

PM Viscaria befintliga dammar

Genomströmnings- och stabilitetsberäkningar

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

Sammanfattning

Detta PM redovisar genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar för tre olika tvärsektioner i befintligt sand- och klarningsmagasin i Viscaria. En sektion ligger i sandmagasinets dammdel A-B, en sektion i dammen mellan sand- och klarningsmagasinet (dammdel B-C) och en sektion i klarningsmagasinets dammar (dammdel B-D och D-E). I genomströmningsberäkningarna har porvattentrycket genom dammarna beräknats, vilket har använts i släntstabilitetsberäkningarna.

Syftet med beräkningarna har varit att undersöka om dammarna i det befintliga sand- och klarningsmagasinet uppnår erforderliga säkerhetsfaktorer i enlighet med gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet (GruvRIDAS). Beräkningarna visade att så inte var fallet för de tre studerade tvärsektionerna. Förstärkningsåtgärder krävs därför vid samtliga dammar. I denna studie har dessa åtgärder modellerats i form av ny stödbank som anläggs nedströms om damm A-B och B-C samt uppströms om damm B-D och D-E. Processen har vid utformningen av stödbankarna varit en iterativ process, där en utformning har sökts så att mängden dammbyggnadsmaterial minimeras samtidigt som erforderlig säkerhetsfaktor enligt GruvRIDAS uppnås.

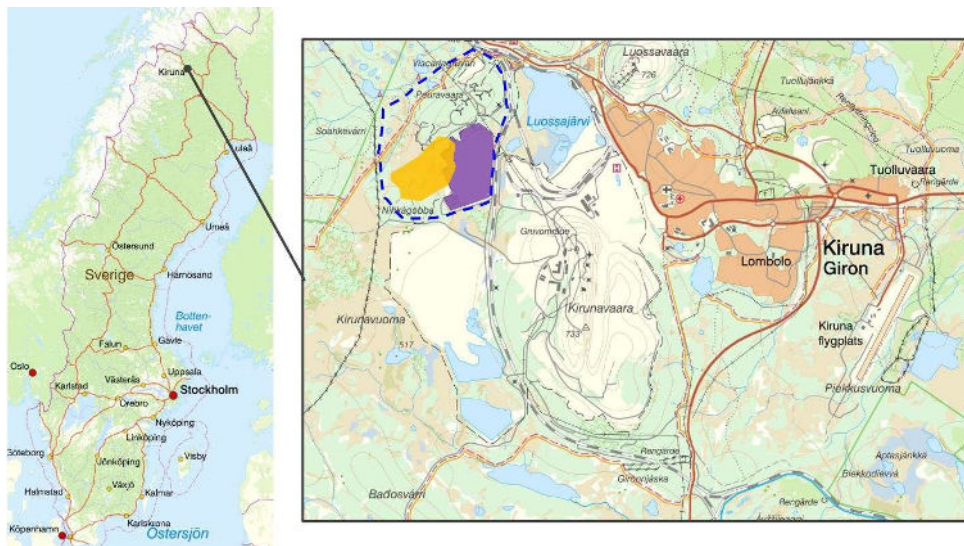
TAILINGS CONSULTANTS SCANDINAVIA AB

William Sjösten
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 planerat nytt sandmagasin 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.

Det befintliga klarningsmagasinet, som ligger söder om sandmagasinet, planeras användas vid upprättande av det nya sandmagasinet. Copperstone Resources AB äger även ansvaret för det befintliga sandmagasinet. Därför är det av stor vikt att undersöka och säkerställa att de befintliga magasinens dammar uppnår tillräcklig stabilitet.

Syfte

I detta PM redovisas genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar för dammar i befintligt sand- och klarningsmagasin i Viscaria. I genomströmningsberäkningarna beräknas porvattentrycket i dammen och undergrunden, vilket därefter används som indata i släntstabilitetsberäkningarna.

Syftet med släntstabilitetsberäkningarna är att säkerställa att erforderlig säkerhetsfaktor uppnås i enlighet med gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet (GruvRIDAS). De lastfall som undersöks är i linje med vad som rekommenderas för

dammar i den dammsäkerhetsklass som föreslås enligt tillståndsansökan som ska skickas in år 2022, där samtliga dammar föreslås hamna i dammsäkerhetsklass B.

Om erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås, justeras dammutformningen i beräkningarna genom att ny stödbank läggs till. Utformningen justeras sedan iterativt med hänsyn till resultaten i släntstabilitetsberäkningarna. Om en viss utformning innebär att erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås, så adderas mer stödbank och nya genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar genomförs. Denna process upprepas tills erforderlig säkerhetsfaktor uppnås.

Utformning befintligt sand- och klarningsmagasin

Det befintliga sand- och klarningsmagasinet i Viscaria visas i Figur 2 respektive Figur 3. Sandmagasinet begränsas av en damm i norr och öst (damm A-B) samt en damm mot klarningsmagasinet i söder (damm B-C). Anrikningssandens utbredning västerut avgränsas av naturlig terräng.



Figur 2. Befintligt sandmagasin i Viscaria.

När sandmagasinet var i drift deponerades anrikningssanden från magasinets norra del genom direktutsläpp. Sandytan har idag en lutning från magasinets norra/nordvästra del ned mot söder. Sandytans lutning är ca 1:200 (V:H) i magasinets norra och mellersta del. I den södra delen är lutningen generellt sett brantare och mer varierande.

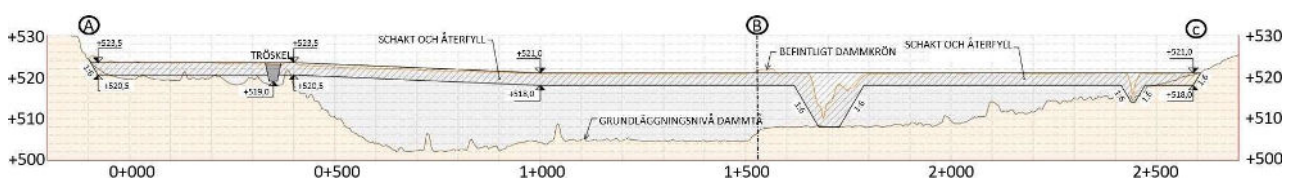


Figur 3. Befintligt klarningsmagasin i Viscaria.

Klarningsmagasinet ligger söder om sandmagasinet. Klarningsmagasinet avgränsas av tre dammar; en damm i norr mot sandmagasinet (damm B-C), en damm i öster (damm B-D) samt en damm i söder (damm D-E). Naturlig terräng avgränsar magasinet i väster.

En höjdprofil för ena dammen som omger sandmagasinet (dammdel A-B och B-C) baserat på flygskanning genomförd juli 2021 [2] visas i Figur 4. Det kan observeras att krönhöjden för dammdel A-B varierar mellan ca +523,5 i norr och ca +521,0 i söder. Dammkrönet vid dammdel B-C ligger vid nivån ca +521,0, med två avgrävningar i krönet för att möjliggöra avbördning av vatten till klarningsmagasinet.

Den övre delen av sandmagasinet dammar är troligtvis påverkad av tjäle. Därför planeras dammkrönen schaktas av 3 m och sedan byggas upp igen för att åtgärda eventuella skador som kan ha uppstått i dammarnas övre del. Dammkrönet avses byggas upp till nivån +523,5 i norr och +521,0 i söder (se Figur 4). Avgrävningen i dammkrönet vid dammdel B-C planeras även fyllas igen.

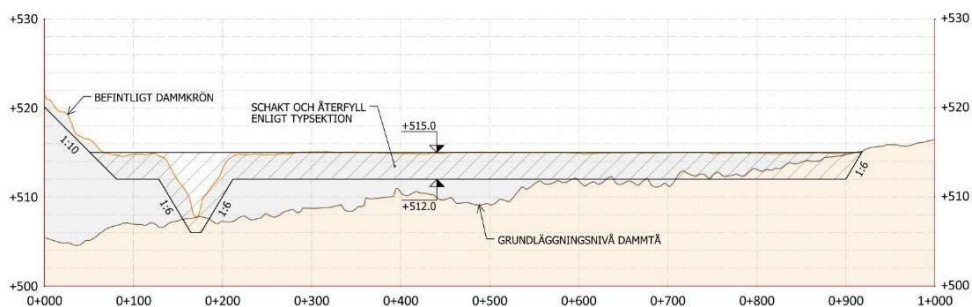


Figur 4. Höjdprofil längs sandmagasinet dammar (dammdel A-B och B-C) med planerade åtgärder för schakt och återfyllnad utritade. Längdmätning längs dammen visas i Figur 2.

En höjdprofil för klarningsmagasinet dammar (dammdel B-D och D-E) baserat på flygskanningar genomförda 2021 [2] visas i Figur 5. Krönnivån ligger på ca +515,5. Vid dammdel B-D (mellan sektion 0+100 och 0+200) finns en avgrävning i

dammkrönet, så att vatten kan avbördas från klarningsmagasinet till ett dike som leder ut i sjön Levjärv.

Även klarningsmagasinets dammar är troligtvis påverkade av tjäle. Därför planeras också klarningsmagasinets dammkrön schaktas av 3 m och byggs upp igen för att åtgärda eventuella skador som kan ha uppstått. Dammkrönet avses byggas upp till nivån +515,0 (se Figur 5). Avgrävningen i dammkrönen planeras även fyllas igen.



Figur 5. Höjdprofil för klarningsmagasinets dammar (dammdel B-D och D-E) med planerade åtgärder för schakt- och återfyllnad utritade. Längdmätning längs dammen visas i Figur 3.

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)	$\geq 1,1$

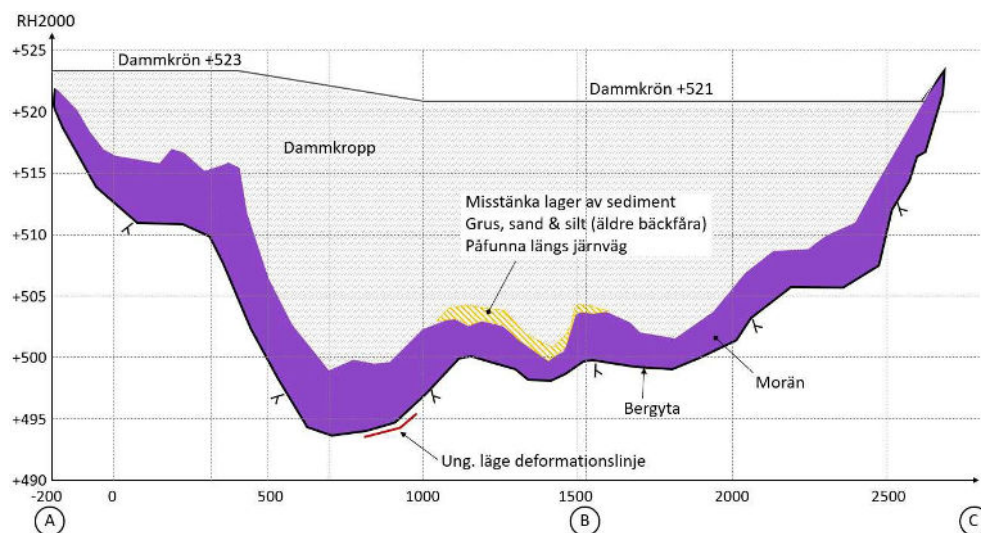
Vid beräkningen studeras ett stort antal s.k. "glidytor". Varje glidyta associeras med en beräknad säkerhetsfaktor. Den glidyta med lägst säkerhetsfaktor benämns vanligen som "kritisk glidyta". En glidyta är kritisk för en damms stabilitet först då den är så pass djup att den går genom en betydande del 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 framförallt den tätande funktionen, intakt inte hotar dammens övergripande stabilitet. Därmed kan lokala glidytor av denna karaktär tillåtas ha lägre säkerhetsfaktor än vad som anges i GruvRIDAS.

Undergrund

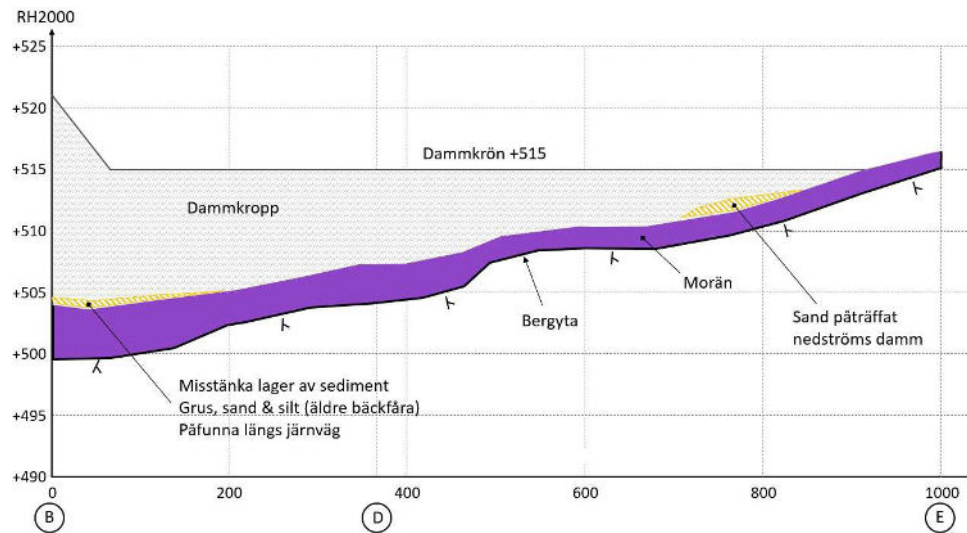
I beräkningarna har tre olika tvärsnitt för sand- och klarningsmagasinets dammar studerats. En sektion ligger i dammdel A-B, en i dammdel B-C och en i dammdel B-D. Dammdel D-E har en liknande utformning och belastas på liknande sätt som dammdel B-D. Därför anses det inte nödvändigt att även studera en tvärsnitt i dammdel D-E.

Valda tvärsnitt har bedömts som mest kritiska ur stabilitetssynpunkt för dammdelen de ligger i, baserat på tvärsnittens höjd, djup till berg i undergrunden och förekomst av eventuella svaga skikt i undergrunden.

Tolkning av undergrunden som modelleras i beräkningarna baseras på tolkningar och en sammanställning av genomförda undersökningar gjorda av TCS 2022 [4]. Tolkningarna där bygger i sin tur på geotekniska undersökningar vid dammarna genomförda av Golder 2010 [5], av Mitta 2021 [6] och av Banverket 2008 [7]. Detta underlag ligger till grund för val av tvärsnitt som används i beräkningarna.



Figur 6. Tolkad jordlagerföljd under sandmagasinets dammar (dammdel A-B och B-C) [4].



Figur 7. Tolkad jordlagerföljd under klarningsmagasinets dammar (dammdel B-D och D-E) [4].

För dammdel A-B har en tvärsektion vid längdmätning ca 0+850 studerats i beräkningarna. Sektionen motsvarar ett läge där dammen är som högst och där djupet till berg i undergrunden är som störst, se Figur 6. Enligt undersökningar består undergrunden av morän (främst sandmorän). Det har även påträffats torv i området vid genomförda undersökningar.

Vid undersökningar genomförda kring dammarna av Golder 2010 och Mitta 2021 har inga spår av sedimentskikt påträffats (ler, silt, sand eller grus) [4]. Däremot har silt, med en mäktighet om upp till 1,0 m påträffats vid undersökningar gjorda av Banverket i närheten av damm A-B [4]. Det kan därför inte helt uteslutas att sedimentskikt av silt kan förekomma i undergrunden vid dammen. Därför har två fall modellerats för damm A-B; ett fall utan silt i undergrunden och ett fall med ett siltskikt med en mäktighet om 1,0 m. Detta för att undersöka hur ett eventuellt siltlager påverkar dammens stabilitet.

I den modellerade tvärsektionen för dammdel A-B antas det att berggrunden har en lutning på 3:100 (V:H). Detta baseras på en genomsnittlig lutning framtagen utifrån nivåer vid genomförda JB-sonderingar i området.

För dammdel B-C har en tvärsektion vid längdmätning ca 1+800 studerats i beräkningarna, vilken har bedömts som den mest kritiska för dammens stabilitet. Vid denna tvärsektion är dammen som högst och har, enligt tolkningar, störst djup till berg. Även för denna tvärsektion har torv modellerats både upp- och nedströms om dammen, då torv har påträffats vid geotekniska undersökningar i klarningsmagasinet [4].

För klarningsmagasinets dammar har tvärsektion ca 0+150 modellerats i beräkningarna, vilken har bedömts som den mest kritiska tvärsektionen för klarningsmagasinets båda dammar (dammdel B-D och D-E). Vid denna tvärsektion är tolkat djup till berg som störst.

Vid undersökningar genomförda av Golder 2010 och Mitta 2021 påträffades inga sedimentskikt (ler, silt, sand eller grus) i undergrunden vid klarningsmagasinets dammar [4]. Däremot har grus påträffats i närheten av dammarna vid

undersökningar gjorda av Banverket, med en mäktighet om upp till 0,6 m [4]. Ett sådant gruslager har därför modellerats i beräkningarna, då det inte kan uteslutas att grus kan förekomma vid vissa avsnitt i klarningsdammarnas undergrund.

Geometri

Följande underlag har använts vid tolkning av dammarnas uppbyggnad:

- Tolkning gjord av Golder [8].
- Äldre kartmaterial från LKAB [9, 10].
- Inmätning genom flygskanning genomförd 2021 [2].
- Provgropsgrävningar på dammarnas krön [6].

Samtliga dammar är uppbyggda likt konventionella vattendämmande dammar, med en central tätkärna av morän, intilliggande filter och stödfyllning. En säker dokumentation av de befintliga dammarnas zonindelning saknas dock. Dessutom finns det en del motstridigheter i tillgängligt underlag, främst vad gäller tätkärnans och filtrenas bredder. Tolkade största och minsta bredder på dessa zoner utifrån tillgängligt underlag presenteras i Tabell 2. Tolkningarna baseras på största respektive minsta bredder som har angivits i källorna som listas ovan, där vissa uppenbara osäkerheter i tolkningar från provgropsgrävningar har bortsetts från (exempelvis att en filterzon är över 10 m).

Tabell 2. Tolkning av möjliga största och minsta bredder på tätkärna och filter vid sand- och klarningsmagasinets olika dammdelar utifrån tillgängligt underlag.

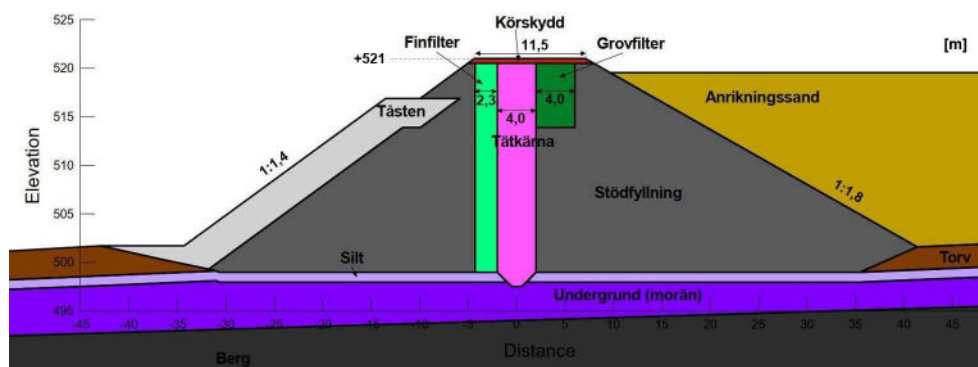
Zon i damm	Tolkad största bredd	Tolkad minsta bredd
Tätkärna (damm A-B)	4,0 m	4,0 m
Finfilter (damm A-B)	2,3 m	1,7 m
Grofilter (damm B-C)	4,0 m	2,8 m
Tätkärna (damm B-C)	4,0 m	3,7 m
Finfilter (damm B-C)	2,3 m	1,8 m
Grofilter (damm B-D/D-E)	4,0 m	2,0 m
Tätkärna (damm B-D/D-E)	5,5 m	4,0 m
Finfilter (damm B-D/D-E)	2,3 m	1,3 m
Grofilter (damm B-D/D-E)	4,0 m	1,7 m

Det bör nämnas att den vertikala tätkärnans bredd varierar i höjddled, då den, enligt äldre ritningar från LKAB [9, 10], är uppbyggd i ett "julgransmönster". I beräkningarna modelleras den emellertid som en vertikal zon med en konstant bredd.

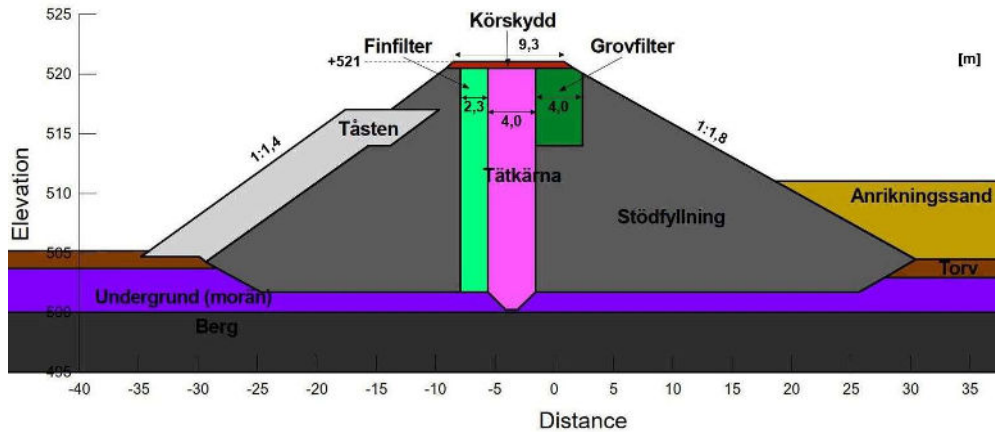
Initialt modellerades två olika tvärsektioner för varje undersökt dammdel; en med en tolkad bred zon av tät kärna och filter och en med en tolkad smal zon. Zonernas bredder var de som anges i Tabell 2. Resultaten från beräkningarna skilde sig dock inte märkbart mellan de två fallen. Därför genomfördes vidare beräkningar endast för den modellerade breda zonen, vilken överlag gav något lägre säkerhetsfaktor (skillnaden i säkerhetsfaktor var som mest några tusendelar).

Det har även funnits motstridigheter i tillgängligt underlag vad gäller dammarnas krönnivåer. Skillnaden har emellertid varit mindre än en meter. Krönnivån som har använts i beräkningarna baseras på flygskanning av magasinerna och dammarna genomförd år 2021 [2]. Det är dessutom dessa nivåer som dammarna avses byggas upp till vid restaurering av dammarna enligt avsnitt *Utformning befintligt sand- och klarningsmagasin*.

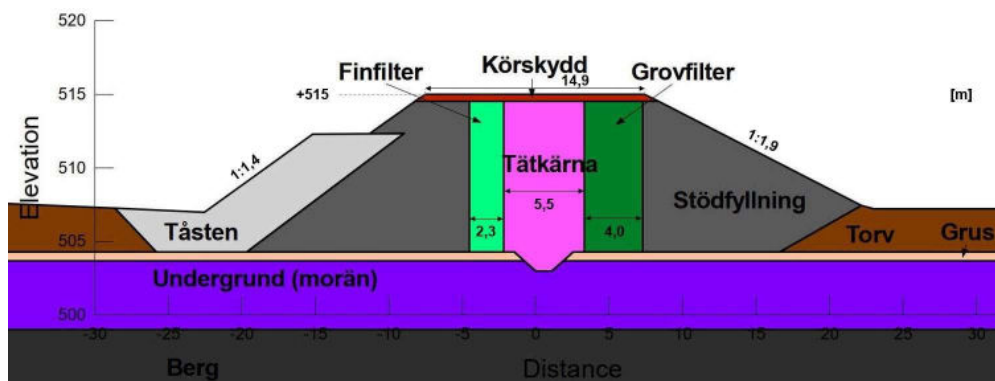
Modellerade tvärsektioner som har använts i genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna visas i Figur 8-Figur 10. Som nämnts i avsnitt *Undergrund* har det för damm A-B modellerats ett fall med silt i undergrunden och ett fall utan silt. I Figur 8 visas fallet med silt. I det andra fallet är silten ersatt med morän.



Figur 8. Beräkningssektion för dammdel A-B (sektion 0+850), med tolkad bred zon på tatkärna och intilliggande filter. Det har undersökts ett beräkningsfall där det förekommer silt i undergrunden (som visas i figuren) och ett fall utan silt.



Figur 9. Beräkningssektion för dammdel B-C (sektion 1+800), med tolkad bred zon på tåtkärna och intilliggande filter.



Figur 10. Beräkningssektion för dammdel B-D och D-E (sektion 0+150), med tolkad bred zon på tåtkärna och intilliggande filter.

Genomströmningsberäkningar

Beräkningsfall

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

- 1) Dränerande förhållanden i dammen, vattennivån uppströms dammen vid dämningensgräns (under dämningensgräns för damm B-C, se förklaring nedan).
- 2) Dränerande förhållanden i dammen, vattennivån uppströms vid överdämningensgräns.
- 3) Dimensionerande läckage.

I sandmagasinet är dämningensgräns satt till nivån +519 och överdämningensgräns till +520. I klarningsmagasinet är dämningensgräns och överdämningensgräns satt till nivåerna +512 respektive +513.

För det första beräkningsfallet som listas ovan har vattennivån uppströms dammdel B-C satts till nivån +517, vilket är lägre än dämningensgräns. Anledningen

till detta är att sandnivån uppströms dammdel B-C ligger vid nivån ca +511 (sandnivån varierar något längs dammen). Inget vatten avses lagras i sandmagasinet, varför det anses vara ett extremfall att vattenytan ligger uppe vid dämningssgräns (ca 8 m vatten över sandytan uppströms damm B-C). Därför väljs istället en lägre vattennivå, som här motsvarar nivån vid lagring av ett klass I-flöde (nivån +517). Även denna vattennivå kan betraktas som ett extremfall, men används här i beräkningarna som ett (konservativt) normalfall.

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 tätkärna har förlorat sina funktioner och att hela dammen fungerar som en homogen zon med samma genomsläpplighet som stödfyllningen. Enbart tåstenen har i beräkningen ansatts med dess 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 samtliga tre beräkningsfall som listas ovan beräknas porvattentryck i dammarna och undergrunden, vilket används som indata till släntstabilitetsberäkningarna som presenteras i avsnitt *Resultat* från genomströmningsberäkningarna återfinns i Bilaga 1.

Beräknade porvattentryck har nyttjats i genomförda släntstabilitetsberäkningar. Exempel på beräknade portryckslinjer illustreras i kapitel *Resultat släntstabilitet*.

Flödet har även beräknats vid dammarnas tåsten för fallet dimensionerande läckage. Var i dammen flödet är beräknat framgår av Bilaga 1. Beräknade värden presenteras i Tabell 4. Värdena är för den nya dammdesignen, vilket innefattar utläggning av stödbank i dammslänten (se avsnitt *Resultat släntstabilitet*).

Tabell 4. Beräknade flöden vid dammarnas tåsten och undergrund vid dimensionerande läckage för ny dammutformning.

Damm	Flöde [m ³ /s/m]
A-B (med och utan silt i undergrunden)	5,3·10 ⁻³
B-C (inget vatten i klarningsmagasinet)	4,6·10 ⁻³
B-C (vattennivå i klarningsmagasinet vid DG)	1,1·10 ⁻⁴
B-D (vattennivå i klarningsmagasinet vid DG)	1,1·10 ⁻³

Släntstabilitet.

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*, vilken påverkar beräknat porvattentryck.

Materialparametrar

I Tabell 3 presenteras värden på den hydrauliska konduktiviteten som har använts i genomströmningsberäkningarna. Värdena som används är erfarenhetsbaserade.

Tabell 3. Hydraulisk konduktivitet som används i genomströmningsberäkningarna.

Material	Hydraulisk konduktivitet
Anrikningssand	$1,6 \cdot 10^{-8}$ m/s
Berggrund	<i>Impermeable</i>
Körskydd	10^{-3} m/s
Finfilter	10^{-5} m/s
Grovfilter	10^{-3} m/s
Osorterad stödfyllning	10^{-3} m/s
Torv	10^{-10} m/s
Tåsten	10^{-1} m/s
Ny stödbank	10^{-1} m/s
Tätkärna	10^{-8} m/s
Undergrund (morän)	10^{-8} m/s

I beräkningsfallet för dimensionerande läckage antas det att dammens tätkärna och filter är skadade och har förlorat sin tätande förmåga. Hela dammen betraktas då som en homogen damm med liknande egenskaper som dammens stödfyllning. Den hydrauliska konduktiviteten sätts till 10^{-3} m/s i hela dammen för detta beräkningsfall. Undergrunden antas ha en hydraulisk konduktivitet på 10^{-9} m/s. Detta värde är lägre än förväntat. Anledningen är att det dimensionerande läckaget är att betrakta som ett extremfall, så en låg hydraulisk konduktivitet i undergrunden tvingar vattnet 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 för båda beräkningsfallen 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 de flesta beräkningsfallen ett randvillkor av typen *Water Rate* (undantag för vissa fall nedströms damm B-C), där värdet sätts till 0 m³/s, med *potential Seepage Face Review*. Detta randvillkor innebär att programmet lokaliserar noder där trycket är större än 0 kPa. Trycket sätts sedan till 0 kPa vid dessa noder och flödet ut ur beräkningsdomänen fastställs. Syftet med detta randvillkor är att låta beräkningsprogrammet lokalisera utströmningspunkten i slänten.

Nedströms om dammdel B-C ligger klarningsmagasinet. Vilken vattennivå i klarningsmagasinet som innebär det mest kritiska fallet för dammens stabilitet är inte trivialt. En hög vattennivå innebär en stor mothållande kraft nedströms dammen, vilket är positivt ur stabilitetssynpunkt. Å andra sidan innebär en hög vattennivå ett högre porvattentryck genom dammen, vilket är negativt ur stabilitetssynpunkt. Därför har olika vattennivåer i klarningsmagasinet systematiskt undersökts, för att få fram en ungefärlig nivå som är mest kritisk för dammens stabilitet. På samma sätt har olika vattennivåer undersökts vid beräkningar av klarningsmagasinets damm (dammdel B-D).

Resultat läckage

Resultat från genomströmningsberäkningarna återfinns i Bilaga 1.

Beräknade porvattentryck har nyttjats i genomförda släntstabilitetsberäkningar. Exempel på beräknade portryckslinjer illustreras i kapitel *Resultat släntstabilitet*.

Flödet har även beräknats vid dammarnas tåsten för fallet dimensionerande läckage. Var i dammen flödet är beräknat framgår av Bilaga 1. Beräknade värden presenteras i Tabell 4. Värdena är för den nya dammdesignen, vilket innefattar utläggning av stödbank i dammslänten (se avsnitt *Resultat släntstabilitet*).

Tabell 4. Beräknade flöden vid dammarnas tåsten och undergrund vid dimensionerande läckage för ny dammutformning.

Damm	Flöde [m ³ /s/m]
A-B (med och utan silt i undergrunden)	5,3·10 ⁻³
B-C (inget vatten i klarningsmagasinet)	4,6·10 ⁻³
B-C (vattennivå i klarningsmagasinet vid DG)	1,1·10 ⁻⁴
B-D (vattennivå i klarningsmagasinet vid DG)	1,1·10 ⁻³

Släntstabilitet

Lastfall

Släntstabilitetsberäkningar har genomförts för samtliga fall där genomströmningsberäkningar har genomförts. Porvattentrycket genom dammen är

i släntstabilitetsberäkningarna hämtad från genomströmningsberäkningarna. Undersökta lastfall är följande, där krav på säkerhetsfaktor anges inom parentes (i enlighet med Tabell 1):

- 1) Dränerade förhållanden i dammen, vattennivå uppströms vid dämningssgräns (annan vattennivå uppströms damm B-C, se avsnitt *Beräkningsfall*) ($SF \geq 1,5$).
- 2) Dränerade förhållanden i dammen, vattennivå uppströms vid överdämningssgräns ($SF \geq 1,3$).
- 3) Dimensionerande läckage, vattennivå uppströms vid dämningssgräns ($SF \geq 1,1$).

Inga beräkningar har gjorts för odränerade förhållanden i dammen. Anledningen till detta är att samtliga dammar är uppbyggda som konventionella vattendämmande dammar, 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. Detta är ett konservativt antagande, då anrikningssand naturligtvis har en skjuvhållfasthet. Men för aktuell design avses anrikningssanden ej ha en bärande funktion, och har således ansatts med obefintlig skjuvhållfasthet.

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 [11].

I SLOPE/W väljs att programmet ska ta fram säkerhetsfaktor för en optimerad glidyta utifrån en beräknad kritisk cirkulär cylindrisk glidyta (inställning *Optimize critical slip surface location* i SLOPE/W). Den optimerade glidytan begränsas inte till att vara helt cirkulär cylindrisk, vilket innebär ett mer realistiskt fall. Säkerhetsfaktorn för den optimerade glidytan är aldrig större än säkerhetsfaktorn för den cirkulär cylindriska glidytan. För mer information om den optimerade glidytan i SLOPE/W, se [11] och [12].

Inställningarna för den optimerade glidytan har satts till att antalet punkter på både start- och slutdelen 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 cirkulär cylindriska glidytan.

Materialparametrar

Hållfasthetsegenskaperna av de ingående materialen i dammen samt i undergrunden har i dagsläget inte undersökts. I släntstabilitetsberäkningarna används därför erfarenhetsbaserade, försiktigt valda, hållfasthetsegenskaperna utifrån liknande material i andra dammanläggningar. I Tabell 5 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°). 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 5. Valda materialparametrar som används med Mohr-Coulombs modell i släntstabilitetsberäkningarna.

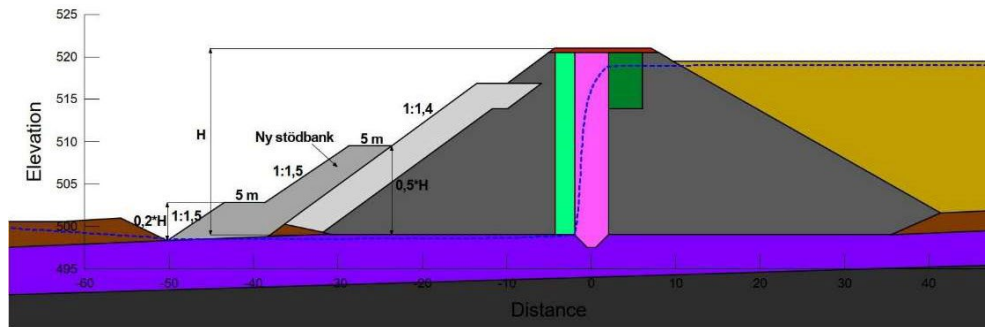
Material	Tunghet	Materialparametrar
Anrikningssand	20 kN/m ³	$\phi' = 0,1^\circ$ $c' = 0$ kPa
Berggrund	-	<i>Bedrock</i> <i>(Impenetrable)</i>
Körskydd	20 kN/m ³	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa
Finfilter	20 kN/m ³	$\phi' = 30^\circ$ $c' = 0$ kPa
Grovfilter	20 kN/m ³	$\phi' = 32^\circ$ $c' = 0$ kPa
Osorterad stödfyllning	20 kN/m ³	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa
Silt	19 kN/m ³	$\phi' = 16,7^\circ$ $c' = 0$ kPa
Torv	12 kN/m ³	$\phi' = 21,8^\circ$ $c' = 0$ kPa
Tåsten	20 kN/m ³	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa
Ny stödbank	20 kN/m ³	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa
Tätkärna	20 kN/m ³	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa
Undergrund (morän)	22 kN/m ³	$\phi' = 35^\circ$ $c' = 0$ kPa

Resultat släntstabilitet

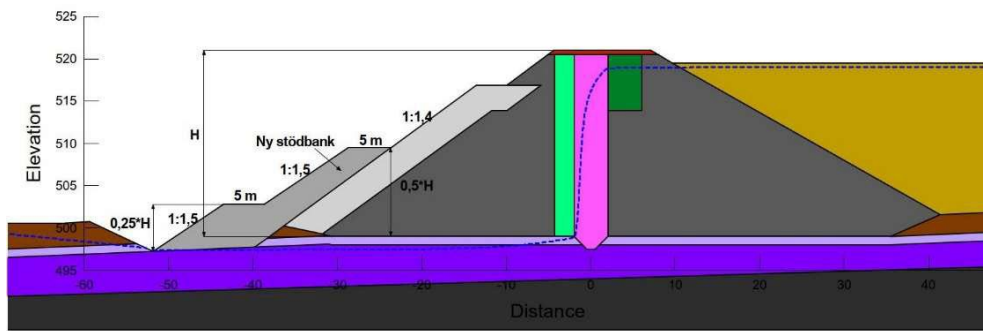
Genomförda släntstabilitetsberäkningar visar att erforderliga säkerhetsfaktorer inte uppnås för alla lastfall som listas i avsnitt *Lastfall* för någon av undersökta tvärsektionerna med nuvarande dammutformning. Således behövs förstärkningsåtgärder vid samtliga dammar. Förstärkningsåtgärderna föreslås ske med en stödbank. En lämplig design på stödbanken har genom beräkningarna tagits fram för samtliga dammar. Stödbanken vid sandmagasinets dammar (dammdel A-B och B-C) har i beräkningarna modellerats som ett välldränerande material.

Stödbankens utformning har iterativt justerats med hänsyn till resultaten i släntstabilitetsberäkningarna. Om en viss utformning har inneburit att erforderlig säkerhetsfaktor inte uppnås, har stödbankens utformning justerats och nya genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar har genomförts. Denna process har upprepats tills erforderlig säkerhetsfaktor uppnåtts för samtliga undersökta lastfall. Utformningen har gjort så att mängden dammbyggnadsmaterial i viss mening minimeras.

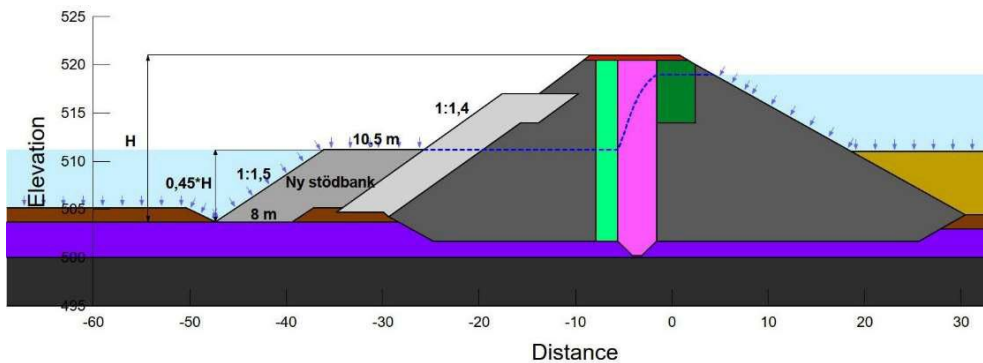
Enligt beräkningarna behöver en ny stödbank anläggas nedströms sandmagasinets dammar (dammdel A-B och B-C) samt uppströms klarningsmagasinets dammar (dammdel B-D och D-E).



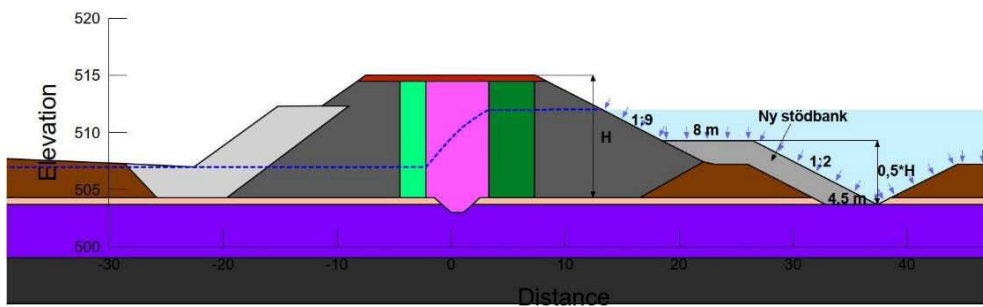
Figur 11. Förstärkningsåtgärder nedströms damm A-B (sektion ca 0+850), där den nya stödbanken iterativt har tagits fram utifrån resultaten från genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna. För detta fall har ingen silt i undergrunden modellerats.



Figur 12. Förstärkningsåtgärder nedströms damm A-B (sektion ca 0+850), där den nya stödbanken iterativt har tagits fram utifrån resultaten från genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna. För detta fall har silt i undergrunden modellerats.



Figur 13. Förstärkningsåtgärder nedströms damm B-C (sektion ca 1+800), där den nya stödbankens utformning iterativt har tagits fram utifrån resultaten från genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna.



Figur 14 Förstärkningsåtgärder uppströms damm B-D och D-E (sektion ca 0+150), där den nya stödbankens utformning iterativt har tagits fram utifrån resultaten från genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningarna.

Med de föreslagna förstärkningsåtgärderna visade det sig att lastfallet med normala driftförhållanden (det första fallet som listas i avsnitt *Lastfall*) var det dimensionerande lastfallet. Vid detta fall är säkerhetsfaktorn 1,5 för samtliga undersökta tvärsnitt. För de andra två lastfallen är beräknade säkerhetsfaktorer högre än erforderliga.

I beräkningarna förutsätts det att de nya stödbankarna grundläggs på fast morän. Eventuella skikt av torv, silt och/eller grus ska avlägsnas från grundläggningsytan.

Som nämnts i avsnitt *Undergrund* finns det osäkerheter om huruvida silt kan förekomma i undergrunden vid vissa avsnitt av damm A-B, vilket är anledningen till att ett fall med och ett fall utan silt har medtagits i beräkningarna. Släntstabilitetsberäkningarna visar emellertid att säkerhetsfaktorn för fallet utan silt är ungefär densamma som vid fallet med silt med en liknande utformning på den nya stödbanken. Skillnaden är att stödbanken anläggs 1 m högre upp vid fallet utan silt (ty silten ersätts med morän i det beräkningsfallet). Detta kan ses vid jämförelse mellan Figur 11 och Figur 12, där stödbanken har en liknande utformning i båda fallen, med skillnaden att den nedre platån av stödbanken har en högre höjd vid fallet med silt.

I beräkningarna har det antagits att torv kan schaktas bort i klarningsmagasinet 3 m från den punkt där dammen (dammdel B-C, B-D och D-E) möter torven i undergrunden. Det är emellertid önskvärt att schakta bort torv så nära dammen som möjligt, då torven försämrar dammens stabilitet. Det är dock oklart hur nära dammarna det kommer gå att schakta bort torv i klarningsmagasinet.

Diskussion

Som nämnts i avsnitt *Resultat släntstabilitet* är det oklart hur nära dammarna det kommer gå att schakta bort torv. Exakt avstånd bör avgöras i detaljprojekteringen. Arbetsmiljön i samband med schaktning bör få central roll i denna bedömning. Om det visar sig att schakt inte kan ske så nära som har modellerats i beräkningarna (3 m från punkten där torven möter dammen), så att mer torv lämnas kvar, behöver nya beräkningar genomföras för att se hur detta påverkar dammens stabilitet. Det gäller även om det inte är möjligt att schakta ända ned till fast morän, så att stödbanken anläggs på torv eller något sedimentskikt. Eventuellt kommer det innebära att mer stödbank behöver läggas ut. Detsamma gäller om mer torv eller andra svaga skikt i undergrunden lämnas kvar än vad som presenteras i genomförda beräkningar vid någon av de andra dammarna.

Slutsatser

Viscarias befintliga dammar har studerats för scenarion motsvarande lastfall enligt GruvRIDAS. Lastfallen innebär högre vattentryck än idag. Genomförda genomströmnings- och släntstabilitetsberäkningar visar på att ingen av de befintliga dammarna uppnår erforderliga säkerhetsfaktorer enligt riktlinjer i GruvRIDAS med nuvarande utformning. Förstärkningsåtgärder behöver genomföras nedströms damm A-B och damm B-C samt uppströms damm B-D och D-E för att erforderlig säkerhet ska uppnås. En föreslagen förstärkningsåtgärd är att anlägga ny stödbank vid dammarna, med utformningar framtagna i denna studie. Stödbanken ska, enligt framtagna utformning, anläggas på fast morän.

Referenser

- [1] Lantmäteriet, "Lantmäteriet - Min karta," 2021. [Online]. Available: <https://minkarta.lantmateriet.se/>. [Använd 2 juli 2021].
- [2] Hexagon, *Flygscanning utförd 210701-210702*, 2021.
- [3] SveMin, "Vägledning för tillämpning av GruvRIDAS - Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet," 2010.
- [4] TCS, "PM Geoteknik Viscaria - Tolkning av geotekniska utredningar," Knutsson, R. Uppdragsnummer: 3142102-500. Koncept 2022-01-28., 2022.
- [5] Golder, "Existing Tailings Facility - Geotechnical Investigation," Golder Associates. Rapportnummer 10512450581., Stockholm, 2011.
- [6] Mitta, "Viscaria dammar - Markteknisk undersökningsrapport (MUR)," Sundström, N., 2021.
- [7] Banverket, "Kiruna, ny järnväg, Järnvägsplan 04, Viscaria-Peuravaara, Del 1," Banverket, 2008.
- [8] Golder, "Viscaria kopparkopparprojekt: Sandmagasin - genomförbarhetsstudie," Rapportnummer: 10512450581/A0, 2011.
- [9] LKAB, "Viscaria - Typsektion genom dammar för avfallsmagasin och klarningsjö," Rev. 1985-03-02. Ritning 144024., 1981.
- [10] LKAB, "Viscaria avfallsdamm - Typsektion över påbyggnad av damm för avfallsmagasin," Rev. 1988-01-19. Ritning 157021., 1985.
- [11] GeoSlope, "Stability Modeling with GeoStudio," GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, 2020.
- [12] GeoSlope, "Slip Surface Optimization," Calgary.

Bilagor

Bilaga 1 Viscaria beräkningar – befintliga dammar

TCS - Tailings Consultants Scandinavia AB

William Sjösten