

# PM Viscaria nytt sandmagasin

## Genomströmnings- och stabilitetsberäkningar

<b>UPPDRAGSNUMMER</b> 3142102-200	<b>ANLÄGGNING</b> Viscaria	<b>DATUM</b> 2022-03-14
<b>UPPRÄTTAD AV</b> William Sjosten	<b>MOTTAGARE</b> Johan Taaveniku, Copperstone AB	<b>STATUS</b> SLUTVERSION
<b>PROJEKTLEDARE</b> Niklas Östberg	<b>TEKNISK GRANSKNING</b> Roger Knutsson	<b>GODKÄND AV</b> Niklas Östberg

### Sammanfattning

Copperstone Resources AB avser återuppta brytningen i Viscariagruvan. Anrikningssanden från den nya produktionen planeras att deponeras i ett nytt sandmagasin som upprättas väster om det befintliga sandmagasinet. I detta PM presenteras genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar för en bedömd kritisk tvärsektion i det nya sandmagasinet vid dess slutliga planerade höjd.

Syftet med genomströmningsberäkningarna har dels varit att få en uppfattning om läckaget genom dammen, dels att beräkna porvattentrycket i dammen och undergrunden som sedan används i släntstabilitetsberäkningarna. Olika materialparametrar på anrikningssandens och dammens stödfyllnings hydrauliska konduktivitet har undersökts i beräkningarna.

Syftet med släntstabilitetsberäkningarna har varit att säkerställa att dammen i det nya sandmagasinet uppnår erforderliga säkerhetsfaktorer i enlighet med gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet (GruvRIDAS). En preliminär utformning av dammen var vid studiens start framtagen av TCS. Utformningen av dammens tåsten har iterativt justerats utifrån resultaten från beräkningarna.

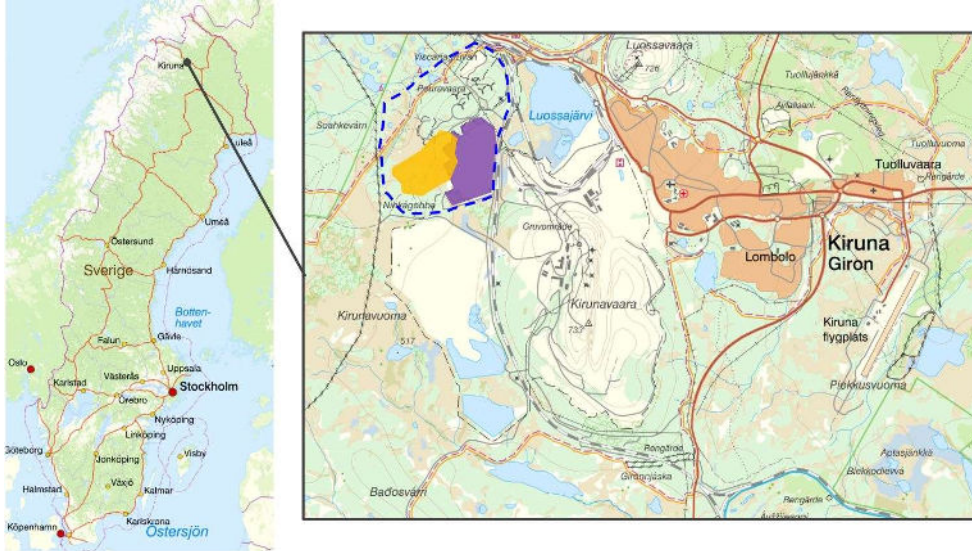
TAILINGS CONSULTANTS SCANDINAVIA AB

William Sjosten  
M.Sc. Eng Physics  
+46 (0) 706 – 022 103  
william.sjosten@tailings.se

Kungsgatan 37  
111 56 Stockholm  
SWEDEN  
www.tailings.se

## Inledning

Viscariagruvan ligger i Kiruna kommun, ca 5 km väster om staden och strax norr om LKAB:s industriområde (se Figur 1). Brytning och anrikning av främst koppar i området bedrevs i huvudsak mellan åren 1982 och 1997.



**Figur 1. Översikt över Viscariagruvans lokalisering. Det ungefärliga gruvområdet enligt markanvisningen är markerad med blå streckad linje. Befintligt sand- och klarningsmagasin ligger inom det lila området och det planerade nya sandmagasinet inom det gula området. Kartan är hämtad från Lantmäteriet [1].**

År 2018 köpte Copperstone Resources AB upp Viscariagruvan av den dåvarande ägaren Avalon Minerals/Sunstone Metals med avsikt att återuppta kopparbrytningen. Ett nytt sandmagasin för deponering av restprodukten från anrikningen, den så kallade anrikningssanden, har planerats strax väster om det befintliga sandmagasinet som användes vid tidigare gruvbrytning (se gult och lila område i Figur 1). Det nya sandmagasinet överlappar i viss utsträckning befintligt magasin.

## Syfte

Detta PM redovisar genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar för en bedömd kritisk tvärsektion av dammen i nytt sandmagasin i Viscaria vid dammens planerade sluthöjd. Flödet av vatten genom dammen har beräknats med olika uppsättningar av materialparametrar för anrikningssanden och dammens stödfyllning. Detta för att få en uppfattning om flödets storlek och hur stor påverkan osäkerheter i de två materialparametrarna har på flödet. I genomströmningsberäkningarna beräknas även porvattentrycket genom dammen och undergrunden, vilket används i släntstabilitetsberäkningarna.

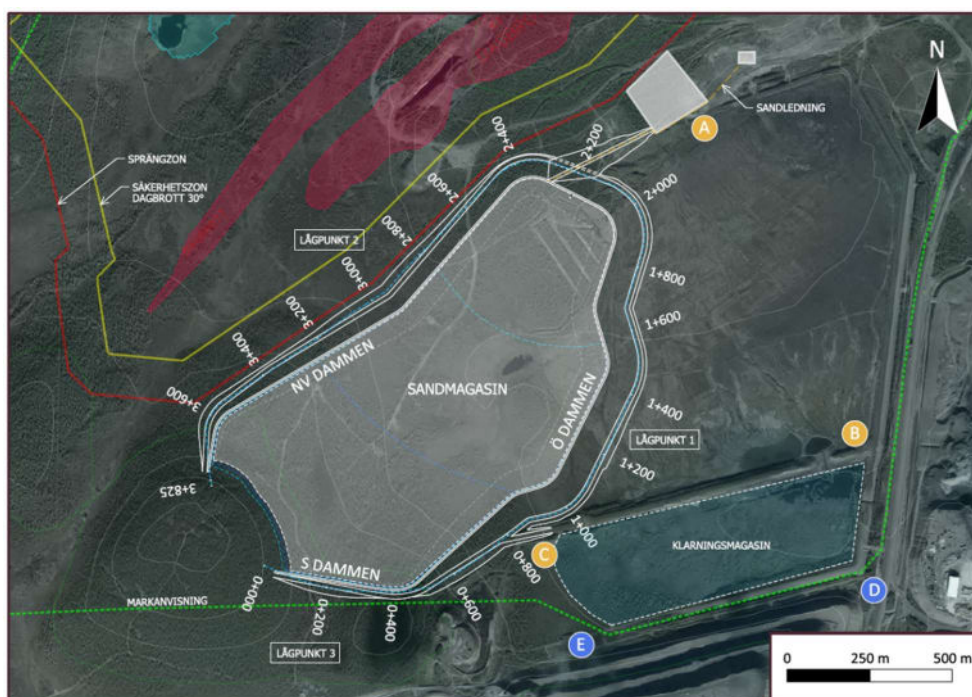
Syftet med släntstabilitetsberäkningarna har varit att säkerställa att dammens design uppfyller de rekommendationer på säkerhetsfaktor som anges i gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet (GruvRIDAS). De lastfall som har undersökts har varit i linje med vad som rekommenderas för en damm i föreslagen

dammsäkerhetsklass för det nya sandmagasinets dammar (dammsäkerhetsklass B).

Processen har i den här stabilitetsutredningen varit ett iterativt arbete, där utformningen av dammens tåsten har justerats med hänsyn till resultaten i genomförda släntstabilitetsberäkningar. Om en viss utformning har inneburit att erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås, så har utformningen justerats och nya genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar genomförts. Denna process har upprepats tills erforderlig säkerhetsfaktor uppnås. Sökt utformning på tåstena har även varit så att mängden dammbyggnadsmaterial minimeras.

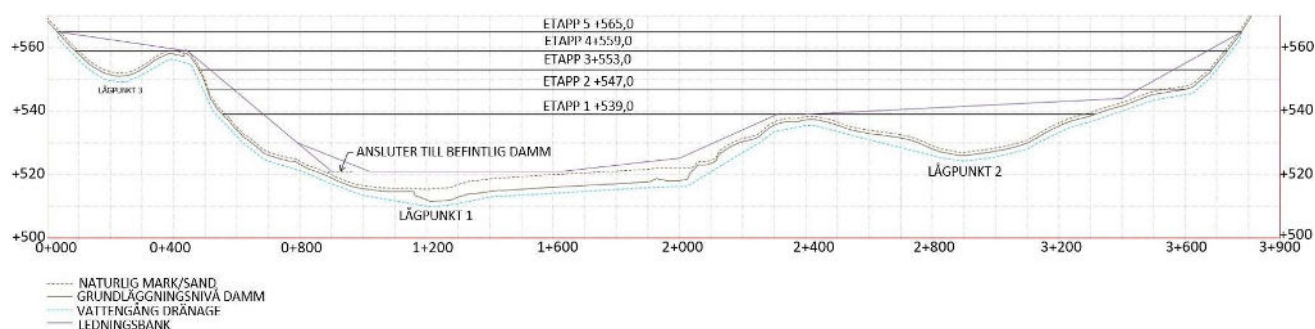
## Design nytt sandmagasin

Det nya sandmagasinet i Viscaria planeras anläggas strax väster om det befintliga sandmagasinet, se Figur 2. Planen är att deponera anrikningssanden i form av en slurry från magasinets norra del genom direktutsläpp. Sanden antas lägga sig med en lutning på 1:300 (V:H).



**Figur 2. Modell av planerat nytt sandmagasin.**

En höjdprofil längs det nya sandmagasinets dammar visas i Figur 3. Vid slutlig dammhöjd kommer dammen som högst vara 54 m vid sektion ca 1+200 (lågpunkt 1). Dammkrönet kommer vid den slutliga höjningen av dammen att ligga på höjdnivån +565.



**Figur 3. Höjdprofil längs det nya sandmagasinets dammar.**

Det befintliga klarningsmagasinet, vilken ligger sydost om det nya sandmagasinet (se Figur 2), planeras nyttjas av nytt sandmagasin. Beräkningar för klarningsmagasinet presenteras inte i detta PM, utan redovisas i [2].

## Höjdsystem

Höjdsystemet RH 2000 används för samtliga höjdangivelser i detta PM och i Bilaga 1.

## Säkerhetsfaktor

Kravet på erforderlig säkerhetsfaktor som TCS har bedömts som lämpliga står i enlighet med vad som anges i GruvRIDAS riktlinjer för fyllningsdammar, tillämpningsvägledning 7.2 [3]. De rekommenderade kraven som anges i GruvRIDAS presenteras i Tabell 1.

**Tabell 1. Krav på säkerhetsfaktor enligt riktlinjer i GruvRIDAS (tillämpningsvägledning 7.2) [3].**

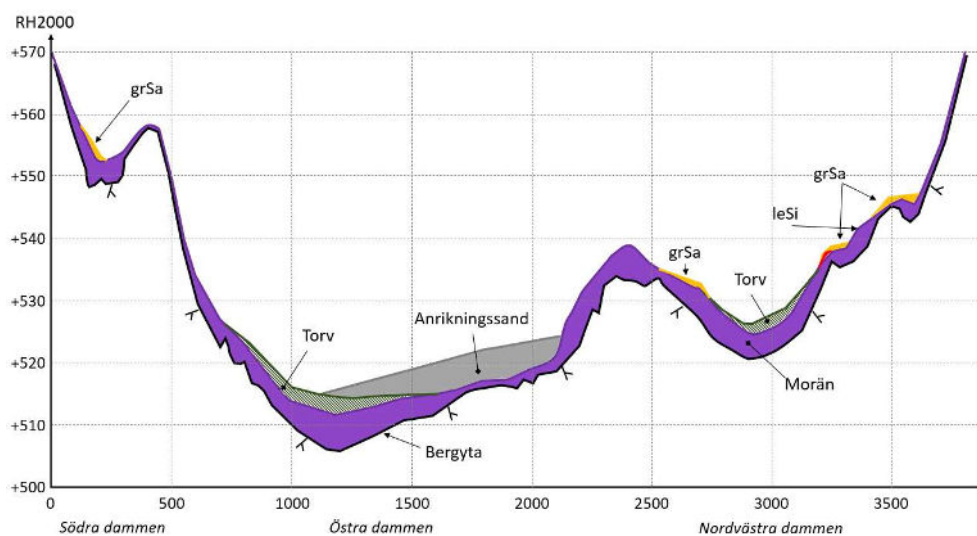
Belastningsfall	Beskrivning	Erforderlig säkerhetsfaktor
A	Normalt driftförhållande med stationär strömning genom dammkroppen	$\geq 1,5$
B	Extrema driftförhållanden med överdämning i samband med dimensionerande flöde	$\geq 1,3$
C	Dimensionerande läckage (för dammar i konsekvensklass 1+ och 1)	$\geq 1,1$

Vid beräkningen studeras ett stort antal s.k. "glidytor". Varje glidyta associeras med en beräknad säkerhetsfaktor. Den glidyta med lägst säkerhetsfaktor benämns vanligen som "kritisk glidyta". En glidyta är kritisk för en damms stabilitet först då den är så pass djup att den går genom en betydande del av dammkrönet och på så sätt direkt kan påverka den dämmande förmågan. Exakt läge för glidytan som motsvarar gränsen till en kritisk glidyta finns inte redovisat i GruvRIDAS. Generellt

brukar sägas att krönet fortfarande ska vara framkomligt efter skada för åtgärd. Vidare ska den dämmande förmågan inte påverkas. Detta innebär generellt att ett skred som lämnar större delen av dammkrönet och filterzonen intakt inte hotar dammens övergripande stabilitet. Därmed kan lokala glidytor av denna karaktär tillåtas ha lägre säkerhetsfaktor än vad som anges i GruvRIDAS.

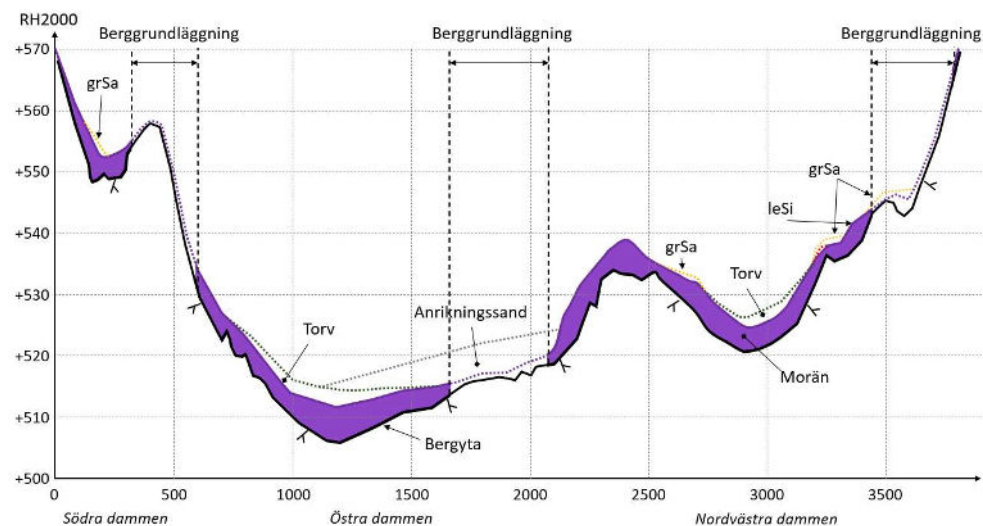
## Undergrund

Geotekniska undersökningar har genomförts i området för nytt sandmagasin av Golder 2010 [4] och av Mitta 2021 [5]. En tolkning av jordlagerföljden längs den nya dammen, baserat på de geotekniska undersökningarna, har gjorts av TCS [6] och presenteras i Figur 4.



**Figur 4. Tolkad profil med jordlagerföljd längs ny damm [6].**

Ett förslag på grundläggningsnivåer för det nya sandmagasinets dammar, framtaget av TCS [6], redovisas i Figur 5. Det föreslås att dammarna primärt ska grundläggas på fast morän. En del av sandmagasinets östra sida anläggs över det befintliga sandmagasinet, varför schakt av en del anrikningssand krävs för att kunna grundlägga den nya dammen på fast morän. Det krävs även schakt av torv-, sand- och siltskikt vid en del sträckor för att komma ned till fast morän. Vid delar där moräntäcket är tunt föreslås även schakt, så att grundläggning kan ske direkt på berg.

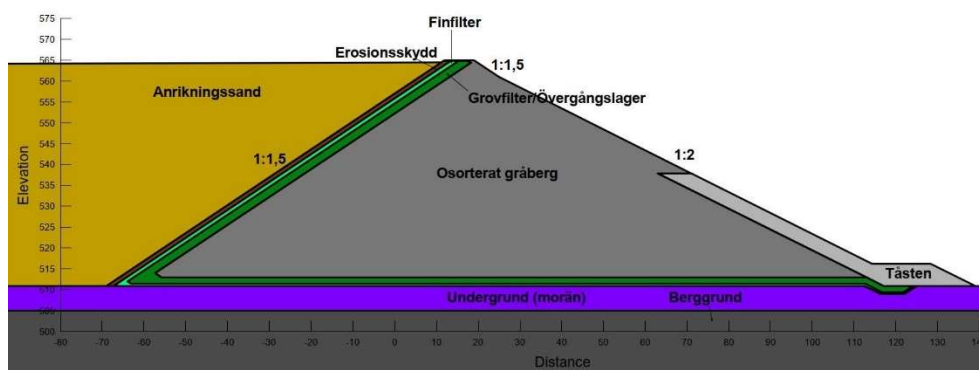


**Figur 5. Föreslagen grundläggning längs ny damm [6]. Primärt sker grundläggning av dammarna på fast morän. Vid markerade ytor föreslås grundläggning ske på frilagd bergyta.**

## Geometri

Den studerade dammen för det nya sandmagasinet har en liknande utformning längs hela dammlinjen. Det som skiljer dammen åt är dess höjd och bredd i olika tvärsnitt, då grundläggningsnivån varierar (se Figur 5) men dammkrönet ligger vid en konstant höjdnivå. I genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna har en tvärsnitt för dammens högsta sektion studerats, vilken har bedömts vara som mest kritisk för dammens stabilitet. Denna ligger vid längdsektion ca 1+200 (se Figur 5). Dessutom är morändjupet i undergrunden som störst vid den delen av dammen (ca 6 m).

Den beräkningssektion för dammen som används i genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna visas i Figur 6. Dammen är designad som en dränerande fyllningsdamm och har en maximal höjd av 54 m (vid magasinets östra del). Anrikningssanden förväntas ligga i en lutning om 1:300 (V:H) mot dammen. Ett erosionsskydd anläggs mellan anrikningssanden och ett filterlager, som består av ett finfilter och ett grovfilter. Filtren anläggs även mot undergrunden. Mellan filtren och stödfyllningen ligger ett dränagelager (benämnt övergångslager i figur och i Bilaga 1). I beräkningarna betraktas grovfiltret och dränagelageret som en zon med samma genomsläplighets- och hållfasthetsegenskaper. I dammtån anläggs en zon av tästen.



Figur 6. Tvärsektion för nytt magasin som används i beräkningarna (sektion ca 1+200).

Utformningen av dammens tåsten har justerats under arbetets gång med hänsyn till resultaten i genomförda släntstabilitetsberäkningar, så att erforderlig säkerhetsfaktor uppnås för samtliga genomförda beräkningsfall.

## Genomströmningsberäkningar

### Beräkningsfall

I genomströmningsberäkningarna har följande fyra beräkningsfall undersökts, vilka motsvarar de fall som presenteras i Tabell 1:

- 1) Dränerade förhållanden i dammen, anrikningssand 0,5 m under dammkrön och vattenyta vid dämningegräns. Åtta kombinationer med olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet undersöks (se avsnitt *Materialmodeller*).
- 2) Dränerade förhållanden, anrikningssanden vid vattnets driftnivå och vattenyta vid överdämningegräns. Åtta kombinationer med olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet undersöks (se avsnitt *Materialmodeller*).
- 3) Dränerade förhållanden i dammen, anrikningssand upp till halva dammhöjden och vattenyta vid dämningegräns. Åtta kombinationer med olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet undersöks (se avsnitt *Materialmodeller*).
- 4) Dimensionerande läckage, vattennivå vid dämningegräns.

I det nya sandmagasinet är driftnivån satt till nivån +561,5, dämningegräns till nivån +562 och överdämningegräns till nivån +564 då magasinets damm har nått sin högsta höjd (+565).

Fallet dimensionerande läckage betraktas som det största läckagefallet som kan tänkas uppkomma genom dammen under dess livslängd. I beräkningarna modelleras det som att dammens filter och övergångslager har förlorat sina funktioner och att hela dammen fungerar som en homogen zon med samma genomsläplighet som stödfyllningen, bortsett från tåsten som har oförändrade

egenskaper. Samtidigt antas det att undergrunden har en låg genomsläpplighet. I de övriga beräkningsfallen antas de ingående materialen i dammen fungera som förväntat.

För de fyra beräkningsfallen som listas ovan beräknas ett porvattentryck genom dammen och undergrunden, vilket används i släntstabilitetsberäkningarna. För det första och sista beräkningsfallet som listas ovan beräknas även läckaget genom dammen.

## Beräkningsmodell

Läckageberäkningarna har gjorts i GeoStudios programvara SEEP/W. Som materialmodell har mättad/omättad (*Saturated/Unsaturated*) valts för samtliga material. Detta innebär att materialen inte i förväg antas vara vattenmättade, utan vattenmättnadsgraden för olika delar av geometrin beräknas av programmet.

I beräkningsprogrammet har en så kallad *Hydraulic Conductivity Function* definierats för varje material som används i beräkningarna. Genom denna funktion definieras materialets hydrauliska konduktivitet som funktion av *Matric Suction*, vilket påverkar beräknat porvattentryck.

## Materialmodeller

I Tabell 2 visas värden på den hydrauliska konduktiviteten som har använts i genomströmningsberäkningarna. I dagsläget har det inte genomförts några undersökningar av de ingående materialen med avseende på hydraulisk konduktivitet. Därför är värdena som presenteras i Tabell 2 erfarenhetsbaserade. Med tanke på osäkerheter i materialparametervärden är det av intresse att studera effekter av variationer i parametervärden. Därmed har en känslighetsanalys genomförts, där parametervärden på anrikningssanden och stödfyllningen har varierats inom givna intervall. Åtta kombinationer av olika parametervärden har undersökts.

**Tabell 2. Hydraulisk konduktivitet som används i genomströmningsberäkningarna.**

Material	Hydraulisk konduktivitet
Anrikningssand	$10^{-8}$ - $10^{-5}$ m/s
Erosionsskydd	$10^{-1}$ m/s
Finfilter	$10^{-5}$ m/s
Grovfilter/övergångslager	$10^{-4}$ m/s
Osorterad stödfyllning	$10^{-3}$ - $10^{-2}$ m/s
Tåsten	$10^{-1}$ m/s
Undergrund (morän)	$10^{-8}$ m/s



De värden på anrikningssandens hydrauliska konduktivitet som har undersökts vid känslighetsanalysen är  $10^{-8}$  m/s,  $10^{-7}$  m/s,  $10^{-6}$  m/s och  $10^{-5}$  m/s. För den osorterade stödfyllningen är motsvarande värden  $10^{-3}$  m/s och  $10^{-2}$  m/s.

I beräkningsfallet dimensionerande läckage betraktas hela dammen som en homogen damm med liknande egenskaper som dammens stödfyllning, bortsett från tåstenen. Den hydrauliska konduktiviteten sätts till  $10^{-3}$  m/s i hela dammen, utom i tåstenen där den sätts till  $10^{-1}$  m/s. Undergrunden antas ha en hydraulisk konduktivitet på  $10^{-9}$  m/s. Detta värde är lägre än förväntat. Anledningen till det låga värdet är att fallet dimensionerande läckage är att betrakta som ett extremfall, så en låg hydraulisk konduktivitet i undergrunden tvingar vattnet ut genom dammkroppen. Ingen hänsyn tas till anrikningssandens hydrauliska konduktivitet i beräkningsfallet dimensionerande läckage. Istället betraktas magasinet som att det är fyllt med vatten upp till dämningssgräns.

I genomströmningsberäkningarna antas det att samtliga material är isotropa där den hydrauliska konduktiviteten är samma i både horisontell och vertikal riktning.

### **Randvillkor**

Randvillkor har definierats på olika sätt för de olika beräkningsfallen som listas i avsnitt *Beräkningsfall*. Gemensamt för samtliga fall är att ett randvillkor benämnt *Water total head* har definierats uppströms dammen. Det randvillkoret innebär att det hydrauliska trycket är fix längs randen, där storleken motsvarar en vattennivå i magasinet som definieras i randvillkoret.

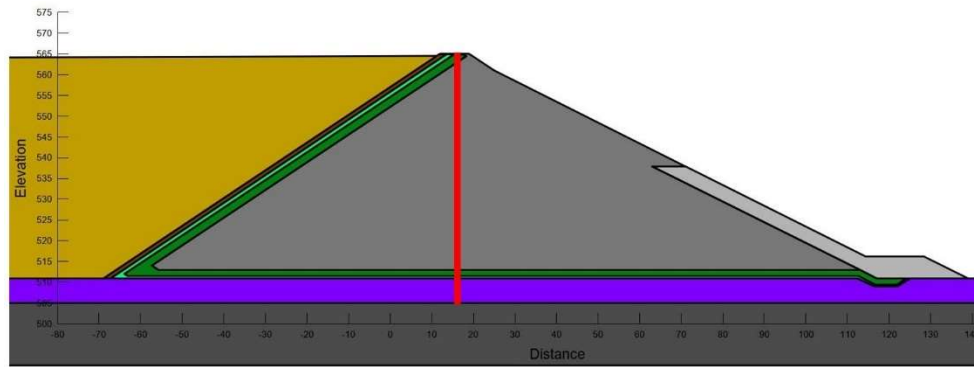
På dammens nedströmsslänt och längs nedströms markyta implementeras för samtliga beräkningsfall ett randvillkor av typen *Water Rate*, där värdet sätts till  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ , med *potential Seepage Face Review*. Detta randvillkor innebär att programmet lokaliserar noder där trycket är större än  $0 \text{ kPa}$ . Trycket sätts sedan till  $0 \text{ kPa}$  vid dessa noder och flödet ut ur beräkningsdomänen fastställs. Syftet med detta randvillkor är att låta beräkningsprogrammet lokalisera utströmningspunkten i slänten.

### **Resultat läckage**

I genomströmningsberäkningarna har porvattentryck genom dammen och undergrunden beräknats, vilket har nyttjats i släntstabilitetsberäkningarna (se avsnitt *Släntstabilitet*). Resultaten från genomströmningsberäkningarna redovisas i Bilaga 1.

Parametervärden som används i genomströmningsberäkningarna är erfarenhetsbaserade. Som känslighetsanalys har olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet undersökts, då dessa bedöms kunna ha stor påverkan på porvattentrycket och vattenflödet genom dammen. De olika parametervärdena som har undersöks presenteras i avsnitt *Materialmodeller*.

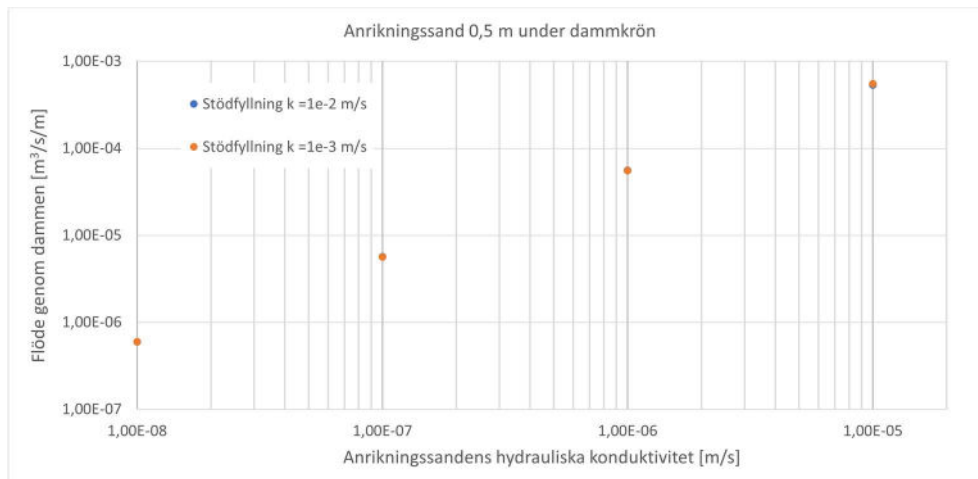
Läckaget genom dammen och undergrunden har beräknats genom den röda linjen som visas i Figur 7.



**Figur 7. Linje genom vilken flödet beräknas i genomströmningsberäkningarna.**

I Figur 8 presenteras beräknat flöde genom dammsektionen och undergrunden för de åtta olika kombinationerna av anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet som har undersökts. I figuren ligger de blå punkterna "bakom" de orangea. Trots förändrad hydraulisk konduktivitet på stödfyllningen så blir det identiskt flöde. Det är således främst anrikningssandens hydrauliska konduktivitet som styr storleken på läckaget genom dammen. Spridningen på beräknat läckage blir stort, då det som mest skiljer sig med nästan en faktor 1 000 (eftersom anrikningssandens hydrauliska konduktivitet varierats med en faktor 1 000). Detta innebär att, utifrån erhållna resultat, det förväntade flödet genom dammen i huvudsak kommer bero på den hydrauliska konduktiviteten på anrikningssanden som deponeras i magasinet.

Det bör nämnas att läckaget har beräknats för en tvärsektion där dammen är som högst. Dessutom har beräkningarna gjorts för den slutliga höjningen av dammen, alltså då dammen har nått sin högsta höjd. Flödet genom dammen förväntas vara mindre vid tvärsektioner där dammen har en lägre höjd eller vid tidigare etapper då dammen inte har nått upp till sin högsta höjd. Vidare har det i beräkningarna antagits att anrikningssanden har deponerats upp till sin maximala nivå, vilken ligger 0,5 m under dammkrön, och att vattennivån i magasinet ligger under sandytan. Om anrikningssanden ligger vid en lägre nivå mot dammkroppen och om vattenytan ligger ovan anrikningssanden, så förväntas flödet genom dammen att öka.



**Figur 8. Beräknat läckage genom dammen och undergrunden då anrikningssanden ligger 0,5 m under dammkrön och vattennivån i sandmagasinet vid DG. Läckaget är beräknat genom röd linje som visas i Figur 7. Blåa punkter ligger "bakom" de orangea, vilket är varför dessa inte syns i figuren.**

Flödet i den nedre delen av dammens tåsten och undergrunden har även beräknats för fallet dimensionerande läckage (se Bilaga 1). Beräknat värde är  $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ .

För det tredje beräkningsfallet som listas i avsnitt *Beräkningsfall*, alltså då anrikningssanden ligger upp till halva dammhöjden och vattennivån i magasinet vid dämningssgräns, undersöktes även ett tidsberoende problem. Vattenytan låg uppe vid dämningssgräns som initialtillstånd. Vattnet tilläts sedan dränera ut genom dammen och undergrunden utan tillförsel av nytt vatten. Stödfyllningens och anrikningssandens hydrauliska konduktivitet sattes till  $10^{-3} \text{ m/s}$  respektive  $10^{-8} \text{ m/s}$ . Efter mellan 12 och 16 timmar hade vattenytan i magasinet sänkts till anrikningssandens nivå, vilket innebär en sänkning med 24 m. Detta visar på att dammen är väl dränerande. Att vattenytan stiger upp till dämningssgräns när anrikningssanden endast ligger vid halva dammhöjden kräver därför ett mycket stort inflöde av vatten (eftersom det samtidigt dränerar ut med hög kapacitet). En bedömning görs således att detta kan betraktas som ett extremfall, vilket innebär ett lägre krav på säkerhetsfaktorn vid släntstabilitetsberäkningarna för detta fall (1,3 istället för 1,5).

## Släntstabilitet

### Lastfall

Släntstabilitetsberäkningar för vald tvärsektion har gjorts för samma fall som för genomförda genomströmningsberäkningar. Beräkningsfallen är följande, där krav på säkerhetsfaktor (SF) anges inom parentes (i enlighet med avsnitt *Säkerhetsfaktor*):

- 1) Dränerade förhållanden i dammen, anrikningssand 0,5 m under dammkrön och vattennivå vid dämningssgräns. Åtta olika porttryckslinjer beaktas, vilka är beräknade för olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet (SF  $\geq 1,5$ ).

- 2) Dränerade förhållanden i dammen, anrikningssand vid vattnets driftnivå och vattennivån vid överdämningsgräns. Åtta olika portryckslinjer beaktas, vilka är beräknade för olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet ( $SF \geq 1,3$ ).
- 3) Dränerade förhållanden, anrikningssand upp till halva dammhöjden och vattenyta vid dämningensgräns. Åtta olika portryckslinjer beaktas, vilka är beräknade för olika parametervärden på anrikningssandens och stödfyllningens hydrauliska konduktivitet ( $SF \geq 1,3$ ).
- 4) Dimensionerande läckage ( $SF \geq 1,1$ ).

Inga beräkningar har gjorts för odränerade förhållanden i dammen. Anledningen till detta är att den nya dammen inte byggs enligt inåtmetoden, så anrikningssanden bär inte någon last i dammdesignen. Istället för att modellera anrikningssanden under odränerade förhållanden, betraktas den endast som en pådrivande last utan i princip någon hållfasthet.

Ingen seismisk last har beaktats i beräkningarna.

### **Beräkningsmodell**

Samtliga släntstabilitetsberäkningar har gjorts i GeoStudios programvara SLOPE/W. En jämviktsanalys används i programmet som baseras på Morgenstern-Prices metod. Som materialmodell används Mohr-Coulomb. Samtliga material i dammen samt undergrunden antas vara dränerande. För mer information om hur beräkningarna görs i SLOPE/W, se [7].

I SLOPE/W väljs att programmet ska ta fram säkerhetsfaktor för en optimerad glidyta utifrån en beräknad kritisk cirkulärcylindrisk glidyta (inställning *Optimize critical slip surface location* i SLOPE/W). Den optimerade glidytan begränsas inte till att vara helt cirkulärcylindrisk, vilket är ett mer realistiskt fall. Säkerhetsfaktorn för den optimerade glidytan är aldrig större än säkerhetsfaktorn för den cirkulärcylindriska glidytan. För mer information om den optimerade glidytan i SLOPE/W, se [7] och [8].

Inställningarna för den optimerade glidytan har satts till att antalet punkter på både start- och slutdelen av glidytan är 40. Den största konkava vinkeln för den drivande och mothållande sidan sätts till 5° respektive 3°. Maximalt antal iterationer sätts till 2 000.

Om det visar sig att den framtagna optimerade glidytan inte är kritisk för dammens stabilitet (dvs. betraktas som trivial), betraktas istället den bedömda kritiska cirkulärcylindriska glidytan.

### **Materialparametrar**

Hållfasthetsegenskaperna av de ingående materialen i dammen samt i undergrunden har i dagsläget inte undersökts. I släntstabilitetsberäkningarna används därför erfarenhetsbaserade, försiktigt valda, hållfasthetsegenskaper utifrån liknande material i andra dammanläggningar.

I Tabell 3 presenteras de parametervärden som används med Mohr-Coulombs modell. För anrikningssanden har friktionsvinkeln satts till  $0,1^\circ$  (det blir numeriska svårigheter om värdet sätts till  $0^\circ$ ). Anledningen till det låga värdet är att anrikningssanden i dammdesignen inte ska bära någon last. Anrikningssanden betraktas istället endast som en pådrivande last, utan i princip någon bärande förmåga.

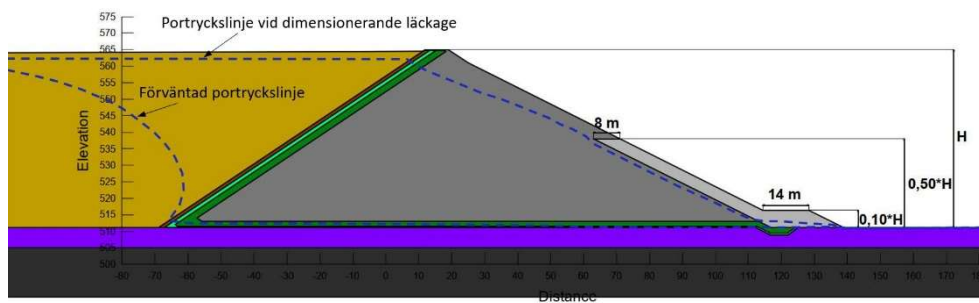
**Tabell 3. Valda materialparametrar som används med Mohr-Coulombs modell i släntstabilitetsberäkningarna.**

Material	Tunghet	Materialparametrar
Anrikningssand	20 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 0,1^\circ$ $c' = 0$ kPa
Erosionsskydd	18 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa
Finfilter	18 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 33^\circ$ $c' = 0$ kPa
Grovfilter/Övergångslager	18 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 33^\circ$ $c' = 0$ kPa
Osorterad stödfyllning	18 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 38^\circ$ $c' = 0$ kPa
Tåsten	18 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 38^\circ$ $c' = 0$ kPa
Undergrund (morän)	18 kN/m <sup>3</sup>	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa

### Resultat släntstabilitet

Av de fyra lastfallen som har studerats visade sig fallet dimensionerande läckage vara dimensionerande för dammens utformning. Genom en iterativ process justerades tåstens utformning till dess att erforderlig säkerhetsfaktor uppnåddes, det vill säga 1,1. Den fastställda dammutformningen beräknades därefter för de tre andra lastfallen. För dessa fall uppfyller de beräknade säkerhetsfaktorerna de erforderliga.

Dammens slutliga utformning efter genomförda beräkningar visas i Figur 9.



**Figur 9. Typsektion av dammen till det nya sandmagasinet (sektion ca 1+200), där tåstenens utformning iterativt har tagits fram utifrån resultaten från släntstabilitetsberäkningarna. Beräknade portryckslinjer vid dimensionerande läckage och för ett förväntat driftfall är även utritade.**

En beräkning har även genomförts för fallet dimensionerande läckage där dammens höjd halverades till 27 meter samtidigt som även tåstenens höjder halverades. Detta fall hade till syfte att kontrollera stabiliteten för fall då dammen inte uppnått full höjd. Tåstenens bredder (8 m och 14 m, se Figur 9) ändrades inte. Säkerhetsfaktorn för den kritiska glidyten var då större än då dammens höjd var 54 m (säkerhetsfaktorn var då drygt 1,4 istället för 1,1). Detta visar på att kravet på tåstenens höjder kan uttryckas som en funktion av dammens totala höjd istället för att ge dem absoluta värden. Dessa funktioner redovisas i Figur 9.

Resultaten från släntstabilitetsberäkningarna redovisas i Bilaga 1.

## Diskussion

Som nämnts i avsnitt *Resultat släntstabilitet* har ett beräkningsfall undersökts då dammens höjd och tåstens höjder halverades, med resultatet att erforderlig säkerhetsfaktor uppnås. Därför uttrycks tåstens höjder som funktion av total dammhöjd i Figur 9. I beräkningarna har dock fallet då dammens totala höjd har sänkts samtidigt som tåstens bredder minskat inte undersökts. Därför anges dess bredder (8 m och 14 m i Figur 9) som absoluta värden. Vid detaljprojekteringen av dammen bör detta fall undersökas för att optimera dammens utformning, så att även bredderna kan anges som en funktion av dammens höjd eller dammbasens bredd. Detta för att undvika utläggning av onödigt stora volymer tåsten.

I detta PM benämns materialet i dammens nedströmsslänt, vars utformning har justerats utifrån resultaten i beräkningarna, som tåsten. Det bör dock nämnas att hela zonen inte nödvändigtvis behöver bestå av ett material med samma krav på stenstorlek som tas fram för dammens tåsten. Möjligtvis skulle zonen kunna delas upp i två delar bestående av olika material med en viss skillnad i materialegenskaper. Det som krävs är emellertid att materialen är väl genomsläppliga med en hydraulisk konduktivitet på minst  $10^{-1}$  m/s och med en friktionsvinkel på minst  $38^\circ$  (som antaget i beräkningarna). Om materialegenskaperna avviker från dessa värden, behöver nya beräkningar genomföras för att undersöka hur det påverkar dammens stabilitet.

## Slutsatser

I detta PM har genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar utförts för Viscarias nya dammar. Utformningen har justerats utifrån resultaten i genomförda beräkningar så att erforderliga säkerhetsfaktorer uppnås enligt GruvRIDAS riktlinjer. Framtagen utformning redovisas i Figur 9, där angivna mått ska ses som "minsta nödvändiga mått" för fortsatt projektering.

Med hänsyn till osäkerheter i indata gällande materialens hydrauliska konduktivitet har åtta kombinationer beräknats med varierande värden på indata. Avseende genomströmning visade sig det förväntade flödet genom dammen i huvudsak styras av den hydrauliska konduktiviteten på anrikningssanden som deponeras i magasinet, och föga påverkat av dammkroppens hydrauliska konduktivitet.

## Referenser

- [1] Lantmäteriet, "Lantmäteriet - Min karta," 2021. [Online]. Available: <https://minkarta.lantmateriet.se/>. [Använd 2 juli 2021].
- [2] TCS, "Viscaria befintliga dammar - Genomströmnings- och stabilitetsberäkningar," Knutsson, R., Sjösten, W. Uppdragsnummer: 3142102-200. Koncept 2022-01-27, 2022.
- [3] SveMin, "Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS - Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet," 2010.
- [4] Golder, "Existing Tailings Facility - Geotechnical investigation," Golder Associates, Stockholm, 2011.
- [5] Mitta, "Viscaria dammar - Markteknisk undersökningsrapport (MUR)," Sundström, N., 2021.
- [6] TCS, "Geoteknik Viscaria - Tolkning av geotekniska utredningar," Knutsson, R. Uppdragsnummer 3142102-500. Arbetsutkast 2021-12-14, 2021.
- [7] GeoSlope, "Stability Modeling with GeoStudio," GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, 2020.
- [8] GeoSlope, "Slip Surface Optimization," Calgary.

## Bilagor

Bilaga 1      Viscaria beräkningar – Nytt sandmagasin

TCS - Tailings Consultants Scandinavia AB

William Sjösten