topografisk bassäng norr om kratern som bidragit till att erodera den norra kraterkanten. Möjligtvis har bassängen som Bamber et al. (2022) föreslagit bara varit en del av flödet som sammanbundits med utflödet (figur 15). Det som talar emot Bamber et al. (2022) förklaringsmodell är att en liknande grad av erosion skulle förväntas vid kraterns västra inflöde. Dock, om modellen som presenteras i figur 15 stämmer i stora drag bör NÖ ha påverkats av fluvial erosion under en längre tid än den västra delen av kraterkanten. Detta hade kunnat leda till att den norra kraterkanten skulle blivit mer eroderad än kraterkanten i sydväst.

5.3 JM, potentiella mekanismer bakom den enhetliga slutningen

JM enheten introducerades i andra indelningen då dess topografi skiljde sig så pass starkt från övriga kraterkantens. Dess topografi var tydligt karakteriserad av en relativt konstant slutning från Jezero Mons ner till Jezerokraterns golv. Jezero Mons har föreslagits vara en vulkan som potentiellt skulle kunna vara ursprunget till de vulkaniska enheterna i Jezerokratern (Alwmark et al., 2023; Bell et al., 2022).

Topografin sluttar med relativt enhetlig vinkel från Jezero Mons ner till JM-L:s angränsning mot kratergolvet (figur 7) vilket skulle kunna indikera att det har skett en massrörelse (skred eller ras). Denna teori skulle kunna testas genom att se vinkeln på slutningen.



Figur 15: Figuren visar en potentiell erosionsmekanism som skulle förklara varför den norra kraterkanten är mindre distinkt än övriga. Tidslinjen till vänster är baserad på Isidisbassängens bildning (Werner, 2008) och när den fluvi-ala aktiviteten i Jezerokratern avtog (Fassett & Head, 2008). I rutorna 1 – 4 illustreras bassängen som nämns i Bamber et al. (2022). **Ruta 1.** Visar hur den norra floden transporterar vatten till den potentiella bassängen placerad längs Jezerokraterns norra kraterkant. **Ruta 2.** Illustrerar hur det första inflödet i Jezerokratern bildas, öster om det norra inflödets senare placering. **Ruta 3.** Visar hur Jezerokratern fylls till en stängd-bassängfas, potentiellt en av Jezerokraterns relativt utforskade tidiga lakustrina perioder nämnt i Annex & Ehlmann (2024). Ruta 3 visar dessutom hur den västra floden bildas och börjar erodera sig in i kraterkanten. **Ruta 4.** Illustrerar hur det norra och västra inflödet bildas relativt omgående efter varandra, detta baserat på att det västra och norra delat anses vara av liknande ålder (Goudge et al., 2015). **Ruta 5.** Illustrerar hur Jezerokraterns utflöde bildas samt den lakustrina period där de föreslagna delatana bildades. Denna illustration visar enbart det föreslagna konceptet och är inte skalendig.

Vinkeln i slutningen skulle kunna indikera om massrörelsen skett genom ett ras då den bör ligga i närheten av en rasvinkel. Rasvinklar varierar med storlek och form på sedimentklasterna men är inte beroende av tyngdaccelerationen när det kommer till jorden och Mars (Atwood-Stone & McEwen, 2013).

Lutningen över JM ligger runt 8 grader (ekvation 1) vilket inte stämmer överens med rasvinkel för de flesta icke kohesiva sediment som vanligtvis ligger över 30 grader.

Analys över skred i Valles Marineris på Mars (Brunetti et al., 2014) visar att skillnaden i ursprunglig lutning före och efter skred i Valles Marineris karakteriseras av en minskning på över 10 grader och den slutgiltiga medellutningen över skredet låg runt 11 grader (standardavvikelse på 9 grader).

Formen där massrörelsen tros ha sitt ursprung i Jezero är relativt lik de skred som karterats i Valles Marineris (figur 12; Brunetti et al., 2014). Medellutningen in mot Jezerokratern från Jezero Mons är runt 8 grader vilket stämmer överens med medellutningen på skreden i Valles Marineris. Vid jämförelse med lutningen i SV:s mer distinkta kraterkant, som potentiellt kan ha haft samma lutning som JM:s ursprungliga kraterkant, så har denna en lutning på runt 18 grader (ekvation 2). Detta stämmer överens med slutsatsen i Brunetti et al. (2014) där minskningen på lutning efter ett skred på Mars är mer än 10 grader. Detta skulle kunna tyda på att kraterkanten genomgått omfattande modifiering till följd av ett skred. Denna potentiella process illustreras i figur 16.

En annan möjlig förklaringsmodell till JM:s enhetliga lutning skulle kunna vara att lavaflöden täckt över kraterkanten. Ett lavaflöde skulle kunna vara ursprunget till den vågiga strukturen funnen i Knoppig terräng (JM-L), kompatibelt med Jezero Mons som en vulkan. JM-L representerar potentiellt en Coulée (Hughes, 2015). Vid närmare studie av den vågiga strukturen i JM-L (figur 17) så överensstämmer denna relativt bra med "pressure ridges", möjligtvis "ogives" (Hughes, 2015).

Jag föreslår att den enhetliga slutningen i JM beror på ett skred som överlagrat kraterkanten som över tid har täckts med lavaflöden. Viktigt att notera är att jag inte tror att Jezero Mons är bildad efter Jezerokratern. Anledningen till detta är att Jezero Mons bildning relativt till Jezerokratern inte nämnts i litteratur läst inför denna studie vilket gör denna möjlighet mindre trolig. Dock behöver detta studeras i mer detalj.

$$1000m \div 7500m = 0,133 \dots$$

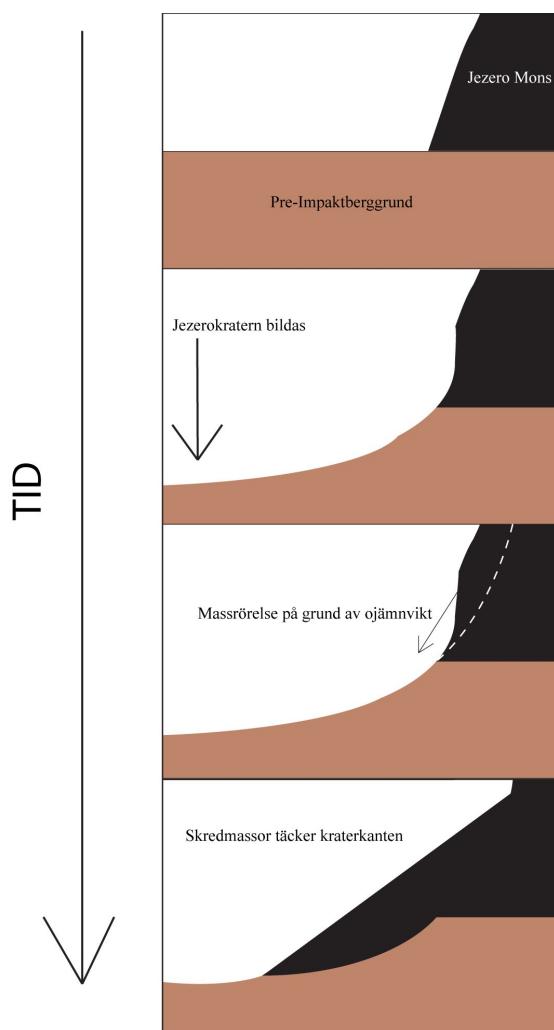
$$\sin^{-1}(0,133 \dots) = 7,6^\circ$$

Ekvation 1: Ekvationen använder värden hämtade i figur 12 och räknar ut den ungefärliga vinkeln som JM lutar med.

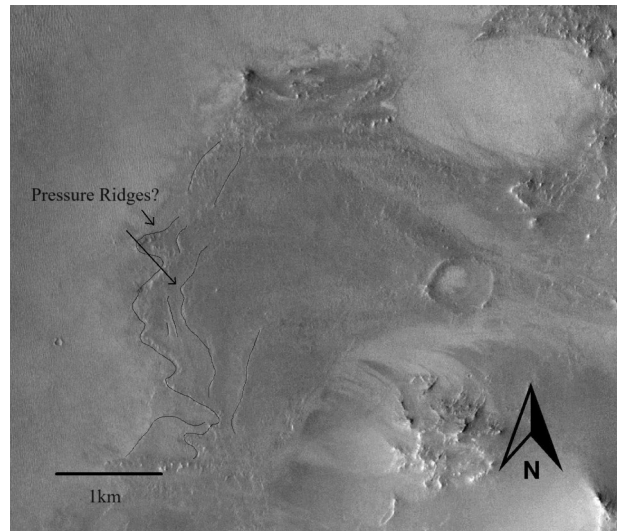
$$2250m \div 7000m = 0,311 \dots$$

$$\sin^{-1}(0,311 \dots) = 18,1^\circ$$

Ekvation 2: Ekvationen använder värden hämtade från figur 11 och räknar den ungefärliga vinkeln som SV:s mer distinkta kraterkant lutar med.



Figur 16: Figuren illustrerar en mekanism bakom den odefinierbara kraterkanten i JM där kraterkanten mot Jezero mons blivit överlagrad av skredmassor. Den översta rutan visar hur området tros ha sett ut innan Jezerokraterns nedslag. Andra rutan visar hur Jezerokratern bildas och hur Jezero mons blir en del utav kraterkanten. Den tredje rutan visar en linje för skredets "glidyta". Fjärde rutan visar hur kraterkanten blivit överlagrad av skredmassor från Jezero Mons. Bilden är ej skalendig.



Figur 17: Figuren visar en närbild från Len knoppig terrängs (JM-L) angränsning in mot kratergolvet. I figuren är potentiella "pressure ridges" markerade. Figuren är skapad med Jmars (NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).

5.4 Potentiella nedslagsstrukturer

I karteringen har det gjorts ett flertal observationer av potentiella nedslagsstrukturer som kan vara intressanta för förståelsen av kraterkantens geologi.

SV-Ki, SV-Si och SÖ-Si placering relativt kraterkanten (figur 7) samt textur är väldigt liknande vilket ger intrycket att dessa skulle vara bildade i samma process. Enheternas placering i förhållande till kraterkanten antyder att dessa är någon typ av nedslagsstruktur bildade i kraterkollapsen

SV-Ki sticker dock ut en del från de andra enheterna då den besitter ett flertal större knoppar. Detta skulle potentiellt kunna bero på att den över tid blivit överlagrad med finare sediment och att knopparna är den exponerade bergiga/skrovliga ytan som SV-Si och SÖ-Si besitter. En liknande struktur som inte karterades kan observeras i mitten av SV innanför kraterkanten som troligen härstammar ur samma process.

Ryggarna i SÖ-Si är svåra att förklara. Potentiellt är dessa bildade till följd av den mindre nedslagskratern som ligger öster om enheten möjligtvis i form av återaktiverade förkastningar.

Den norra delen av NV-Sc består av två bergsryggar, en yttre och en inre, där den yttre har en riktning som följer kraterkantens och den inre riktas svagt emot kraterkantens form. Den inre bergsryggen kan potentiellt vara en lateral thrust ramp (Kenkmann et al., 2014).

I NÖ har det inte identifierats någon nedslagsstruktur i karteringsområdet, dock finns det en berghäll inuti kratern i närheten av NÖ som nämns i tabell 3 som en potentiell del av NÖ-PB. Dessutom har (Goudge et al., 2015) karterat berghällerna som en del av kraterkanten.

Potentiella nedslagsstrukturer har identifierats men mestadels i den sydvästra delen av kratern vilket bör noteras. Anledningen till detta kan vara att den norra delens nedslagsstrukturer varit mindre erosionsbeständiga (se 5.2.1), att sedimentdepositionen i norra delen varit mer omfattande eller att av någon anledning har

det inte bildats lika många nedslagsstrukturer i norra delen. Mekanismerna som styr mängden nedslagstrukturer kan jag inte hitta någon information om men om detta är en förklaring på ovanstående problem så beror det troligen på någon pre-impakt faktor.

6.0 Slutsats

Denna geomorfologiska studie av Jezerokraterns kant har gett ett flertal potentiella förklaringar till vilka mekanismer som ligger bakom kraterkantens nuvarande utseende. I studien gjordes tre indelningar av kraterkantens enheter varav två av dessa resulterade i en geologisk karta. I den andra indelningen identifierades fem enheter baserade på topografisk morfologi; SV, NV, NÖ, SÖ och JM. I den tredje indelningen kunde 19 enheter associerade med kraterkanten identifieras dessa baserade på textur och topografisk morfologi.

Den norra kraterkanten delades in i den topografiskt-morfologiska enheten NÖ och karakteriseras av en svagt lutande topografi utifrån och in i kratern samt en icke-distinkt kraterkant. Utifrån data i denna studie hittades bevis för pre-impaktfaktorer, alltså faktorer som har med målberggrundens egenskaper att göra, och en större mängd erosion för att förklara dess topografiska karaktär. Inga bevis för att kraterkantsupplyftningen skulle varit mindre omfattande i NÖ jämfört med mer distinkta delar av kraterkanten identifierades. Istället så pekar resultatet på att kraterkantsupplyftningen i NÖ var av liknande omfattning som den högre stående kraterkanten i sydväst. Dock behöver detta studeras vidare innan det kan uteslutas.

Jag föreslår att NÖ:s mindre topografiskt distinkta utseende beror på en kombination av en pre-impaktfaktor, som lett till att kraterkanten i NÖ fått mindre erosionsbeständighet, samt att NÖ:s kraterkant utstått en högre grad av fluvial erosion. Pre-impaktfaktorn som föreslås är att sedimentmäktigheten har varierat för Jezerokraterns målberggrund vilket har gjort kraterkanten i NÖ mindre erosionsbeständig med graduellt mer erosionsbeständig kraterkant mot de sydvästra delarna. I denna kombination av mekanismer tros pre-impaktfaktorn varit mer drivande.

I den andra indelningen av kraterkanten identifierades den topografiskt morfologiska enheten JM vid berget Jezero Mons rot, en föreslagen forna vulkan.

JM karakteriseras utav en enhetlig sluttning från bergets topp ner till kratergolvet med en icke identifierbar kraterkant. Den enhetliga sluttningen föreslås vara på grund av en massrörelse i form av ett skred som täckt kraterkanten. Det identifierades dessutom ett flertal indikationer på lavaflöden i JM vilket vidare bekräftar den tidigare hypotesen om Jezero Mons som en vulkan. Troligtvis är kraterkantens överlagring resultatet både skred och lavaflöden.

Det identifierades också ett flertal potentiella nedslagsstrukturer på insidan av kraterkanten i de södra delarna av kraterkanten. Dock behövs det fler studier för att förstå dessa strukturers ursprung.

7.0 Tackord

Jag vill tacka min handledare Sanna Alwmark för möjligheten att få göra ett arbete om detta högaktuella ämne inom planetär geovetenskap. Hennes engagemang, uppmuntran och vägledning till det vetenskapliga och kreativa tänkandet som krävts för detta arbete har varit av betydande hjälp.

8.0 Referenser

- Alwmark, S., Horgan, B., Udry, A., Bechtold, A., Fagents, S., Ravanis, E., Crumpler, L., Schmitz, N., Cloutis, E., Brown, A., Flannery, D., Gasnault, O., Grotzinger, J., Gupta, S., Kah, L., Kelemen, P., Kinch, K., & Núñez, J. (2023). Diverse Lava Flow Morphologies in the Stratigraphy of the Jezero Crater Floor. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 128(7), Article e2022JE007446. <https://doi.org/10.1029/2022je007446>
- Annex, A. M., & Ehlmann, B. L. (2024). Elevation Anomalies of the Volcanic Floor Unit and Their Relationships to the Multiple Lakes of Jezero Crater, Mars [Article]. *Geophysical Research Letters*, 51(6). <https://doi.org/10.1029/2023GL108069>
- Atwood-Stone, C., & McEwen, A. S. (2013). Avalanche slope angles in low-gravity environments from active Martian sand dunes. *Geophysical Research Letters*, 40(12), 2929-2934. <https://doi.org/10.1002/grl.50586>
- Bamber, E. R., Goudge, T. A., Fassett, C. I., & Osinski, G. R. (2022). Constraining the formation of paleolake inlet valleys across crater rims [Article]. *Icarus*, 378, Article 114945. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.114945>
- Bell, J. F., Maki, J. N., Alwmark, S., Ehlmann, B. L., Fagents, S. A., Grotzinger, J. P., Gupta, S., Hayes, A., Herkenhoff, K. E., Horgan, B. H. N., Johnson, J. R., Kinch, K. B., Lemmon, M. T., Madsen, M. B., Nunez, J. I., Paar, G., Rice, M., Rice, J. W., Schmitz, N., . . . Yingling, R. (2022). Geological, multispectral, and meteorological imaging results from the Mars 2020 Perseverance rover in Jezero crater. *Science Advances*, 8(47), Article eabo4856. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abo4856>
- Burke, K., Steinberger, B., Torsvik, T. H., Werner, S. C., & Wilkinson, J. (2012, April 01, 2012). Why are the Geoid and the Areoid so similar? EGU General Assembly Conference Abstracts, Vienna, Austria. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012EGUGA..1414126B>
- Brunetti, M. T., Guzzetti, F., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Mancinelli, P., Komatsu, G., & Borselli, L. (2014). Analysis of a new geomorphological inventory of landslides in Valles Marineris, Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 405, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.08.025>
- Christensen, P. R. E., E. ; Anwar, S. ; Dickenshied, S. ; Noss, D. ; Gorelick, N. ; Weiss-Malik, M. (2009). *JMARS - A Planetary GIS*.

- American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, abstract id.IN22A-06.
- Collins, G. S., Kenkmann, T., Osinski, G. R., & Wünnemann, K. (2008). Mid-sized complex crater formation in mixed crystalline-sedimentary targets: Insight from modeling and observation. *Meteoritics & Planetary Science*, 43 (12), 1955-1977. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2008.tb00655.x>
- Cousins, C. R., & Crawford, I. A. (2011). Volcano-Ice Interaction as a Microbial Habitat on Earth and Mars. *Astrobiology*, 11(7), 695-710. <https://doi.org/10.1089/ast.2010.0550>
- Farley, K. A., Stack, K. M., Shuster, D. L., Horgan, B. H. N., Hurowitz, J. A., Tarnas, J. D., Simon, J. I., Sun, V. Z., Scheller, E. L., Moore, K. R., McLennan, S. M., Vasconcelos, P. M., Wiens, R. C., Treiman, A. H., Mayhew, L. E., Beyssac, O., Kizovski, T. V., Tosca, N. J., Williford, K. H., . . . Zorzano, M. P. (2022). Aqueously altered igneous rocks sampled on the floor of Jezero crater, Mars. *Science*, 377 (6614), 1512+, Article eabo2196. <https://doi.org/10.1126/science.abo2196>
- Farley, K. A., Williford, K. H., Stack, K. M., Bhartia, R., Chen, A., de la Torre, M., Hand, K., Goreva, Y., Herd, C. D. K., Hueso, R., Liu, Y., Maki, J. N., Martinez, G., Moeller, R. C., Nelessen, A., Newman, C. E., Nunes, D., Ponce, A., Spanovich, N., . . . Wiens, R. C. (2020). Mars 2020 Mission Overview [Review Paper]. *Space Science Reviews*, 216 (8). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00762-y>
- Fassett, C. I., & Head, J. W., III. (2008). The timing of martian valley network activity: Constraints from buffered crater counting [Article]. *Icarus*, 195(1), 61-89. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2007.12.009>
- French, B. M. (1998). *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite* (Vol. 1). Lunar and Planetary Institute.
- Goudge, T. A., Mustard, J. F., Head, J. W., Fassett, C. I., & Wiseman, S. M. (2015). Assessing the mineralogy of the watershed and fan deposits of the Jezero crater paleolake system, Mars [Article]. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 120(4), 775-808. <https://doi.org/10.1002/2014je004782>
- Holm-Alwmark, S., Kinch, K. M., Hansen, M. D., Shahrzad, S., Svennevig, K., Abbey, W. J., Anderson, R. B., Calef, F. J., Gupta, S., Hauber, E., Horgan, B. H. N., Kah, L. C., Knade, J., Miklusick, N. B., Stack, K. M., Sun, V. Z., Tarnas, J. D., & Quantin-Nataf, C. (2021). Stratigraphic Relationships in Jezero Crater, Mars: Constraints on the Timing of Fluvial-Lacustrine Activity From Orbital Observations. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 126(7), Article e2021JE006840. <https://doi.org/10.1029/2021je006840>
- Horgan, B. H. N., Anderson, R. B., Dromart, G., Amador, E. S., & Rice, M. S. (2020). The mineral diversity of Jezero crater: Evidence for possible lacustrine carbonates on Mars [Article]. *Icarus*, 339, Article 113526. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113526>
- Hughes, S.S., Hargitai, H., Kereszturi, Á. (2015). Encyclopedia of Planetary Landforms. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3134-3_523
- Kenkmann, T., Poelchau, M. H., & Wulf, G. (2014). Structural geology of impact craters. *Journal of Structural Geology*, 62, 156-182. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.01.015>
- Mangold, N., Gupta, S., Gasnault, O., Dromart, G., Tarnas, J. D., Sholes, S. F., Horgan, B., Quantin-Nataf, C., Brown, A. J., Le Mouélic, S., Yingst, R. A., Bell, J. F., Beyssac, O., Bosak, T., Calef, F., Ehlmann, B. L., Farley, K. A., Grotzinger, J. P., Hickman-Lewis, K., . . . Williford, K. H. (2021). Perseverance rover reveals an ancient delta-lake system and flood deposits at Jezero crater, Mars. *Science*, 374 (6568), 711-717. <https://doi.org/10.1126/science.abl4051>
- Paige, D. A., Hamran, S. E., Amundsen, H. E. F., Berger, T., Russell, P., Kakaria, R., Mellon, M. T., Eide, S., Carter, L. M., Casademont, T. M., Nunes, D. C., Shoemaker, E. S., Plettemeier, D., Dypvik, H., Holm-Alwmark, S., & Horgan, B. H. N. (2024). Ground penetrating radar observations of the contact between the western delta and the crater floor of Jezero crater, Mars. *Science Advances*, 10(4), Article eadi8339. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adi8339>
- Salese, F., Kleinhans, M. G., Mangold, N., Ansan, V., McMahon, W., de Haas, T., & Dromart, G. (2020). Estimated Minimum Life Span of the Jezero Fluvial Delta (Mars) [Article]. *Astrobiology*, 20(8), 977-993. <https://doi.org/10.1089/ast.2020.2228>
- Scheller, E. L., & Ehlmann, B. L. (2020). Composition, Stratigraphy, and Geological History of the Noachian Basement Surrounding the Isidis Impact Basin [Article]. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 125(7), Article e2019JE006190. <https://doi.org/10.1029/2019je006190>
- Schon, S. C., Head, J. W., & Fassett, C. I. (2012). An overfilled lacustrine system and progradational delta in Jezero crater, Mars: Implications for Noachian climate. *Planetary and Space Science*, 67(1), 28-45. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2012.02.003>
- Stack, K. M., Williams, N. R., Calef, F., Sun, V. Z., Williford, K. H., Farley, K. A., Eide, S., Flannery, D., Hughes, C., Jacob, S. R., Kah, L. C., Meyen, F., Molina, A., Nataf, C. Q., Rice, M., Russell, P., Scheller, E., Seeger, C. H., Abbey, W. J., . . . Yingst, R. A. (2020). Photogeologic Map of the Perseverance Rover Field Site in Jezero Crater Constructed by the Mars 2020 Science Team. *Space Science Reviews*, 216(8), Article 127. <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00739-x>
- Sturm, S., Kenkmann, T., & Hergarten, S. (2016). Ejecta thickness and structural rim uplift

- measurements of Martian impact craters: Implications for the rim formation of complex impact craters. *Journal of Geophysical Research-Planets*, 121(6), 1026-1053. <https://doi.org/10.1002/2015je004959>
- Werner, S. C. (2008). The early martian evolution - Constraints from basin formation ages. *Icarus*, 195(1), 45-60. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2007.12.008>
- Wichman, R. W., & Schultz, P. H. (1989). SEQUENCE AND MECHANISMS OF DEFORMATION AROUND THE HELLAS AND ISIDIS IMPACT BASINS ON MARS [Article]. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets*, 94(B12), 17333-17357. <https://doi.org/10.1029/JB094iB12p17333>

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

637. Funck, Pontus, 2022: Granens ankomst och etablering i Skandinavien under post-glacial tid. (15 hp)
638. Brotzen, Olga M., 2022: Geologiska besöksmål och geoparker som plattform för popularisering av geovetenskap. (15 hp)
639. Lodi, Giulia, 2022: A study of carbon, nitrogen, and biogenic silica concentrations in *Cyperus papyrus*, the sedge dominating the permanent swamp of the Okavango Delta, Botswana, Africa. (45 hp)
640. Nilsson, Sebastian, 2022: PFAS- En sammanfattning av ny forskning, med ett fokus på föroreningskällor, provtagning, analysmetoder och saneringsmetoder. (15 hp)
641. Jägfeldt, Hans, 2022: Molnens påverkan på jordens strålningsbalans och klimatsystem. (15 hp)
642. Sundberg, Melissa, 2022: Paleontologiska egenskaper och syreisotopsutveckling i borrhälskärnan Limhamn-2018: Kopplingar till klimatförändringar under yngre krita. (15 hp)
643. Bjeremo, Tim, 2022: A re-investigation of hummocky moraine formed from ice sheet decay using geomorphological and sedimentological evidence in the Vomb area, southern Sweden. (45 hp)
644. Halvarsson, Ellinor, 2022: Structural investigation of ductile deformations across the Frontal Wedge south of Lake Vättern, southern Sweden. (45 hp)
645. Brakebusch, Linus, 2022: Record of the end-Triassic mass extinction in shallow marine carbonates: the Lorüns section (Austria). (45 hp)
646. Wahlquist, Per, 2023: Stratigraphy and palaeoenvironment of the early Jurassic volcanoclastic strata at Djupadalsmälla, central Skåne, Sweden. (45 hp)
647. Gebremedhin, G. Gebreselassie, 2023: U-Pb geochronology of brittle deformation using LA-ICP-MS imaging on calcite veins. (45 hp)
648. Mroczek, Robert, 2023: Petrography of impactites from the Dellen impact structure, Sweden. (45 hp)
649. Gunnarsson, Niklas, 2023: Upper Ordovician stratigraphy of the Stora Sutarve core (Gotland, Sweden) and an assessment of the Hirnantian Isotope Carbon Excursion (HICE) in high-resolution. (45 hp)
650. Cordes, Beatrix, 2023: Vilken ny kunskap ger aDNA-analyser om vegetationsutvecklingen i Nordeuropa under och efter Weichsel-istiden? (15 hp)
651. Bonnevier Wallstedt, Ida, 2023: Palaeocolour, skin anatomy and taphonomy of a soft-tissue ichthyosaur (Reptilia, Ichthyopterygia) from the Toarcian (Lower Jurassic) of Luxembourg. (45 hp)
652. Kryffin, Isidora, 2023: Exceptionally preserved fish eyes from the Eocene Fur Formation of Denmark – implications for palaeobiology, palaeoecology and taphonomy. (45 hp)
653. Andersson, Jacob, 2023: Nedslagskratrars inverkan på Mars yt-datering. En undersökning av Mars främsta yt-dateringsmetod ”Crater Counting”. (15 hp)
654. Sundberg, Melissa, 2023: A study in ink – the morphology, taphonomy and phylogeny of squid-like cephalopods from the Jurassic Posidonia Shale of Germany and the first record of a loligosepiid gill. (45 hp)
655. Häggblom, Joanna, 2023: En patologisk sjöiljla från silur på Gotland, Sverige. (15 hp)
656. Bergström, Tim, 2023: Hur gammal är jordens inre kärna? (15 hp)
657. Bollmark, Viveka, 2023: Ca isotope, oceanic anoxic events and the calcareous nanoplankton. (15 hp)
658. Madsen, Ariella, 2023: Polycykliska aromatiska kolväten i Hanöbukstens kustnära sediment - En sedimentologisk undersökning av vikar i närhet av pappersbruk. (15 hp)
659. Wangritthikraikul, Kannika, 2023: Holocene Environmental History of Warming Land, Northern Greenland: a study based on lake sediments. (45 hp)
660. Kurop, Anna, 2023: Reconstruction of the glacier dynamics and Holocene chronology of retreat of Helagsglaciären in Central Sweden. (45 hp)
661. Frisendahl, Kajsa, 2023: Holocene environmental history of Washington Land, NW Greenland: a study based on lake sediments. (45 hp)
662. Ryan, Cathal, 2023: Luminescence dating of the late Quaternary loess-palaeosol sequence at Velika Vrbica, Serbia. (45 hp)
663. Lindow, Wilma, 2023: U-Pb datering av zirkon i metasediment tillhörande Stora Le-Marstrand, SV Sverige. (15 hp)
664. Bengtsson, Kaisa, 2023: Geologisk karaktärisering av den kambriska Faludden-sandstenen i Östersjön och dess lämplighet för koldioxidlagring. (15 hp)
665. Granbom, Johanna, 2023: Insights into simple crater formation: The Hummeln impact structure (Småland, Sweden). (45 hp)

666. Jonsson, Axel, 2023: Datering av vulkanen Rangitoto, Nya Zeeland, genom paleomagnetiska analysmetoder. (15 hp)
667. Muller, Elsa, 2023: Response of foraminifera *Ammonia confertitesta* (T6) to ocean acidification, warming, and Deoxygenation An experimental approach. (45 hp)
668. Struzynska, Patrycja, 2023: Petrography, geochemistry, and origin of deep magmatic cumulates in the Canary Islands – the xenolith record. (45 hp)
669. Krätzer, Tobias, 2023: Artificiella torskrev i Hanöbukten: Förstudie. (15 hp)
670. Khorshidian, Farid, 2023: 3D modelling and resistivity measurements for hydrogeological assessments in the northern part of Vombsänkan. (45 hp)
671. Sundberg, Oskar, 2023: Methodology for Stored Heat “Heat In Place” (HIP) assessment of geothermal aquifers – Exemplified by a study of the Arnager Greensand in SW Scania. (45 hp)
672. Haraldsson, Emil, 2023: Kan akademien hjälpa industrin utveckla mer robusta grundvattenmodeller? En studie av moderna Svenska industriframtagna grundvattenmodeller. (15 hp)
673. Barabas, Ricky, 2024: Kan chockmetamorfos i okonventionella mineral hjälpa till att identifiera nedslagskratrar? (15 hp)
674. Nilsson, Sebastian, 2024: The glaciotectonic evolution of Ven, Sweden: insights from a comprehensive structural, sedimentological, and geomorphological analysis. (45 hp)
675. Brotzen, Olga M., 2024: A new Lagerstätte-like fossil assemblage from the early Silurian of Mösseberg, Sweden. (45 hp)
676. Eng, Simon, 2024: Precursors to the South Atlantic Anomaly - Magnetic field variations in Lake Eilandvlei, South Africa. (45 hp)
677. Husén, Simon, 2024: Structural Geological Model of the Kaunisvaara Mining District, Norrbotten, Sweden. (45 hp)
678. Hjalmarsson, Tilda, 2024: Det underkambriska problematiska fossilet *Spatanopsis* - Vad är dess verkliga affinitet? (15 hp)
679. Kuberna, Marcos, 2024: En litteraturstudie om klorparaffiner i grundvattnet och dess implikationer på hälsa och miljö. (15 hp)
680. Persson, Viktor, 2024: Litteraturstudie: HIMU ursprung och framtid. (15 hp)
681. Selin, Sigrid, 2024: Hur kan paleoekologiska studier hjälpa oss att bättre förstå hur de ekosystem vi anser skyddsvärda har formats och hur de bör vårdas? (15 hp)
682. Rey, August, 2024: Isrörelser och havstransgressioner speglade i Kåsebergåsen. (15 hp)
683. von Vultée, Anton, 2024: Babets kvarlevor - En morfologisk och sedimentologisk undersökning av överspolningssediment vid Tobisvik, Simrishamn. (15 hp)
684. Olsson Roso, Céline, 2024: Fåglarnas ursprung och tidiga utveckling. (15 hp)
685. Nawrocki, Bartosz, 2024: Karakterisering av Cr-spinell i den ordoviciska Lokformationen vid Skultorps stenbrott, Billingen. (15 hp)
686. Rydh, Alexander, 2024: 10Be data från Antarktis och Grönland för att undersöka asymmetrier i jordens magnetfält över Laschamps exkursionen. (15 hp)
687. Svensson, Ludvig, 2024: Echoes of impact: A petrographic analysis and classification of impact breccias from Hummeln, Sweden. (15 hp)
688. Pålsson, Malin, 2024: Detektion av utsläppspolymer med avancerat ekolod – Undersökning av utsläpp av avloppsvatten från pappersbruk i havet med EK80, CTD & filmmaterial. (15hp)
689. Ivanovic, Edwin, 2024: Går det att se echinodermernas utveckling och diversifiering under ordovicium i tunnslip? (15 hp)
690. Blomvall, Marlene, 2024: Analys av morfologi, beteende och tafonomi hos ett exceptionellt bevarat fågelfossil från Furformationen (eocen), Danmark . (15 hp)
691. Elfström, Dari, 2024; Geomorfologisk studie av Jezerokraterns kant (Mars): Potentiella mekanismer bakom kraterkantens nuvarande utseende. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund