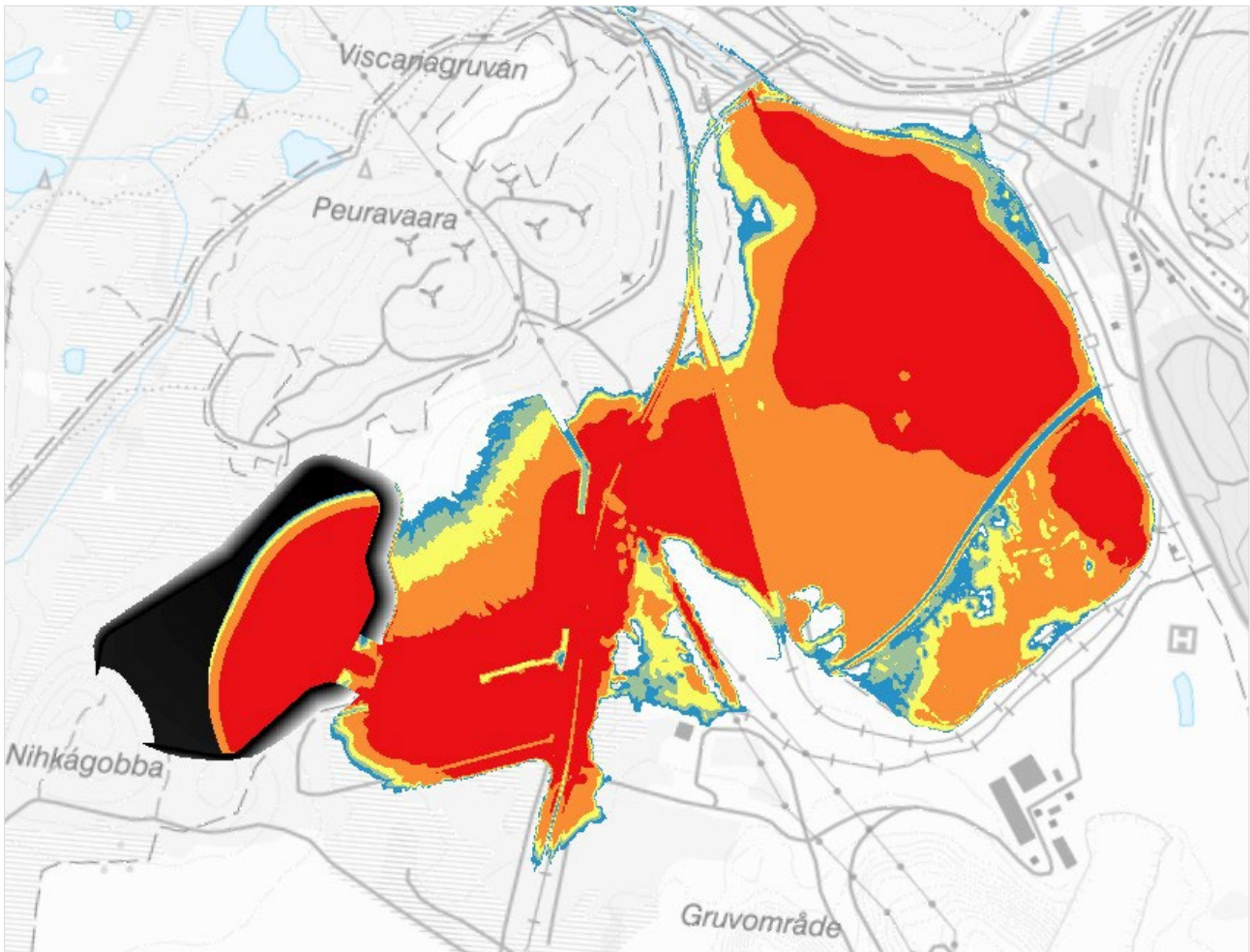


Copperstone Viscaria: Dammhaveri

Utredning av påverkan från dammhaveri vid det
nya sandmagasinet

Copperstones referens: Bilaga A3:1



Ändringsförteckning

Ver:	Datum:	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänt av
1	2021-12-22	Första version	Julius Fritzell	Pierre-Louis Ligier
2	2022-03-11	Komplettering med S dammen	Julius Fritzell	Pierre-Louis Ligier
3	2022-03-16	Justering av vattenvolym i klarningsmagasinet	Julius Fritzell	Pierre-Louis Ligier

Uppdrag: Viscaria dammhaveri
Uppdragsnummer: 30034300
Kund: Copperstone Viscaria AB
Ver: 3
Datum: 2022-03-16
Upprättad av: Pierre-Louis Ligier, Aymane Hassan
Kontrollerad av: Julius Fritzell
Godkänt av: Pierre-Louis Ligier
Dokumentreferens: \\sestofs010\projekt\25463\30034300\000\10_d
oca\rapport\30034300_viscaria_dammhaveri_2
022-03-16.docx

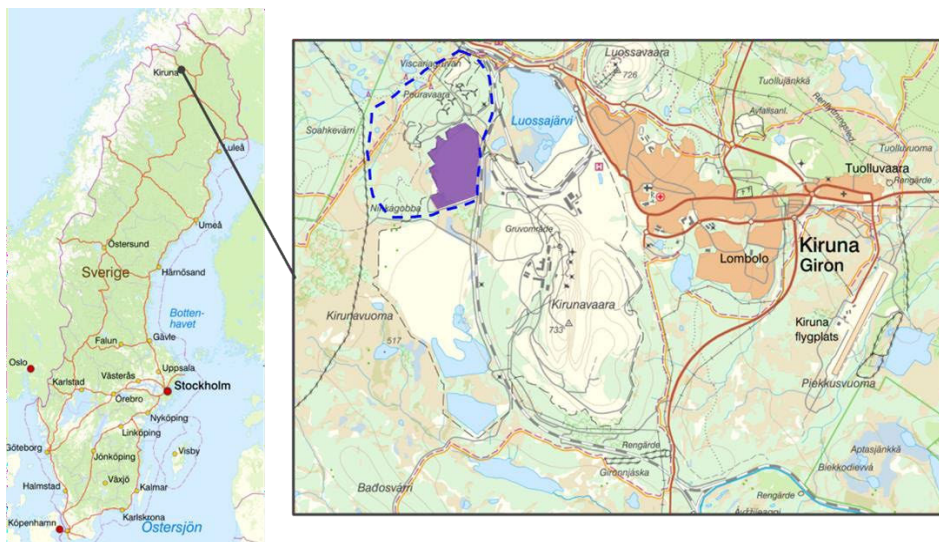
Innehållsförteckning

Ändringsförteckning.....	2
1 Inledning	5
2 Metodik	6
2.1 Områdesbeskrivning	6
2.2 Höjdmodeller	7
2.3 Planerad gruvdammanläggning	9
2.3.1 Utformning av det nya sandmagasinet	9
2.3.2 Befintligt sandmagasin	11
2.3.3 Klarningsmagasin	13
2.3.4 Vattenhantering	14
2.3.5 Dagbrott och gråbergsupplagg	15
2.4 Förutsättningar för dammhaveriutredningen	16
2.5 Dammhaveriantaganden NV dammen	18
2.5.1 Bräschläge och brottmod	18
2.5.2 Bräschdimensioner	20
2.5.3 Utströmmande volym	22
2.5.4 Utvecklingstid	24
2.6 Dammhaveriantaganden Ö dammen	25
2.6.1 Inledning	25
2.6.2 Bräschläge och brottmod	25
2.6.3 Bräschdimensioner	26
2.6.4 Utströmmande volym	27
2.6.5 Utvecklingstid	29
2.6.6 Sekundära brott	29
2.7 Dammhaveriantaganden S dammen	30
2.7.1 Inledning	30
2.7.2 Bräschläge och brottmod	30
2.7.3 Bräschdimensioner	32
2.7.4 Utströmmande volym	32
2.7.5 Utvecklingstid	34
2.8 Reologiska egenskaper för anrikningssanden	35
2.9 Hydrodynamisk modellering	39
2.9.1 Beräkningsprogram	39
2.9.2 NV dammen	39
2.9.3 Ö dammen	43
2.9.4 S dammen	46
2.9.5 Begränsningar	48
2.10 Beräkningsscenarier	49
2.10.1 NV dammen	49
2.10.2 Ö dammen	49
2.10.3 S dammen	49
2.11 Potentiella skadeobjekt	50
3 Resultat NV dammen	62
3.1 Känslighetsanalys	62
3.1.1 Scenario 1	62
3.1.2 Scenario 2	64
3.1.3 Scenario 3	66
3.1.4 Scenario 4	68
3.1.5 Scenario 5	70
3.1.6 Sammanställning	72
3.2 Konsekvenser	75
4 Resultat Ö dammen	78
4.1 Känslighetsanalys	78
4.1.1 Scenario 1	78
4.1.2 Scenario 2	79

4.1.3	Scenario 3.....	81
4.1.4	Sammanställning	83
4.2	Konsekvenser	85
5	Resultat S dammen	88
5.1	Känslighetsanalys	88
5.1.1	Scenario 1.....	88
5.1.2	Scenario 2.....	89
5.1.3	Scenario 3.....	91
5.1.4	Scenario 4.....	93
5.1.5	Scenario 5.....	95
5.1.6	Sammanställning	97
5.2	Konsekvenser	98
5.2.1	Konsekvenser ner till Mettä Rakkurijärvi.....	98
5.2.2	Konsekvenser nedströms Mettä Rakkurijärvi	101
5.3	Diskussion kring konfigurationen för LKAB:s sandmagasin	102
6	Sammanfattning och rekommendationer	103
6.1	Sammanfattning.....	103
6.2	Rekommendationer.....	105
7	Referenser	106

1 Inledning

Copperstone planerar att anlägga ett nytt sandmagasin samt att åter ta befintligt sand- och klarningsmagasin i drift vid Viscarias gruvdammanläggning i Kiruna. Anläggningen ligger i direkt anslutning till LKAB:s gruvområde, strax norr om LKAB:s sandmagasin och väster om sjön Luossajärvi, se Figur 1-1.



Figur 1-1. Översiktsvy. Viscarias gruvdammanläggning redovisas i lila och det ungefärliga gruvområdet enligt markanvisningen med den streckade blå linjen. Källa: TCS.

Sweco har fått i uppdrag att utföra en utredning av påverkan från dammhaveri vid det nya sandmagasinet. Arbetsförutsättningarna har definierats i samråd med följande aktörer:

- Copperstone: allmän information samt underlag om anrikningssandens egenskaper.
- Tailings Consultants Scandinavia (TCS) som ansvarar för dammdesignen.

Resultat från ett annat uppdrag om framtagning av dimensionerande flöden och hantering av höga flöden för anläggningen (Sweco, 2022), har också använts.

I uppdraget ingår att modellera ett eventuellt dammhaveri och bedöma konsekvenserna, dock ingår inte att ta fram förslag till dammsäkerhetsklass. Dammhaveriutredningens syfte är att identifiera vad som kan hända om ett haveri skulle inträffa, detta oberoende av sannolikheten för aktuellt brottscenario. Utförda dammhaveriberäkningar baseras på möjliga brottmekanismer och konservativa antaganden vad gäller total utströmmad volym, med syfte att identifiera de största tänkbara konsekvenserna om ett haveri inträffar.

Använt koordinatsystem är SWEREF 99 20 15.

Samtliga höjdangivelser i detta projekt anges i höjdsystem RH2000. Konverteringssamband som använts är $RH00 + 0,65 \text{ m} = RH2000$.

2 Metodik

2.1 Områdesbeskrivning

En figur över dammanläggningen redovisas i Figur 2-1. Det nya sandmagasinet planeras att anläggas strax väster om det befintliga sandmagasinet.



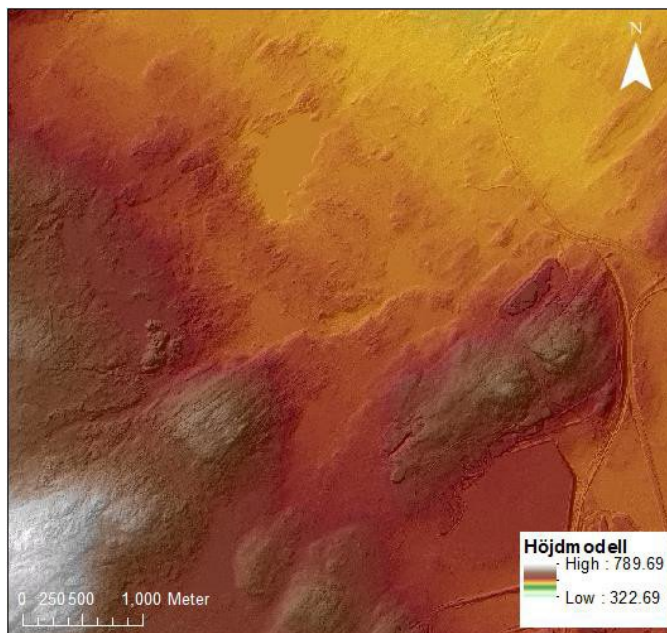
Figur 2-1. Viscarias gruvdammanläggning. Beteckning av de övriga dammdelarna. Källa: TCS.

Dammarna består av följande dammdelar:

- Nya sandmagasinet:
 - o NV dammen.
 - o Ö dammen.
 - o S dammen.
- Befintliga sandmagasinet:
 - o Damm A-B.
 - o Damm B-C.
- Klarningsmagasinet:
 - o Damm B-D.
 - o Damm D-E.

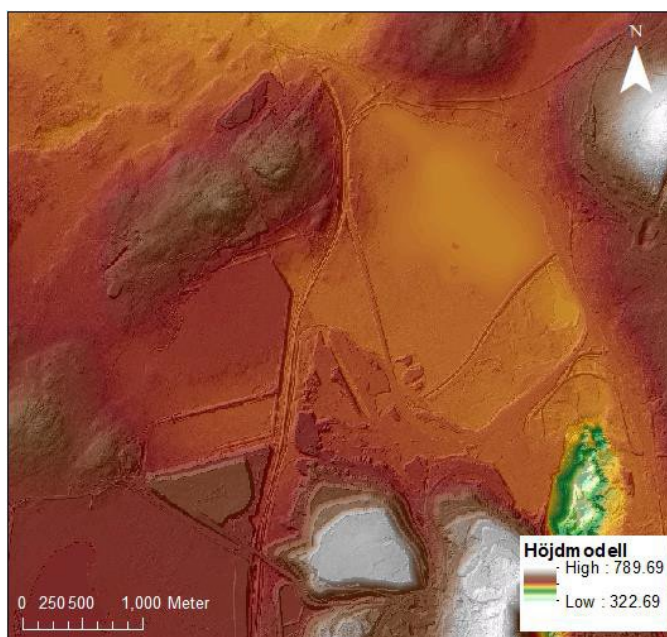
2.2 Höjdmodeller

En höjdmodell över studieområdet hämtades med Scalgo Live. Höjdmodellen beskriver marktopografin i höjdsystemet RH2000 i upplösning 1x1 m och är en kombination av höjddata erhållet vid flygningar utförda olika år. Största delen kommer från flygningar utförda 2011 samt vissa delar, däribland LKAB:s triangeldeponi som ligger söder om klarningsmagasinet, från 2017. Höjdmodellen har justerats lokalt i sjön Luossajärvi för att återskapa sjöns uppskattade volym vid DG, ca 8 Mm³ (LKAB, 2017). Höjdmodellen som beskriver nuvarande topografi illustreras i Figur 2-2.



Datum: 2021-12-16 Upprättad av: Aymane Hassan

SWECO 

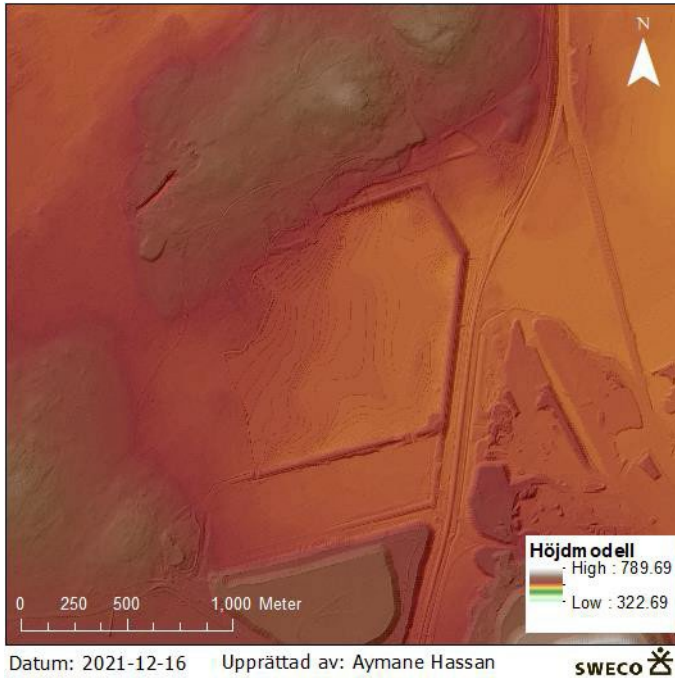


Datum: 2021-12-16 Upprättad av: Aymane Hassan

SWECO 

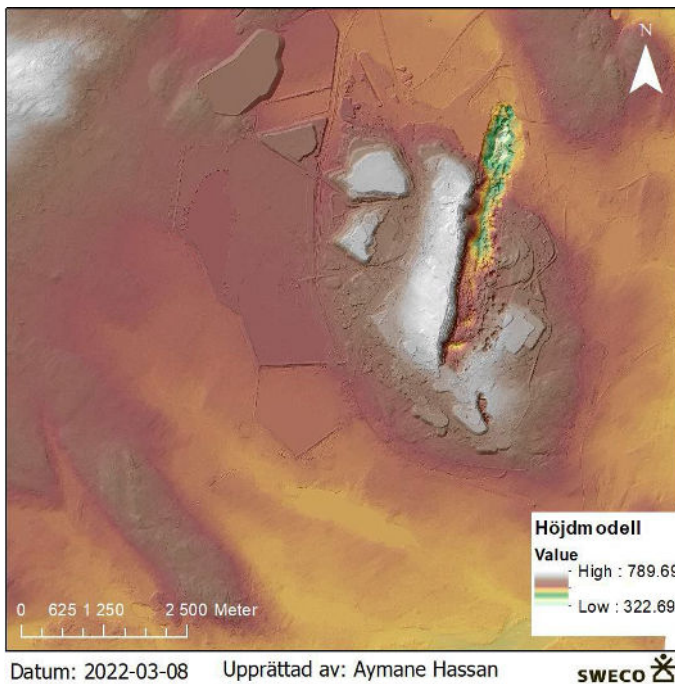
Figur 2-2. Höjdmodell för nuvarande topografi. Övre bild: norr om Viscarias gruvområde. Nedre bild: inom och öster om Viscarias gruvområde.

En höjdmmodell över marknivåer under det befintliga sandmagasinet har erhållits av TCS, se Figur 2-3 Denna höjdmmodell har använts för att uppskatta volymen av deponerad anrikningssand i det befintliga sandmagasinet.



Figur 2-3. Höjdmmodell med ursprunglig topografi under deponerad sand i befintliga sandmagasinet.

En höjdmmodell över marknivåer söder om det nya sandmagasinet har också tagits fram för att kunna utföra dammhaveriberäkningar för S dammen. Höjdmodellen illustreras i Figur 2-4.

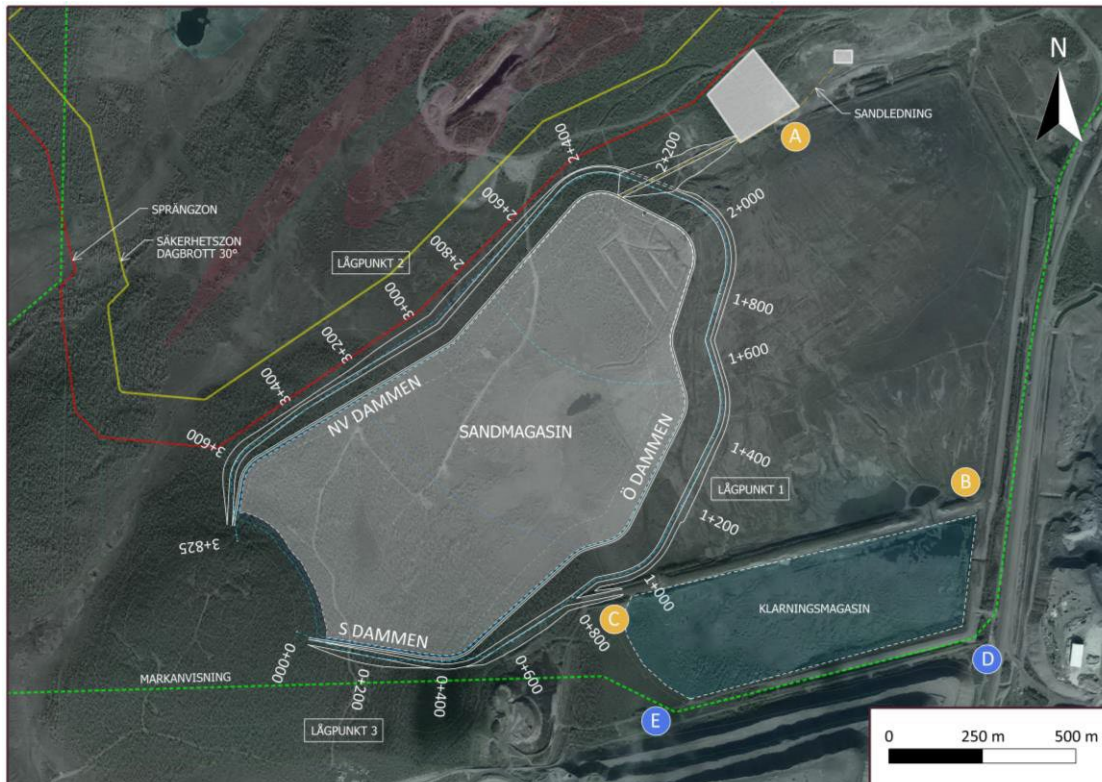


Figur 2-4. Höjdmmodell för nuvarande topografi söder om Viscarias gruvområde.

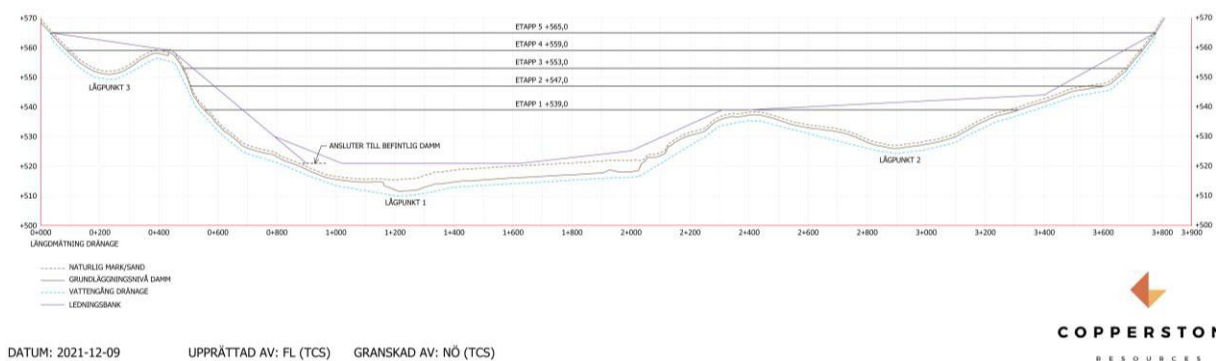
2.3 Planerad gruvdammanläggning

2.3.1 Utformning av det nya sandmagasinet

Det nya sandmagasinet planeras att anläggas strax väster om det befintliga sandmagasinet, se Figur 2-5. En längdprofil längs dammkrönet redovisas i Figur 2-6.

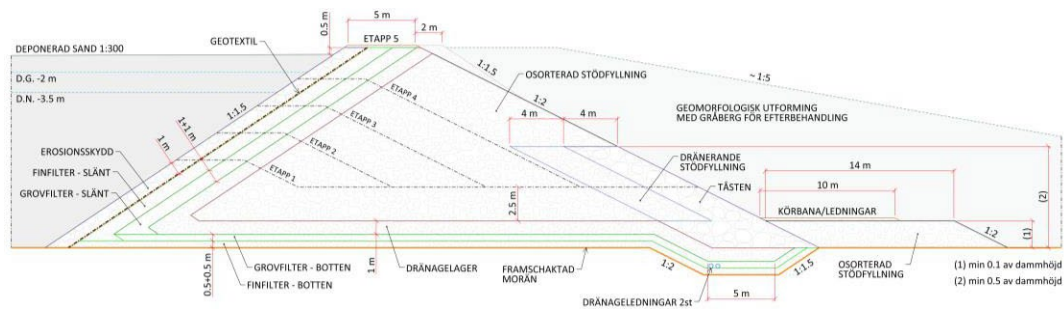


Figur 2-5. Nytt sandmagasin. Översiktsvy. Källa: TCS.



Figur 2-6. Nytt sandmagasin. Längdprofil utmed dammkrön. Källa: TCS.

Dammens typsektion redovisas i Figur 2-7. Dammen designas som en s.k. utåtdamm med krossade och sorterade filtermaterial på uppströmssidan. För stödfyllningen används osorterade material.



Figur 2-7. Nytt sandmagasin. Typsektion. Källa: TCS.

Karaktäristiska uppgifter för nytt sandmagasin och tillhörande damm för slutlig dammhöjd sammanfattas nedan:

- Sandmagasin:

- Total deponerad volym: 22 Mm³.
- Slutlig sandyta: varierar mellan +560 och +564,5 (deponering sker norrifrån).
- Driftnivå DN: +561,5.
- Dämningsgräns DG: +562.
- Tröskelnivå: +563,5.
- Maximal överdämningsnivå: +564.
- Magasinerad vattenvolym vid DG: 0,43 Mm³.
- Total magasinerad vattenvolym vid Klass I-flöde: 0,88 Mm³ (magasinerad vattenvolym vid DG 0,43 Mm³ + 0,45 Mm³ = 0,88 Mm³, 0,45 Mm³ motsvarar den totala nederbörden under Klass I-händelsens 14 dygn 460,5 mm och avrinningsområdet på 0,974 km², vattennivån når då upp till +562,84 (Sweco, 2022)).

- Damm:

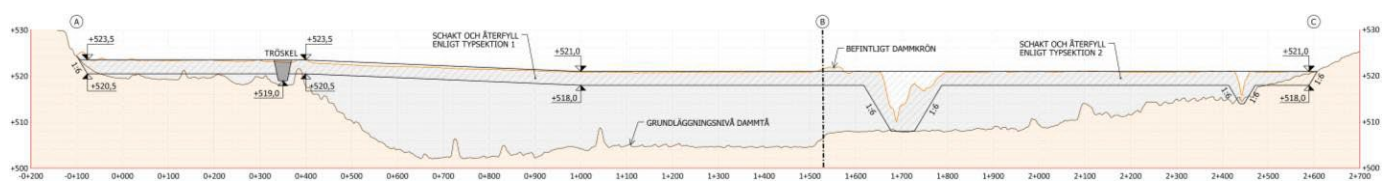
- Slutligt dammkrön: +565.
- Sidoslänter:
 - Upströms: 1:1,5.
 - Nedströms 1:1,5 till 1:2,0 innan efterbehandling.
 - (Nedströms ca 1:5 efter utförd efterbehandling)
- Krönbredd: 7m (5+2 m).
- Högsta dammhöjd ovanför naturlig mark: ca 50 m vid lågpunkt 1, ca 38 m vid lågpunkt 2 och ca 12 m vid lågpunkt 3, se avsnitt 2.5.2, 2.6.3 och 2.7.3 för identifiering av lågpunkter och höjder.
- Krönlängd: 3 825 m.

2.3.2 Befintligt sandmagasin

Det befintliga sandmagasinet är ca 1,5 km långt mellan punkterna A och B och ca 1,1 km mellan punkterna B och C, se Figur 2-1, samt Figur 2-8 och Figur 2-9 nedan. Krönnivån varierar mellan +523,5 i norr och +521,0 i söder.

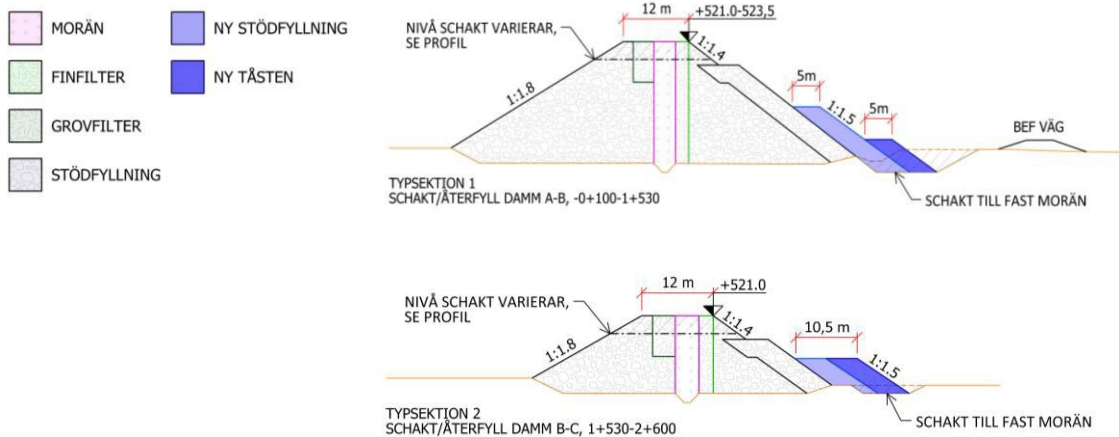


Figur 2-8. Befintligt sandmagasin. Översiktsvy. Källa: TCS.



Figur 2-9. Befintligt sandmagasin. Längdprofil utmed dammkrön. Källa: TCS.

Dammen är byggd som en vanlig fyllningsdamm med stödfyllning samt med central tätjärna (Golder, 2011). Två typsektioner redovisas i Figur 2-10, en för Dam A-B och en för damm B-C. Använt material för stödfyllning anges motsvara en fraktion 0/30 eller 0/100 (Golder, 2011).



Figur 2-10. Befintligt sandmagasin. Typsektion för Dam A-B och Dam B-C (Källa: TCS).

Karaktäristiska uppgifter för det befintliga sandmagasinet och de planerade driftförutsättningarna sammanfattas nedan:

- Tidigare deponerad volym: 9,1 Mm³.
- Maximal planerad driftnivå DN: +513,0 (magasinet ska försökas hållas tomt vid normal drift, källa: TCS).
- Planerad dämningräns DG: +519,0.
- Planerad tröskelnivå: +519,0.
- Planerad maximal överdämningnivå: +520,0.
- Planerad magasinerad vattenvolym vid +513,0: 0,13 Mm³.
- Dammkron sluttande från +523,5 i norr till +521 i söder.
- Total planerad magasinerad vattenvolym vid Klass I-flöde: 0,80 Mm³ (vid maximal vattennivå +517,0 och motsvarande startnivå DN +513) (Sweco, 2022). Det vill säga att vattennivån inte beräknas nå upp till tröskelnivån vid Klass I-flödet.

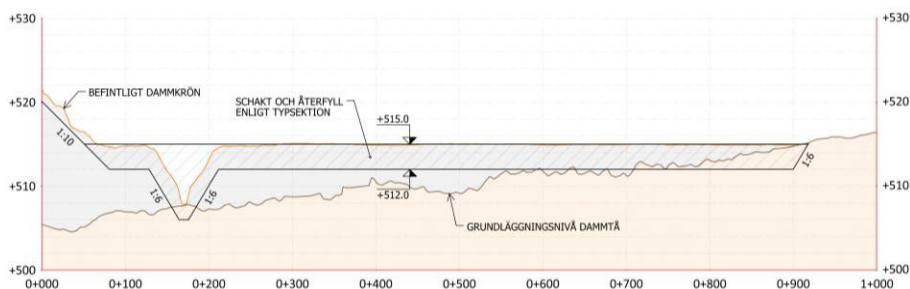
Dammen runt det befintliga sandmagasinet har grävts av vid två positioner (längs Dam B-C) för att göra dammanläggningen hydrauliskt transparent. I projektet ingår att inför drifttagandet bygga upp de avgrävda delarna till tidigare krönnivå +521.

2.3.3 Klarningsmagasin

Klarningsmagasinet är ca 0,35 km långt mellan punkterna B och D och ca 1,0 km mellan punkterna D och E, se Figur 2-1 samt Figur 2-11 och Figur 2-12 nedan.



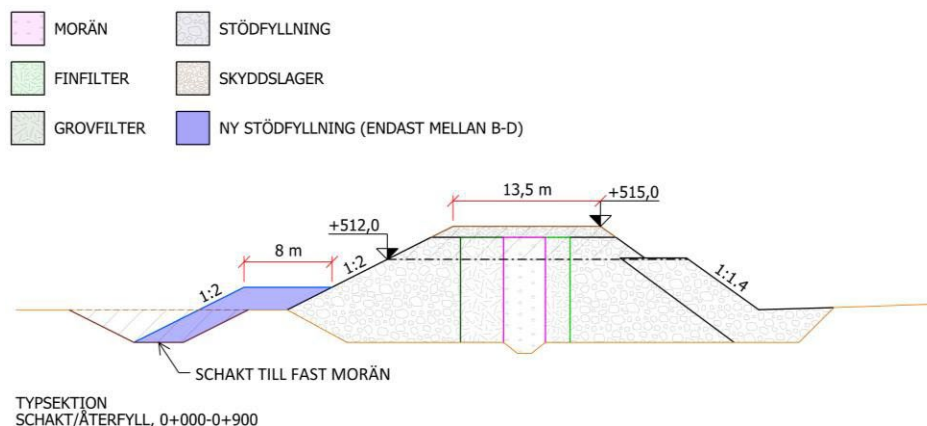
Figur 2-11. Klarningsmagasin. Översiktsvy. Källa: TCS.



Figur 2-12. Klarningsmagasin. Längdprofil utmed dammkrönen. Källa: TCS.

En schakt planeras i magasinet för att utöka magasinet volym. Schaktens volym har beaktats i volymläkningarna som redovisas nedan.

Dammen är byggd som en vanlig fyllningsdamm med stödfyllning samt med central tätjärna (Golder, 2011). En typsektion redovisas i Figur 2-13. Använt material för stödfyllning anges motsvara en fraktion 0/30 eller 0/100 (Golder, 2011).



Figur 2-13. Klarningsmagasin. Typsektion Dam B-D. Källa: TCS.

Dammen runt klarningsmagasinet har grävts av vid en position (längs Dam B-D) för att göra dammanläggningen hydrauliskt transparent. I projektet ingår att inför drifttagandet bygga upp de avgrävda delarna till tidigare krönnivå +515.

Karaktäristiska uppgifter för klarningsmagasinet och de planerade driftförutsättningarna sammanfattas nedan:

- Planerad driftnivå DN: +511,5.
- Planerad dämningegräns DG: +512,0.
- Planerad tröskelnivå: +512,5.
- Planerad maximal överdämningnivå: +513,0.
- Dammkronets nivå: +515.
- Planerad magasinerad vattenvolym vid DN +511,5: 0,63 Mm³.
- Planerad magasinerad vattenvolym vid tröskelnivå +512,5: 0,84 Mm³.
- Planerad magasinerad vattenvolym vid överdämningnivån +513,0: 0,95 Mm³.

Det bör noteras att ovanstående uppgifter vad gäller vattenvolym motsvarar det senaste schaktningsalternativet för klarningsmagasinet, som togs fram efter att dammhaveriberäkningarna för Ö-dammen utfördes. Använd startnivån i beräkningarna är +512,5 (d.v.s. tröskelnivån, se avsnitt 2.9.3) vilket motsvarar en vattenvolym på 0,75 Mm³ enligt den tidigare configurationen. Använd vattenvolym är därmed 0,09 Mm³ lägre än den planerade magasinerade vattenvolymen vid tröskelnivå (0,84 Mm³, se ovan). Denna skillnad motsvarar dock mindre än 1% av den totala utströmmande volymen vid dammhaveri vid Ö-dammen vilket innebär att inverkan på resultatet bedöms vara icke betydande.

2.3.4 Vattenhantering

Under normal drift kommer allt processvatten hanteras inom gruvområdet genom ledningar, diken och pumpstationer som tar vatten från klarningsmagasinet tillbaka till gruvan. Ingen bräddning planeras att ske från klarningsmagasinet till diket som mynnar i Luossajärvi (källa: TCS).

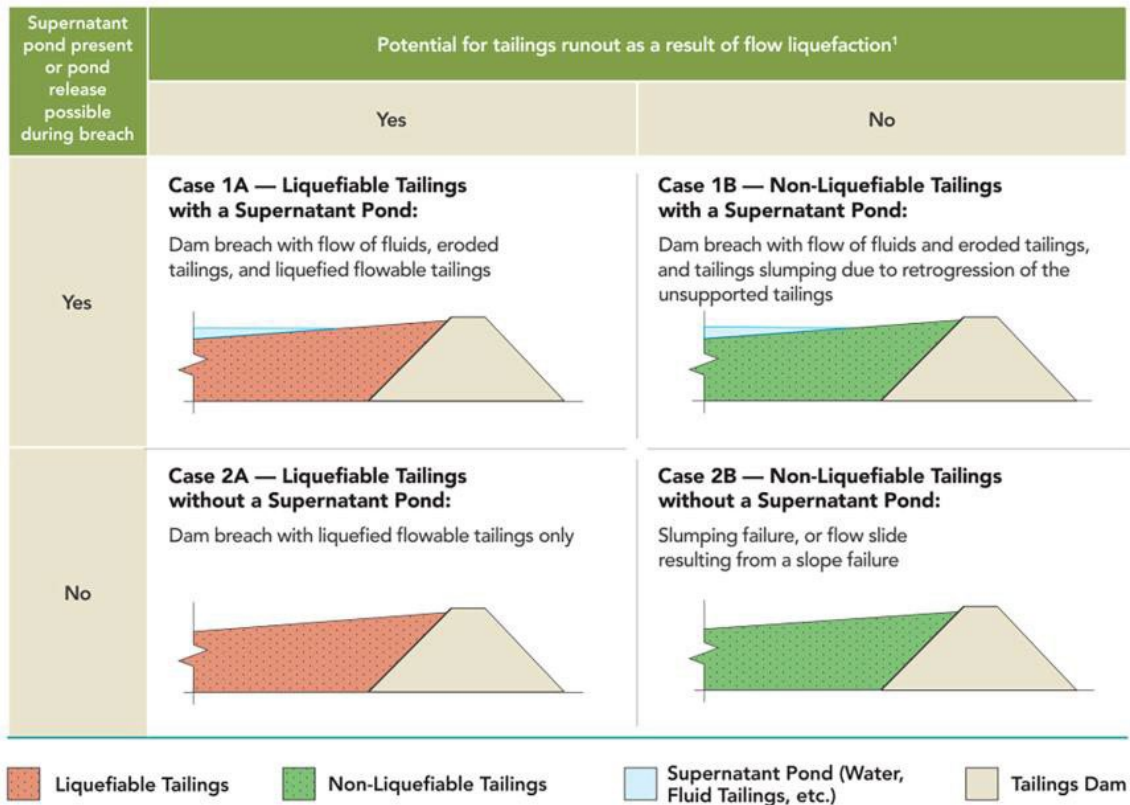
I den planerade gruvdammanläggningen kommer nederbördsmängden vid ett Klass I-flöde att kunna lagras helt i det nya och i det befintliga sandmagasinet (Sweco, 2022). Högsta vattenstånd efter Klass I-sekvensen ligger därför lägre än den planerade tröskelnivån i respektive magasin. I klarningsmagasinet kommer däremot vatten att kunna brädda över nödtröskeln vid ett Klass I-flöde (Sweco, 2022).

2.4 Förutsättningar för dammhaveriutredningen

De utförda dammhaveriberäkningarna har baserats på nedanstående förutsättningar som bestämdes i samråd med Copperstone och TCS:

- Dammarna dimensioneras för att klara ett Klass I-flöde.
- Dammhaveriberäkningarna baseras på konservativa, dock inte orimliga, antaganden vad gäller total utströmmande volym med syfte att identifiera de största tänkbara konsekvenserna.
- Risken att anrikningssanden förvätskas i samband med dammbrott kan inte uteslutas med hänsyn till att sanden troligtvis kommer att vara finkornig och ha en relativt hög vattenmättnadsgrad.
- Dammhaveri undersöks för configurationen som bedöms medföra de största utströmmande volymerna:
 - o Det nya sandmagasinet är färdigbyggt vid slutlig krönnivå +565.
 - o Stödfyllningarna som planeras vid efterbehandlingen är inte utförda ännu.
 - o Dagbrotten som ligger nedströms NV dammen är igenfyllda eller ej utbrutna.
- Dammhaveri undersöks vid ett hydrologiskt scenario motsvarande ett Klass I-flöde. Detta scenario förväntas medföra de största konsekvenserna (inkl. marginalkonsekvenser) eftersom den magasinerade vattenvolymen vid ett Klass I-flöde är stor vilket bidrar till en större total utströmmande volym samt lägre reologiska egenskaper för anrikningssanden. Inverkan av magasinerad vattenvolym har analyserats i en känslighetsanalys.
- Vattenhanteringssystemet är ur i drift under höga, extrema flöden (t.ex. Klass I).

Utifrån ovanstående förutsättningar anses dammhaveriscenarier tillhöra kategorin 1A eller 2A enligt riktlinjer från Canadian Dam Association (CDA) (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019), se Figur 2-15.



Figur 2-15. Kategorier för dammhaveri i gruvdammar enligt CDAs riktlinjer. Figur från (Rana et al., 2021).

2.5.2 Bräschdimensioner

Bräschen antas kunna utvecklas ner till naturlig marknivå nedströms dammen, +527. Bräschen höjd blir därmed 38 m relativt slutlig dammkrön (+565) och 36 m relativt slutlig sandytan intill bräschläget (ca +563). Referensvärdet för bräschen höjd blir 36 m, dvs. sandhöjden i magasinet vid bräschläget.

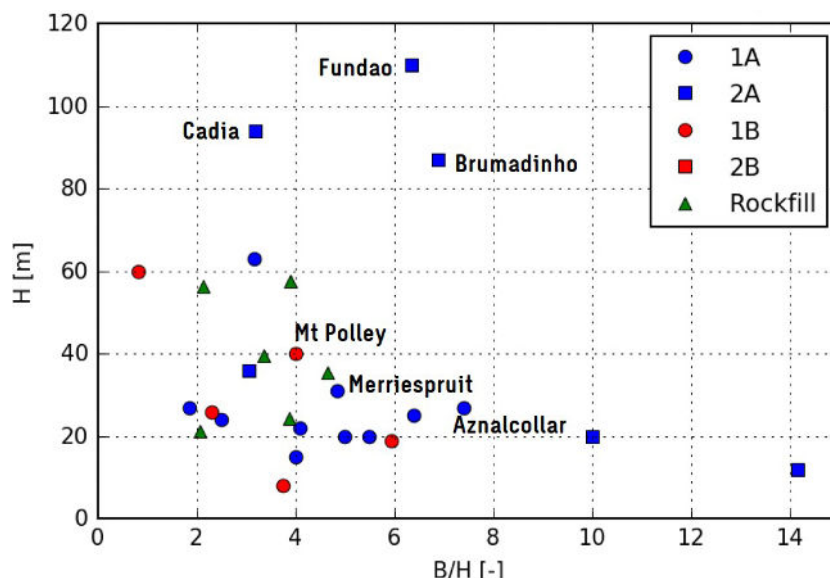
Bedömningen av trolig bräschbredd är komplex eftersom erfarenheten från liknande händelser är mycket begränsad. Följande metoder kan användas som stöd:

- Analys av bräschdimensioner från dokumenterade dammhaverier.
- Internationella riktlinjer.
- Empiriska formler.

Bedömningen av bräschdimensioner görs ofta genom analys av den s.k. bräschkvoten B/H [-], där:

- B: bräschen medelbredd [m].
- H: bräschen höjd [m].

En databas över dokumenterade dammhaverier i gruvdammar redovisas i (Rana et al., 2021). Datan har analyserats för de fyra olika kategorierna av dammhaverier definierade i Figur 2-15 inkl. data från dammhaverier i stenfyllningsdammar (Wahl, 1998). Resultat redovisas i Figur 2-19.



Figur 2-19. Bräschkvot B/H för dokumenterade dammhaverier i gruvdammar samt stenfyllningsdammar som funktion av dammhöjd (se även Figur 2-15 för förklaring av kategorierna 1A/1B/2A/2B).

Av denna figur framgår att det finns en stor spridning för bräschkvoten i gruvdammar, mellan ca 2 och 14 för kategorierna 1A och 2A som anses vara relevanta för Viscaria. Det finns ingen direkt korrelation mellan dammhöjden H och bräschkvoten B/H . Det bör noteras att merparten av de dammhaverier som ingår i databasen har skett i gruvdammar med klassisk utformning, främst inåtdammar. Därför har datan kompletterats med information om dammhaverier i stenfyllningsdammar som bedöms kunna tillämpas för nya sandmagasinets damm. Även för stenfyllningsdammar finns det ingen korrelation mellan dammhöjden H och bräschkvoten B/H . Bräschkvot för stenfyllningsdammar varierar mellan ca 2 och knappt 5 (gäller dock för vattendämmande dammar).

FERC:s (USA:s Federal Energy Regulatory Commission) riktlinjer används ofta vad gäller definition av bräschdimensioner och utvecklingstid. Riktlinjerna gäller främst vattendämmande dammar men bedöms kunna användas som stöd även för gruvdammar. Dessa riktlinjer anger en rekommenderad bräschkvot B/H mellan 1 och 5 (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019).

Det finns ett flertal empiriska formler för att uppskatta bräschens medelbredd. Formlerna sammanställs i exempelvis (Wahl, 1998) samt (Martin, Fontaine, & Cathcart, 2015) och togs fram utifrån analys av dammhaverier i främst vattendämmande dammar. Dessa används dock som stöd även för gruvdammar (Martin, Fontaine, & Cathcart, 2015) (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019). Formlerna använder bräschens höjd H och den utströmmande volym som indata. Uppskattad bräschkvot redovisas i Tabell 2-1 där använd utströmmad volym är 5,08 Mm³ vilket motsvarar använt värde i flodvägsberäkningarna (se avsnitt 2.5.3).

Tabell 2-1. NV dammen. Uppskattad bräschkvot med empiriska formler.

Formula	B/H
Froehlich	1.2
Von Thun & Gillette	3.0
Fread	1.5

Resultat från empiriska formler ligger i underkant i förhållande till indikationer från både historiska händelser samt FERC:s riktlinjer.

Val av dimensionerande bräschkvot bör göras genom att beakta:

- Dammtypen. Dammen i vilken bräsch utvecklas är en stenfyllningsdamm som kan antas ha en större förmåga att motstå erosion än de mer klassiska inåtbyggda gruvdammarna som är överrepresenterade i databasen.
- Utströmmande material. Den utströmmande volymen består framförallt av förvätskad anrikningssand (inkl. porvatten) som har en densitet ungefär dubbelt så hög som vatten. Eftersom erosionskrafter är proportionella mot vätskans densitet kan utströmning av anrikningssand antas orsaka större bräscher än vad som antas kunna ske vid utströmning av vatten.

Utifrån ovanstående resonemang bedöms det att ett lämpligt intervall för bräschkvoten för NV dammen är 3 till 5 vilket motsvarar en medelbräschbredd på 108 respektive 180 m.

Den slutligt utströmmade volymen togs fram för en bräschkvot på 5 (d.v.s. medelbräschbredd 180 m), se resonemang i avsnitt 2.5.3.

2.5.3 Utströmmande volym

Till skillnad från vattendämmande dammar brukar inte haverier i gruvdammar leda till utströmmande av hela magasinvolymen ovanför bräschens lägsta nivå. För gruvdammar kan storleken av den utströmmande volymen variera kraftigt beroende på förutsättningarna, mellan nästan noll volym till nästan 100% av den magasinerade volymen. De faktorer som potentiellt kan påverka storleken av den utströmmande volymen är:

- Dammtypen (in, upp, eller utåt) samt material för stödfyllningen och grundläggningen.
- Anrikningssandens karaktäristika:
 - o Deponeringsmetod.
 - o Förvätskningspotential.
 - o Geotekniska och reologiska egenskaper.
- Magasinerad frivattenvolym.
- Sandmagasinets utformning, volym och geometri, sanddjup ner till naturlig mark samt lokalisering av frivattenmagasinet relativt bräschläget
- Brottmod och bräschförlopp.
- Hydrologiska förhållanden.
- Topografin nedströms bräschens samt topografin under deponerad anrikningssand (som potentiellt kan begränsa storleken av den utströmmande volymen).

Det bör noteras att volymen utströmmande anrikningssand som används i dammbrottsberäkningarna består av anrikningssanden plus porvattnet.

Det stora antalet påverkansfaktorer medför att uppskattningen av den totala utströmmande volymen är komplex. Ett flertal metoder, som baseras på observationer och/eller empiriska analyser, finns dock tillgängliga. Dessa metoder, där de flesta redovisas i (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019), listas nedan:

1. Geometrisk uppskattning baserad på observationer från historiska händelser (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019).
2. Empiriskt samband mellan total magasinerad volym (anrikningssand och vatten) och total utströmmande volym (anrikningssand och vatten) från (Rico, Benito, & Dies-Herrero, 2007).
3. Beräkning av total utströmmande volym (anrikningssand och vatten) beroende på antagen mängd material i det utströmmande flödet samt av volymen magasinerat vatten (Fontaine & Martin, 2015).
4. Empiriskt samband mellan total magasinerad volym (anrikningssand och vatten) och kvoten mellan ytorna för vattenmagasin och sandmagasin (Rourke & Lupponow, 2015).

De fyra olika metoderna ger ofta en stor spridning i resultat. Dessutom gäller inte alla metoder vid utströmning av förvätskad anrikningssand. Den geometriska uppskattningen (metod 1 ovan) bedöms vara den mest relevanta metoden för att uppskatta den totala utströmmande volymen från bräscher med stora bräschhöjder (>20 m) och är den metod som har använts i analysen. För S dammen, vars bräschhöjd är mindre än 10 m, har även metod 3 ovan använts, se avsnitt 2.7.4.

Denna metod baseras på observationer av flertalet sandmagasins form och geometri efter haveri med utströmning av förvätskad anrikningssand. Dessa observationer indikerar att erosionskonen som bildas till följd av haveriet karaktäriseras med en lutning som varierar mellan 3,5 och 5 grader.

Med denna metod beror den totala utströmmade volymen på bräschhöjden, bräschbredden och erosionskonens lutning. För att uppskatta den utströmmande volymen (anrikningssand inkl. porvatten, dock exkl. fritt magasinerat vatten) har en enkel geometrisk beräkning utförts där erosionskonens volym tas fram för olika bräschkvoter (3 och 5) samt olika lutningar (3,5, 4 och 5 grader), se Tabell 2-2.

Tabell 2-2. NV dammen. Förenklad uppskattning av erosionskonens volym för olika geometriska konfigurationer.

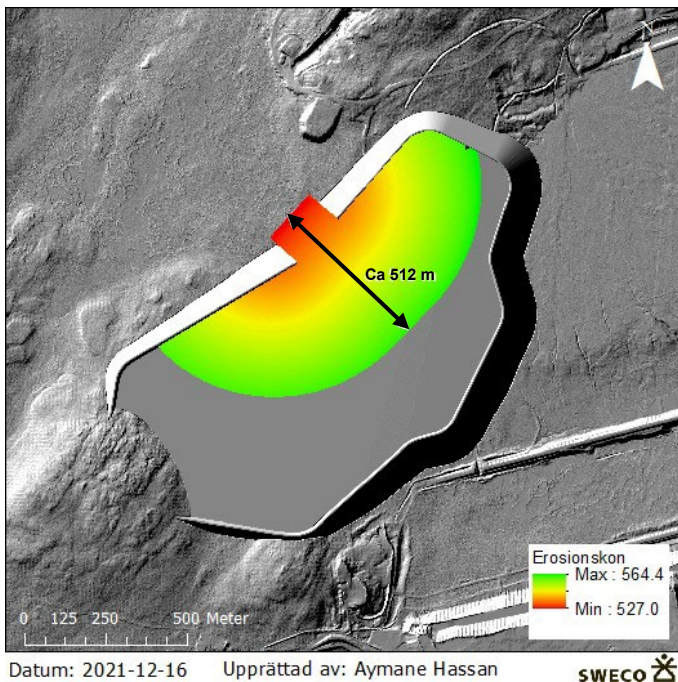
B/H [-]	Vinkel [gr]	V _{a-sand} [Mm ³]
3	3.5	7.7
3	4	6.0
3	5	4.0
5	3.5	8.5
5	4	6.7
5	5	4.6

Beräkningarna visar att erosionskonens lutning har större inverkan än bräschkvoten på resultatet. För en lutning på 4 grader, som anses vara ett rimligt referensvärde, är total utströmmande volym anrikningssand 6,0 och 6,7 Mm³ för en bräschkvot på 3 respektive 5, vilket motsvarar en skillnad på 12%. Utifrån denna analys har en bräschkvot på 5 (d.v.s. medelbräschbredd på 180 m) valts för att ta fram den slutliga sandvolymen för erosionskonen.

Den slutliga volymen för erosionskonen har tagits fram i GIS-miljö utifrån följande principer och antaganden:

- Sandmagasinets form beaktas, vilket kan leda till andra resultat än beräkningarna ovan som antar att dammen är helt rak (180 grader).
- Erosionskonen utformas geometriskt som en 4-graders lutning som börjar vid högsta punkten för naturlig mark +527, vilken ligger ca 100 m nedströms dammlinjen.
- Naturlig topografi inom planerat sandmagasin används så att enbart deponerad anrikningssand som ligger ovanför den naturliga marknivån räknas med.
- Erosionskonens volym beräknas mellan konens yta och slutlig planerad sandytan (källa: TCS).

Den resulterande erosionskonen motsvarar då en volym på 4,2 Mm³ och redovisas i Figur 2-20. Denna volym är mindre än den förenklade uppskattningen ovan eftersom konen anses börja vid högsta naturlig marknivå som ligger nedströms bräschläget. Detta innebär att konens bottennivå vid bräschläget är högre än +527, och förklarar varför den slutliga geometriska volymen blev något mindre.



Figur 2-20. NV dammen. Erosionskon.

Den totala utströmmande volymen, som innefattar både anrikningssand (inkl. porvattnet) och fritt magasinerat vatten vid Klass I-flöde, uppgår till $4,2 + 0,88 = \text{ca } 5,1 \text{ Mm}^3$.

Dammkroppens volym inkluderas ej i den totala utströmmande volymen. Fyllningsmaterialet (osorterat gråberg) bedöms inte kunna transporteras långt från bräschläget och bedöms därmed inte ha någon inverkan på översvämningens utbredning.

2.5.4 Utvecklingstid

Val av rimlig utvecklingstid är svårt eftersom erfarenhet från liknande händelser är mycket begränsad. Följande metoder kan användas som stöd:

- Internationella riktlinjer.
- Empiriska formler.

I FERC:s riktlinjer rekommenderas en utvecklingstid för bräschens mellan 0,1 och 1 timme (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019).

Det finns ett flertal empiriska formler för att uppskatta bräschens utvecklingstid. Formlerna sammanställs i exempelvis (Wahl, 1998) samt (Martin, Fontaine, & Cathcart, 2015) och togs fram utifrån analys av dammhaverier i främst vattendämmande dammar. Dessa används dock som stöd även för gruvdammar (Martin, Fontaine, & Cathcart, 2015) (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019). Formlerna använder generellt bräschens höjd H och utströmmande volym som indata. Uppskattad bräschkvot redovisas i Tabell 2-3 där använd utströmmande volym är $5,08 \text{ Mm}^3$ vilket motsvarar använt värde i flodvägsberäkningar (se avsnitt 2.5.3).

Tabell 2-3. NV dammen. Uppskattad utvecklingstid för bräschen med empiriska formler.

Formula	Formation time (hr)
Froehlich	0.4
Von Thun & Gillette (*)	1.0
Von Thun & Gillette	0.5
Fread	0.4
McDonald	1.0

(*) For material with good capacity to withstand erosion

Val av utvecklingstid bör göras genom att beakta liknande parameter som för bräschens medelbredd, se avsnitt 2.5.2.

För bräschen vid NV dammen bedöms det att ett lämpligt intervall för bräschens utvecklingstid är 15 minuter till 1 timme. Dammhaveriberäkningarna har utförts för båda utvecklingstiderna för att analysera hur mycket resultatet påverkas av utvecklingstiden.

2.6 Dammhaveriantaganden Ö dammen

2.6.1 Inledning

Dammhaveriantagandena för Ö dammen skiljer sig inte avsevärt från NV dammen, de största skillnaderna är relaterade till skillnaden i dammens höjd vid bräschläget och motsvarande utströmningsvolym. Genomgången av definierade dammhaveriantaganden görs därmed relativt NV dammen med fokus på skillnaderna som blir unika för Ö dammen.

2.6.2 Bräschläge och brottmod

Bräschläget definieras vid den högsta dammhöjden för Ö dammen, vilken ligger vid "lågpunkt 1" vid längdmätning ca 1+200, se Figur 2-21 och Figur 2-22. Naturlig mark (ej tidigare deponerad anrikningssand) vid bräschläget är ca +515.

Tabell 2-4. Ö dammen. Uppskattad bräschkvot med empiriska formler.

Formula	B/H
Froehlich	1.2
Von Thun & Gillette	3.4
Fread	1.4

Även för Ö dammen bedöms det att ett lämpligt intervall för bräschkvoten är 3 till 5 vilket motsvarar en medelbräschbredd på ca 142 respektive ca 236 m.

Slutlig utströmmande volym togs fram för en bräschkvot på 5 (d.v.s. medelbräschbredd ca 236 m), se resonemang i avsnitt 2.6.4.

2.6.4 Utströmmande volym

Den utströmmande volymen för Ö dammen uppskattas utifrån samma princip som för NV dammen, d.v.s. med hjälp av en geometrisk uppskattning av erosionskonens form och volym i slutet av haveriförloppet (se avsnitt 2.5.3). Erosionskonen antas karaktäriseras med en lutning som varierar mellan 3,5 och 5 grader.

Med denna metod beror den totala utströmmande volymen på bräschhöjden, bräschbredden och erosionskonens lutning. För att uppskatta den utströmmande volymen (anrikningssand inkl. porvatten, dock exkl. fritt magasinerat vatten) har en enkel geometrisk beräkning utförts där erosionskonens volym tas fram för olika bräschkvot (3 och 5) samt olika lutningar (3,5, 4 och 5 grader), se Tabell 2-5.

Tabell 2-5. Ö dammen. Förenklad uppskattning av erosionskonens volym för olika geometriska konfigurationer.

B/H [-]	Vinkel [gr]	V _{a-sand} [Mm ³]
3	3.5	17.5
3	4	13.7
3	5	9.1
5	3.5	19.2
5	4	15.2
5	5	10.4

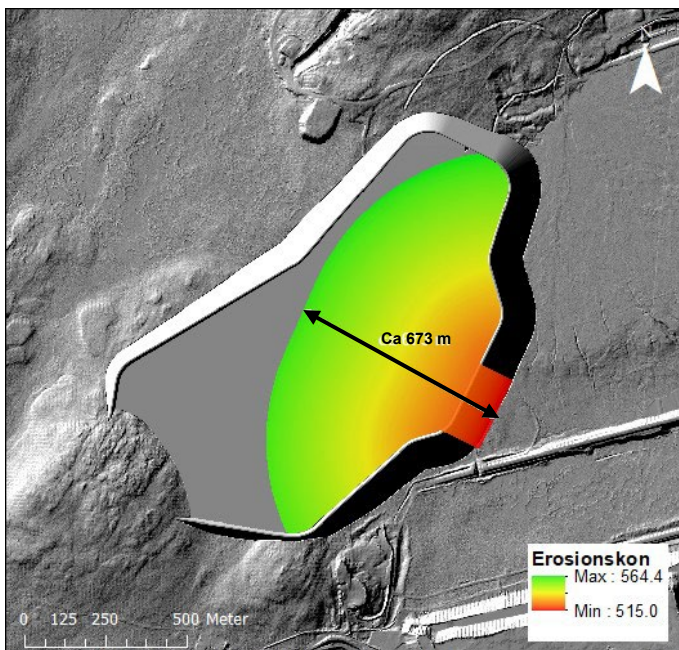
På samma sätt som för NV dammen visar beräkningarna att erosionskonens lutning har större inverkan än bräschkvoten på resultatet. För en lutning på 4 grader, som anses vara ett rimligt referensvärde, är total utströmmande volym anrikningssand 13,7 och 15,2 Mm³ för en bräschkvot på 3 respektive 5, vilket motsvarar en skillnad på 11%. Utifrån denna analys har en bräschkvot på 5 (d.v.s. medelbräschbredd på ca 236 m) valts för att ta fram den slutliga volymen för erosionskonen.

Den slutliga volymen för erosionskonen har tagits fram i GIS-miljö utifrån följande principer och antaganden:

- Sandmagasinets form beaktas, vilket kommer att leda till en mindre volym än beräkningarna ovan som antar att dammen är helt rak (180 grader) eftersom dammen går inåt mot magasinet på vardera sidor bräschläget.
- Erosionskonen skapades geometrisk med en 4-graders lutning som börjar vid dammtån vid nivån för naturlig mark +515.
- Naturlig topografi inom planerat sandmagasin används så att enbart deponerad anrikningssand som ligger ovanför den naturliga marknivån räknas med.
- Erosionskonens volym beräknas mellan konens yta och slutlig planerad sandytan (källa: TCS).

Den resulterande erosionskonen motsvarar då en volym på 7,7 Mm³ och redovisas i Figur 2-23. Denna volym motsvarar ungefär hälften av volymen som uppskattats med en teoretisk erosionskon och bräschbredd 236 m (15,2 Mm³). Denna skillnad beror på:

- Att erosionskonens lutning börjar vid dammens nedströmstå istället för vid dammlinjen.
- Att bräschben ligger i en utåtbuktande del av magasinet vilket begränsar sandmagasinets volym vid erosionskonens kanter utmed dammen.



Datum: 2021-12-16 Upprättad av: Aymane Hassan

SWECO 

Figur 2-23. Ö dammen. Erosionskon.

Slutligen, den totala utströmmande volymen, som omfattar både anrikningssand (inkl. porvattnet) och fritt magasinerat vatten vid Klass I-flöde, uppgår till $7,7 + 0,88 = \text{ca } 8,6 \text{ Mm}^3$.

Dammkroppens volym inkluderas ej i den totala utströmmande volymen. Fyllningsmaterialet (osorterat gråberg) bedöms inte kunna transporteras långt från bräschläget och bedöms därmed inte ha någon inverkan på översvämningens utbredning.

2.6.5 Utvecklingstid

Bräschens utvecklingstid definieras enligt samma princip som för NV dammen, d.v.s. utifrån analys av riktlinjer samt empiriska formler. Resultat från de empiriska formlerna redovisas i Tabell 2-6.

Tabell 2-6. Ö dammen. Uppskattad utvecklingstid för bräschen med empiriska formler.

Formula	Formation time (hr)
Froehlich	0.4
Von Thun & Gillette (*)	1.2
Von Thun & Gillette	0.7
Fread	0.4
McDonald	1.2

(*) For material with good capacity to withstand erosion

Resultatet indikerar att utvecklingstiden kan förväntas vara något längre jämfört med NV dammen. Detta beror på att både bräschens höjd och utströmmande volym är större för Ö dammen.

För bräschen vid Ö dammen bedöms det att ett lämpligt intervall för bräschens utvecklingstid är 30 minuter till 1 timme. Dammhaveriberäkningarna har utförts för båda utvecklingstiderna för att analysera hur mycket resultatet påverkas av utvecklingstiden.

2.6.6 Sekundära brott

Vid dammhaveri i Ö dammen kommer dammdelarna i befintligt sandmagasin och klarningsmagasinet att överströmmas. Även järnvägarna som ligger mellan gruvdammanläggningen och Luossajärvi kommer att överströmmas.

Resultatet av dammhaveriberäkningarna visar att dessa dammdelar samt järnvägarna överströmmas med mer än 1 m över långa sträckor vilket innebär att risk för sekundära brott är stor. I beräkningarna har sekundära brott simulerats vid följande dammdelar och järnvägssträckor (längden indikerar den uppskattade bräschlängden):

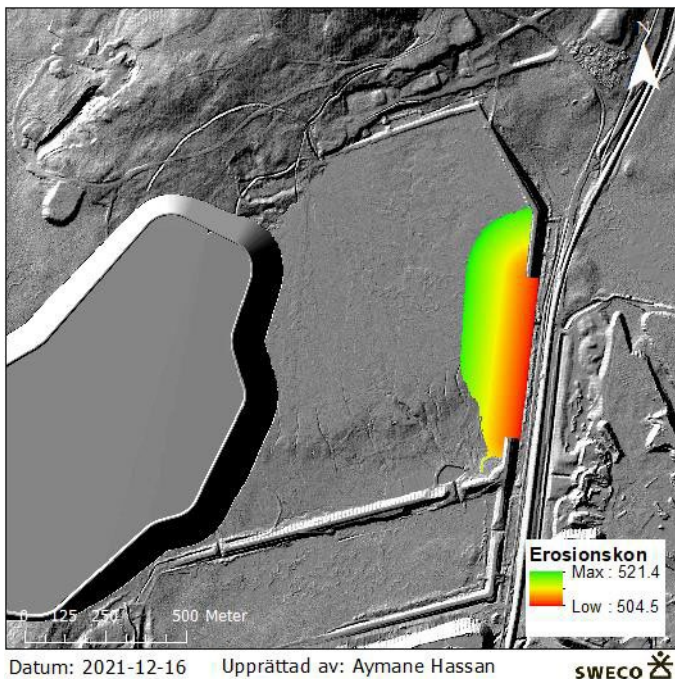
- Befintligt sandmagasin:
 - o Damm A-B, ca 500 m.
 - o Damm B-C, ca 500 m.
- Klarningsmagasin:
 - o Damm B-D, ca 280 m.
- Västra järnvägen:
 - o Mittemot Damm B-D, ca 200 m.
 - o Vid lågpunkten där kulvertarna under järnvägen ligger, ca 200 m.
- Östra järnvägen, ca 1 000 m.

Lokalisering av aktuella sträckor redovisas i Figur 2-32.

Sekundärt brott i befintligt sandmagasin (Damm A-B) antas kunna orsaka erosion och utströmning av förvätskad anrikningssand som ligger intill dammen. Volymen som antas strömma ut har uppskattats med liknande metod som för utströmmande volym för det nya sandmagasinet, d.v.s. med hjälp av en erosionskon med lutning 4 grader. Volymen har uppskattats genom att beakta:

- Ursprunglig topografi under deponerad anrikningssand.
- Nuvarande sandyta i befintligt sandmagasin.

Använd erosionskon för befintligt sandmagasin redovisas i Figur 2-24.



Figur 2-24. Ö dammen. Sekundärt brott vid befintligt sandmagasin, erosionskon.

Bräsker eroderas ner till naturlig marknivå under 15 minuter. Utvecklingstiden valdes utifrån analys av resultat vad gäller överströmningens varaktighet.

2.7 Dammhaveriantaganden S dammen

2.7.1 Inledning

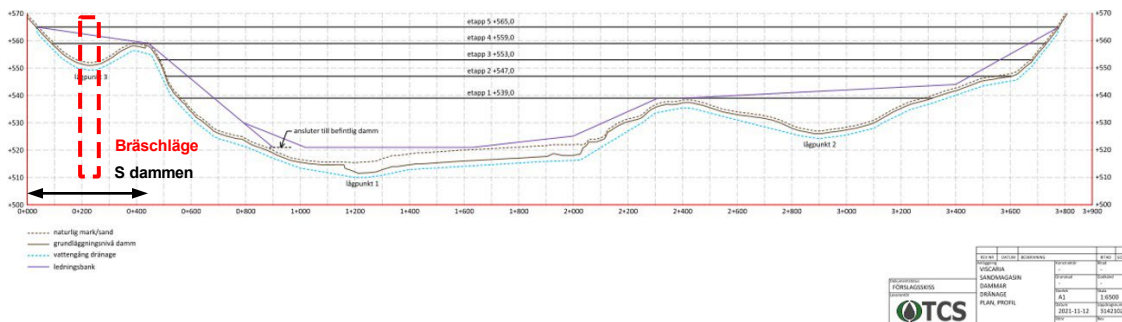
Dammhaveriantagandena för S dammen skiljer sig inte avsevärt från NV dammen, de största skillnaderna är relaterade till skillnaden i dammens höjd vid bräschläget och motsvarande utströmningens volym. Genomgången av definierade dammhaveriantaganden görs därmed relativt NV dammen med fokus på skillnaderna som blir unika för S dammen.

2.7.2 Bräschläge och brottmod

Bräschläget definieras vid den högsta dammhöjden för S dammen, vilken ligger vid "lågpunkt 3" vid längdmätning ca 0+250, se Figur 2-25 och Figur 2-26. Dimensionerande nivå för naturlig mark nedströms bräschläget är ca +553 (naturlig tröskel som ligger söder om bräschläget).



Figur 2-25. S dammen. Översiktsvy. Bräschläge.



Figur 2-26. S dammen. Längdprofil utmed dammkrön. Bräschläge.

Brottnoden för S dammen definieras på liknande sätt som för NV dammen, d.v.s. brottnoden bedöms motsvara ett stabilitetsproblem som orsakar uppkomsten av en glidyta genom grundläggningen som i sin tur leder till att en bräsch utvecklas. För mer information, se avsnitt 2.5.1.

Till skillnad från NV och Ö dammen kommer det fria vattnet i magasinet, som ansamlas vid höga flöden, att koncentreras strax uppströms S dammen. Bräschens utveckling bedöms därmed drivas av utströmning av vatten utöver förvätskad anrikningssand.

2.7.3 Bräschdimensioner

Bräschen antas kunna utvecklas ner till den dimensionerande naturliga marknivån nedströms dammen, +553. Bräschens höjd blir därmed 12 m relativt slutligt dammkrön (+565) och 7,1 m relativt den slutliga sandytan intill bräschläget (ca +560,1).

Bräschens bredd har definierats för en bräschkvot B/H på 5, d.v.s. enligt liknande princip och antaganden som för NV och Ö dammen. Referensvärde för bräschens bredd blir därmed 35,5 m.

2.7.4 Utströmmande volym

Vid Klass I-flöde

För S dammen kan den totala utströmmande volymen för anrikningssand (inkl. porvatten) för dammbrott vid Klass I-flöde uppskattas med hjälp av två metoder, metod 1 och 3 enligt listan från avsnitt 2.5.3:

1. Geometrisk uppskattning baserad på observationer från historiska händelser (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019).
3. Beräkning av total utströmmande volym (anrikningssand och vatten) beroende på antagen mängd material i det utströmmande flödet samt av volymen magasinerat vatten (Fontaine & Martin, 2015).

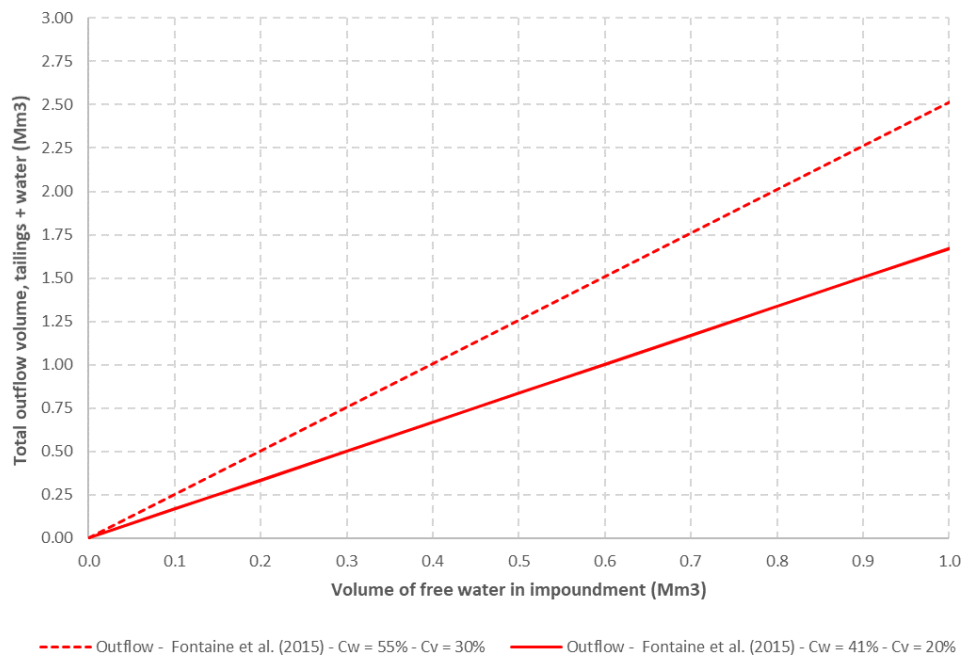
Den första metoden motsvarar den volym som avgränsas av en erosionskon som bildas i sandmagasinet vid utströmning av förvätskad anrikningssand. Med liknande antaganden som för NV och Ö dammen vad gäller erosionskonens lutning (4 gr) och för en bräschbredd på 35,5 m erhålls en volym anrikningssand (inkl. porvatten) på 0,051 Mm³. Den totala utströmmande volymen för dammbrott vid Klass I-flöde, inkl. fritt magasinerat vatten, blir därmed 0,88 + 0,051 = 0,931 Mm³.

Metoden 3 syftar till att uppskatta hur mycket anrikningssand (inkl. porvatten) som potentiellt kan strömma ut vid ett dammbrott vid erosion p.g.a. utströmning av fritt magasinerat vatten. Metoden baseras på ett antagande att magasinerat vatten och anrikningssand blandas om vid utströmning där andelen anrikningssand i den utströmmande volymen är en ingångsparameter. I denna metod antas därmed inte anrikningssanden strömma ut p.g.a. likvifiering utan p.g.a. erosion. Gränsen mellan vanlig sedimenttransport och "mudflow", som karakteriseras med ett icke-newtonskt beteende som råder vid utströmning av förvätskad anrikningssand, är ca 20-30% (volymetrisk materialkoncentration). Typiska koncentrationer för deponerad anrikningssand i sandmagasin är ca 48-60% (se även kommentarer i avsnitt 2.8).

Tillämpningen av metoden för det nya sandmagasinet vid Viscaria ger följande resultat, med följande parametrar (se analys i avsnitt 2.8):

- Korndensitet: $\rho_s = 2810 \text{ kg/m}^3$
- In-situ torrdensitet: $\rho_d = 1400 \text{ kg/m}^3$
- Vattenmättnadsgrad: $S_r = 100\%$
- Volymetrisk materialkoncentration: $C_V = 20\%$ och 30%

Resultat redovisas i Figur 2-27.



Figur 2-27. S dammen. Uppskattning av utströmmande volym. Metod 3 (Fontaine & Martin, 2015).

Resultat sammanfattas i Tabell 2-7.

Tabell 2-7. S dammen. Uppskattning av utströmmande volym. Metod 3 (Fontaine & Martin, 2015).

Volym	$C_V = 20\%$	$C_V = 30\%$
Volym fritt magasinerat vatten (Klass I)	0,88 Mm ³	0,88 Mm ³
Volym anrikningssand (inkl. porvatten)	0,62 Mm ³	1,37 Mm ³
Total utströmmande volym	1,50 Mm ³	2,25 Mm ³

Det kan konstateras att denna metod ger en större utströmmande volym anrikningssand (0,62 och 1,37 Mm³ för $C_V = 20\%$ respektive 30%) jämfört med den geometriska uppskattningen (metod 1, 0,051 Mm³). Det bör noteras att denna metod har tillämpats och validerats på dammbrottet som skedde vid Mount Polley i Kanada (2014), där totalt 13,8 Mm³ anrikningssand (inkl. porvatten) och 10,6 Mm³ magasinerat vatten strömmade ut.

Dammbrottsberäkningarna har utförts för två olika värden för utströmmande volym för anrikningssand (inkl. porvatten):

- $V_{a-sand} = 0,051 \text{ Mm}^3$ (erosionskon enligt metod 1). Den totala utströmmande volymen blir då $0,051 + 0,88 = 0,931 \text{ Mm}^3$.
- $V_{a-sand} = 1,0 \text{ Mm}^3$ (medelvärde för eroderad anrikningssand enligt metod 3). Den totala utströmmande volymen blir då $1,0 + 0,88 = 1,88 \text{ Mm}^3$.

Vid normaldrift (utan vatten)

Den totala utströmmande volymen anrikningssand (inkl. porvatten) för dammbrott vid normaldrift anses motsvara en liknande erosionskon enligt den geometriska uppskattningen, d.v.s. en volym på $V_{a-sand} = 0,051 \text{ Mm}^3$.

2.7.5 Utvecklingstid

Bräschens utvecklingstid definieras enligt samma princip som för NV och Ö dammen, d.v.s. utifrån analys av riktlinjer samt empiriska formler. Resultat från de empiriska formlerna redovisas i Tabell 2-8.

Tabell 2-8. S dammen. Uppskattad utvecklingstid för bräschen med empiriska formler.

Formula	Formation time (hr)
Froehlich	0.7
Von Thun & Gillette (*)	0.4
Von Thun & Gillette	0.1
Fread	0.8
McDonald	0.5
FERC Guidelines	0.1 to 1

(*) For material with good capacity to withstand erosion

För bräschen vid S dammen bedöms det att ett lämpligt intervall för bräschens utvecklingstid är 30 minuter till 1 timme. Dammhaveriberäkningarna har utförts för båda utvecklingstiderna för att analysera hur mycket resultatet påverkas av utvecklingstiden.

2.8 Reologiska egenskaper för anrikningssanden

Förvätskad anrikningssand beter sig som en icke newtonsk vätska som kan karaktäriseras med den s.k. *Bingham plastic* reologiska modellen, vilken anses vara lämplig för att simulera strömmande förvätskad anrikningssand (Julien, 2010). Bingham-modellen baseras på följande reologiska parametrar:

- Densitet ρ [kg/m³].
- Flytspänning (på engelska *yield stress*) τ_y [Pa].
- Viskositet μ [Pa.s].

Vätskan börjar strömma när skjuvspänningen blir högre än vätskans flytspänning.

Anrikningssandens reologiska egenskaper beror på följande parametrar:

- Typ av bergart, korndensitet.
- Vattenmättnadsgrad.
- Volymetrisk materialkoncentration.
- Kornstorleksfördelning.

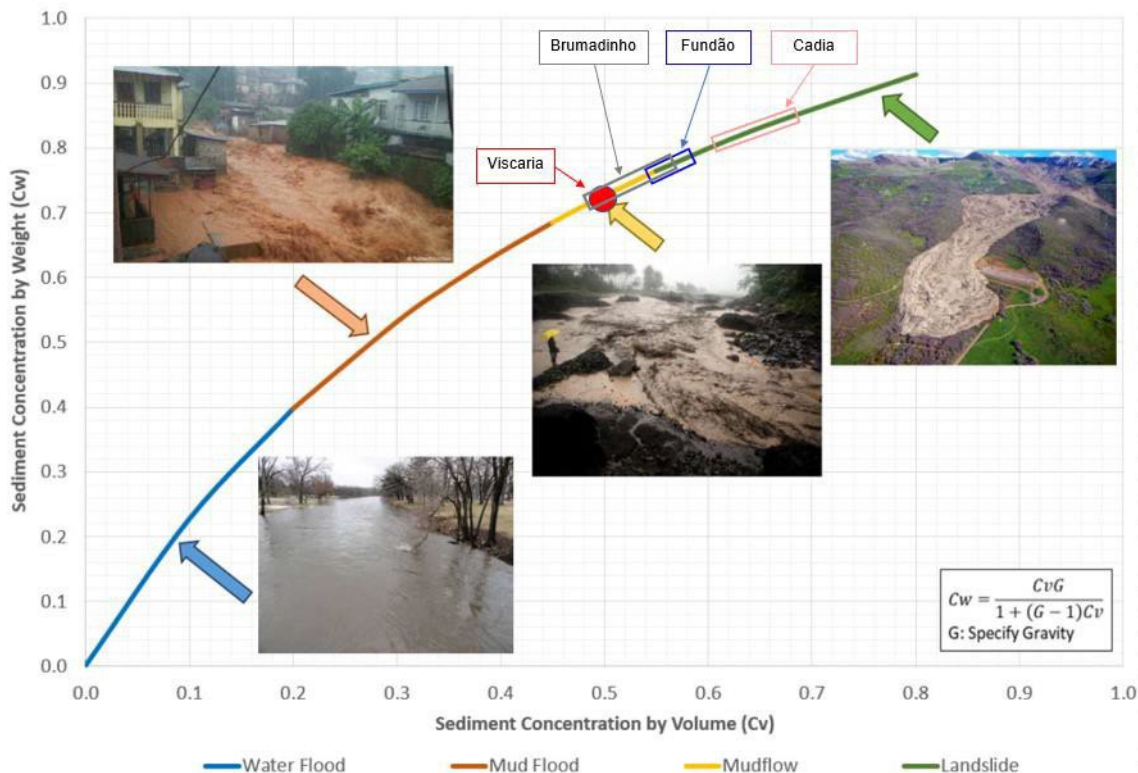
Uppskattning av anrikningssandens reologiska egenskaper för Viscaria är osäker eftersom egenskaperna för den framtida deponerade anrikningssanden i det nya sandmagasinet i detta skede är okända. Även underlaget om den redan deponerade anrikningssanden i det befintliga sandmagasinet är begränsat. Reologiska egenskaper har uppskattats utifrån följande antaganden som togs fram i samråd med Copperstone och TCS:

- Anrikningssanden antas ha samma egenskaper i nya och befintliga sandmagasin.
- Korndensitet: $\rho_s = 2810 \text{ kg/m}^3$
- In-situ torrdensitet: $\rho_d = 1400 \text{ kg/m}^3$
- Vattenmättnadsgrad: $S_r = 100\%$

Utifrån dessa antaganden kan följande egenskaper uppskattas:

- In-situ densitet (vattenmättad): $\rho = 1902 \text{ kg/m}^3$
- Porositet: $n = 0,502$
- Volymetrisk materialkoncentration: $C_V = 0,498$

Flytspänning och viskositet är kraftigt beroende på materialets volymetriska materialkoncentration när $C_V > 0,20$ till 0,30. Upp till detta intervall är materialkoncentration inte tillräckligt stort för att påverka vätskans beteende som kan anses vara newtonskt. Ett typiskt intervall för strömmande förvätskad anrikningssand är $C_V = 0,45$ till 0,60. För $C_V > 0,60$ börjar strömningstypen likna skredrörelser. Variationen av strömningstypen för olika C_V -värden illustreras i Figur 2-28.



Figur 2-28. Strömningstyper för olika volymetriska materialkoncentrationer (Martin, Al-Mamun, & Small, 2019).

I figuren ovan har information om C_V -värden för historiska dammhaverier inkluderats. Både Brumadinho (Brasilien, 2019) och Fundão (Brasilien, 2015) händelserna karaktäriseras av utströmning av stora mängder förvätskad anrikningssand under långa sträckor nedströms dammen. Cadia-händelsen (Australien, 2018) karaktäriseras också av utströmning av förvätskad anrikningssand dock i betydligt mindre mängd, vilket stämmer överens med anrikningssandens relativt höga C_V -värde ($> 0,6$). Uppskattat C_V -värde för Viscarias anrikningssand (0,498) ligger i den nedre delen av uppskattade värden för både Brumadinho och Fundão. Utströmning av förvätskad anrikningssand från anläggningens sandmagasin förväntas därmed kunna ske med tydlig strömmande beteende under potentiellt långa sträckor.

Anrikningssanden från det befintliga sandmagasinet innehåller en relativ hög andel finmaterial ($> 70-80\%$ av partiklar är mindre än $45 \mu\text{m}$). Material med liknande, hög andel finmaterial brukar karaktäriseras av högre värden för flytspänning och viskositet än grövre material.

Uppskattning av rimliga värden för flytspänning och viskositet är svårt särskilt utan specifikt underlag. Sweco har utfört ett internt teknikutvecklingsprojekt i syfte att samla in kunskap kring reologiska egenskaper för anrikningssand för tillämpning i dammhaveriutredningar (Sweco, 2021b). Utifrån analys av dokumenterade händelser, övrig litteratur samt en detaljerad utredning av dammhaveriet från Brumadinho (Brasilien, 2019) är ett lämpligt intervall för flytspänning 100 till 1000 Pa.

Viscarias relativt låga värde för C_V kan motivera valet av en flytspänning i den nedre delen av ovannämnt intervall. Däremot, Viscarias relativt höga andel finmaterial kan motivera en flytspänning i den övre delen av intervallet. Sweco bedömer att ett lämpligt intervall för Viscarias flytspänning är 200 till 1000 Pa. Inverkan av aktuellt värde analyseras i en känslighetsanalys.

Viskositet är också beroende av C_V -värdet. Erfarenhet visar dock att dess inverkan är lägre än flytspänningens (Sweco, 2021). Ett lämpligt värde för sådana tillämpningar bedöms vara 50 Pa.s.

Det bör noteras att uppskattat C_V -värde för Viscarias anrikningssand baseras på antagna parametrar som innehåller osäkerheter och variationer. Valda intervall av värden för flytspänning och viskositet bedöms dock vara representativa för den förväntade variationen.

Sammanfattningsvis, använda reologiska egenskaper för Viscarias anrikningssand i dammhaveriberäkningarna är:

- In-situ densitet (vattenmättad): $\rho = 1902 \text{ kg/m}^3$
- Volymetrisk materialkoncentration: $C_V = 0,498$
- Flytspänning: $\tau_y = 200 \text{ till } 1000 \text{ Pa}$ (känslighetsanalys)
- Viskositet: $\mu = 50 \text{ Pa.s}$

För dammhaveriscenario motsvarande en högflödessituation (Klass I) kommer en relativt stor vattenvolym att frigöras i samband med dammbrottet. Detta innebär att magasinerat vatten kommer att blanda sig med anrikningssanden. I ett sådant fall kommer andelen sandmaterial (d.v.s. C_V) i blandningen minska, vilket kommer påverka blandningens flytspänning och viskositet.

Flytspänning och viskositet varierar exponentiellt med C_V (Julien, 2010):

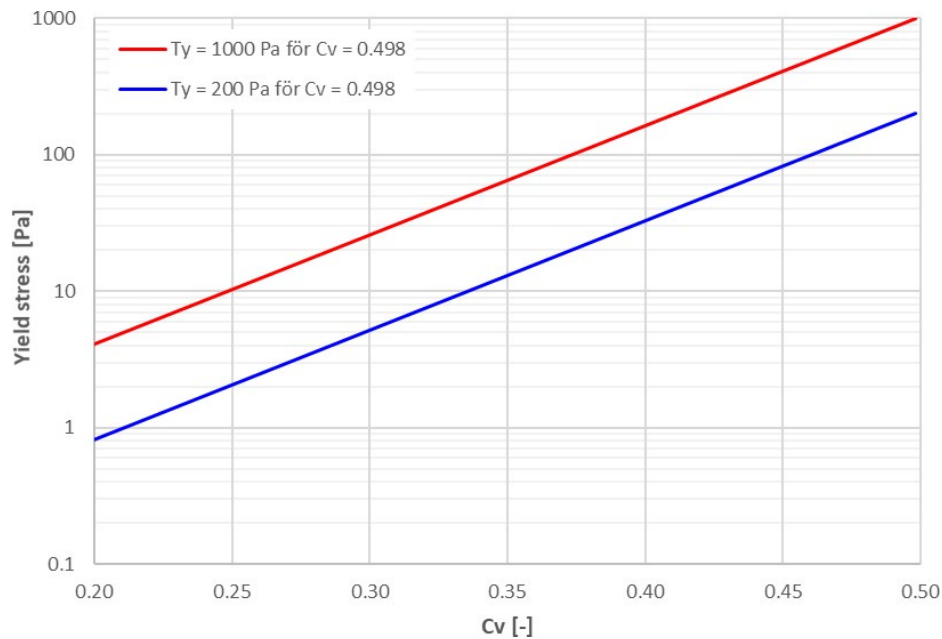
$$\tau_y, \mu = \alpha 10^{\beta C_V}$$

Koefficienter som motsvarar valda värden ovan är:

- Flytspänning:
 - o $\tau_y = 200 \text{ Pa}$: $\alpha = 0,02066640191$, $\beta = 8,0$
 - o $\tau_y = 1000 \text{ Pa}$: $\alpha = 0,10333200956$, $\beta = 8,0$
- Viskositet:
 - o $\mu = 50 \text{ Pa.s}$: $\alpha = 0,00516660047$, $\beta = 8,0$

En koefficient $\beta = 8,0$ anses vara representativ för anrikningssand.

Effekten av en minskning av C_V på flytspänningen p.g.a. blandning med vatten illustreras i Figur 2-29.



Figur 2-29. Variation av föreslagna värden för flytspänningen med den volymetriska materialkoncentration.

Vid 20% utspädning (vilket approximativt motsvarar andelen magasinerat vatten vid Klass I, i förhållande till den utströmmande volymen anrikningssand), d.v.s. när C_V minskar från 0,498 ner till ca 0,4, minskar flytspänningen med 84%. Samma effekt fås för viskositeten. Uppblandningen mellan anrikningssand och vatten under haveriförloppet förväntas därmed orsaka en tydlig minskning av vätskans reologiska egenskaper, vilket innebär en ökning av strömningsförmågan.

Vid blandning mellan anrikningssand och vatten kommer vätskans densitet också att minska. Blandningens densitet kan beräknas enligt följande ekvation (Ligier, 2020):

$$\rho = \rho_w + (\rho_s - \rho_w) C_V$$

Där ρ_w är vattnets densitet (1000 kg/m³).

2.9 Hydrodynamisk modellering

2.9.1 Beräkningsprogram

Dammhaveriberäkningarna har utförts i programmet TELEMAC-2D version 8.2.2. TELEMAC-2D är utvecklat av "Open Telemac Consortium" (Frankrike: EDF R&D:s Laboratoire National d'Hydraulique, CEREMA, ARTELIA – Storbritannien: Daresbury Laboratory, HR Wallingford – Tyskland: Bundesanstalt für Wasserbau) och är tillgängligt som öppen källkod.

Modulen TELEMAC-2D beräknar strömningsmönster i två dimensioner genom att lösa Saint-Venants och Boussinesqs ekvationer. I 2D-modellen ingår horisontella hastighetsgradienter till skillnad från 1D-modeller där vattenföring, vattenstånd och vattenhastighet inte varierar över tvärsektionen.

Den icke newtonska *Bingham-plastic* modellen ingår i TELEMAC-2D (Ligier, 2020) (EDF R&D, 2021a) (EDF R&D, 2021b).

2.9.2 NV dammen

Allmän information om beräkningsmodellen

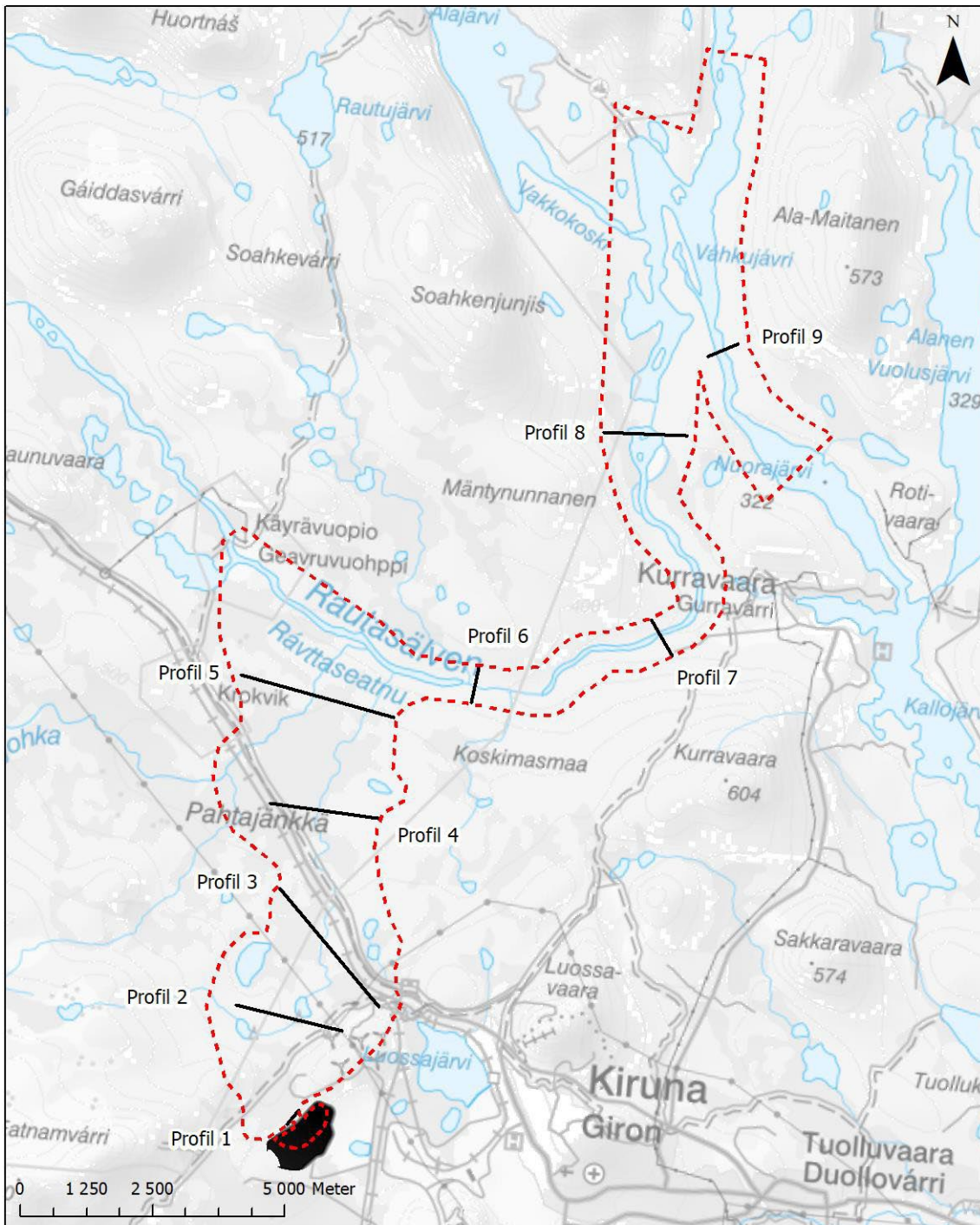
Den hydrodynamiska modellen som har använts för att simulera flodvågen från NV dammen sträcker sig från det nya sandmagasinet ner till Torne älv (nedströms rand ligger ca 4 km uppströms Kurravaara), se Figur 2-30. Modellområdet täcker markområden mellan Viscarias gruvdammanläggning och Rautasälven. I figuren redovisas även de profiler där hydrografer togs fram.

Beräkningsnätet består av ca 357 000 st. triangulära element vars sidlängd varierar mellan 5 och 20 m.

Bottengeometrin inom sandmagasinet har beskrivits med hjälp av framtagna erosionskon, se Figur 2-20.

Marktopografin har beskrivits med hjälp av erhållen höjdmödel (se avsnitt 2.2). Underlag om bottenivåer i älvsystemet (Rautasälven, Torne älv) saknas. Nivåerna inom älvarna har sänkts av schablonmässigt. Detta innebär dock att de simulerade nivåerna utmed älvsystemet är osäkra.

Bottenfriktion har modellerats med en Mannings koefficient $M = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.



Datum: 2021-12-09 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 2-30. NV dammen. Hydrodynamisk modell.

Reologiska egenskaper

För att simulera flodvågen är det viktigt att ta hänsyn till både anrikningssand och vatten (magasinerat vatten i sandmagasinet samt basflöde i älvsystemet) eftersom utspädnings effekten har stor inverkan på de reologiska egenskaperna (se avsnitt 2.8). I detta syfte har TELEMAC-2D:s s.k. *pseudo-biphasic*-modell använts tillsammans med *Bingham plastic*-modellen (Ligier, 2020) (EDF R&D, 2021b).

Principen med *pseudo-biphasic*-modellen är att definiera vätskans densitet, flytspänning och viskositet utifrån den lokala volymetriska materialkoncentrationen C_V . Denna koncentration simuleras som ett passivt ämne med hjälp av de tvådimensionella dispersion och advektion-ekvationerna (EDF R&D, 2021a).

Typ av material har ställts in som randvillkor enligt följande:

- Anrikningssand: $C_V = 0,498$
- Vatten: $C_V = 0,0$

Vätskans densitet, flytspänning och viskositet beräknas av modellen med hjälp av ekvationerna angivna i avsnitt 2.8.

Beräkningarna har utförts för två scenarier vad gäller referensvärden för flytspänning för anrikningssand: 200 och 1000 Pa.

Simulering av dammhaveriförloppet

Dammhaveriförloppet simuleras med hjälp av bräschstrukturen som definieras vid bräschläget som tillåter utströmning av anrikningssand och magasinerat vatten från erosionskonen.

Bräschförloppet definieras enligt nedan:

- Bräschen öppnas initialt i vertikalled från +565 (dammkron) ner till erosionskonens botten vid mitten av bräschsektionen.
- Bräschens utveckling sker sedan i sidled tills den når den slutliga bräschbredden (180 m).
- Bräschens sidoslänter är vertikala.
- Bräschens totala utvecklingstid är 15 min respektive 1 timme (känslighetsanalys).

Utströmningen av volymen magasinerad anrikningssand och vatten styrs därmed av bräschstrukturen.

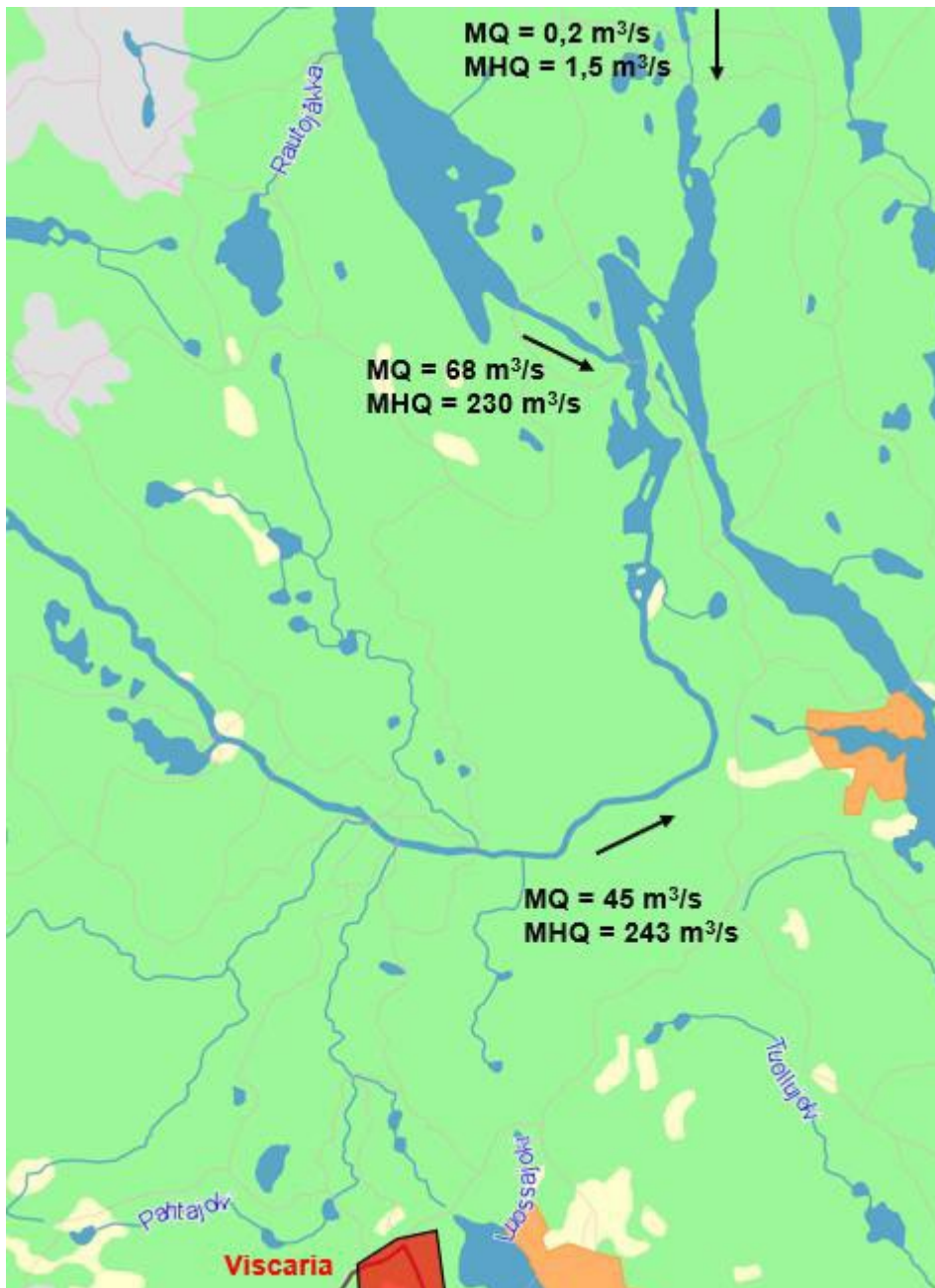
Hydrologiska förutsättningar

Dammhaveriberäkningarna har utförts för ett hydrologiskt scenario motsvarande ett Klass I-flöde vid gruvdammanläggningen (se avsnitt 2.4).

Frisläppt vattenvolym från sandmagasinet uppgår till 0,88 Mm³.

Basflöde i älvsystemet har antagits motsvara MHQ. Detta antagande bedöms vara rimligt eftersom det är osannolikt att ett Klass I-flöde sker samtidigt i både gruvdammanläggningen, vars avrinningsområde är knappt 3 km², och i älvsystemet vars avrinningsområde vid mynningen uppgår till flera tusentals kvadratkilometer.

Använda värden för basflöden (MHQ) i älvsystemet redovisas i Figur 2-31. Dessa värden har använts som startvillkor i en s.k. *hotstart*-simulering för att erhålla konstanta flöden i älvsystemet inför själva dammhaverisimuleringarna.



Figur 2-31. NV dammen. Basflöden i älvsystemet (källa: SMHI:s vattenweb).

Det bör noteras att i ett scenario har dammhaveri antagits ske utan magasinerat vatten i sandmagasinet, vilket anses motsvara normala förhållanden (känslighetsanalys).

2.9.3 Ö dammen

Allmän information om beräkningsmodellen

Den hydrodynamiska modellen som har använts för att simulera flodvågen från Ö dammen sträcker sig från det nya sandmagasinet ner Luossajärvi samt områdena som ligger runt sjön, se Figur 2-32. I figuren redovisas även de profiler där hydrografer togs fram samt positionerna för de sekundära dammbrotten nedströms det nya sandmagasinet.

Beräkningsnätet består av ca 415 000 st. triangulära element vars sidlängd varierar mellan 5 och 20 m.

Bottengeometrin inom det nya sandmagasinet har beskrivits med hjälp av framtagen erosionskon, se Figur 2-23.

Marktopografin har beskrivits med hjälp av erhållen höjdmmodell och bottennivåerna i Luossajärvi har uppskattats enligt tillgänglig information, se avsnitt 2.2. Nuvarande avgrävda delar i Damm B-C och B-D har "fyllts igen" genom att återuppbygga dammarna till planerade krönnivåer (+521 resp. +515, se avsnitt 2.3.2 och 2.3.3). Planerad schakt av klarningsmagasinets botten (se avsnitt 2.3.3) har inkluderats i beräkningsmodellen.

Bottenfriktion har modellerats med en Mannings koefficient $M = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Reologiska egenskaper

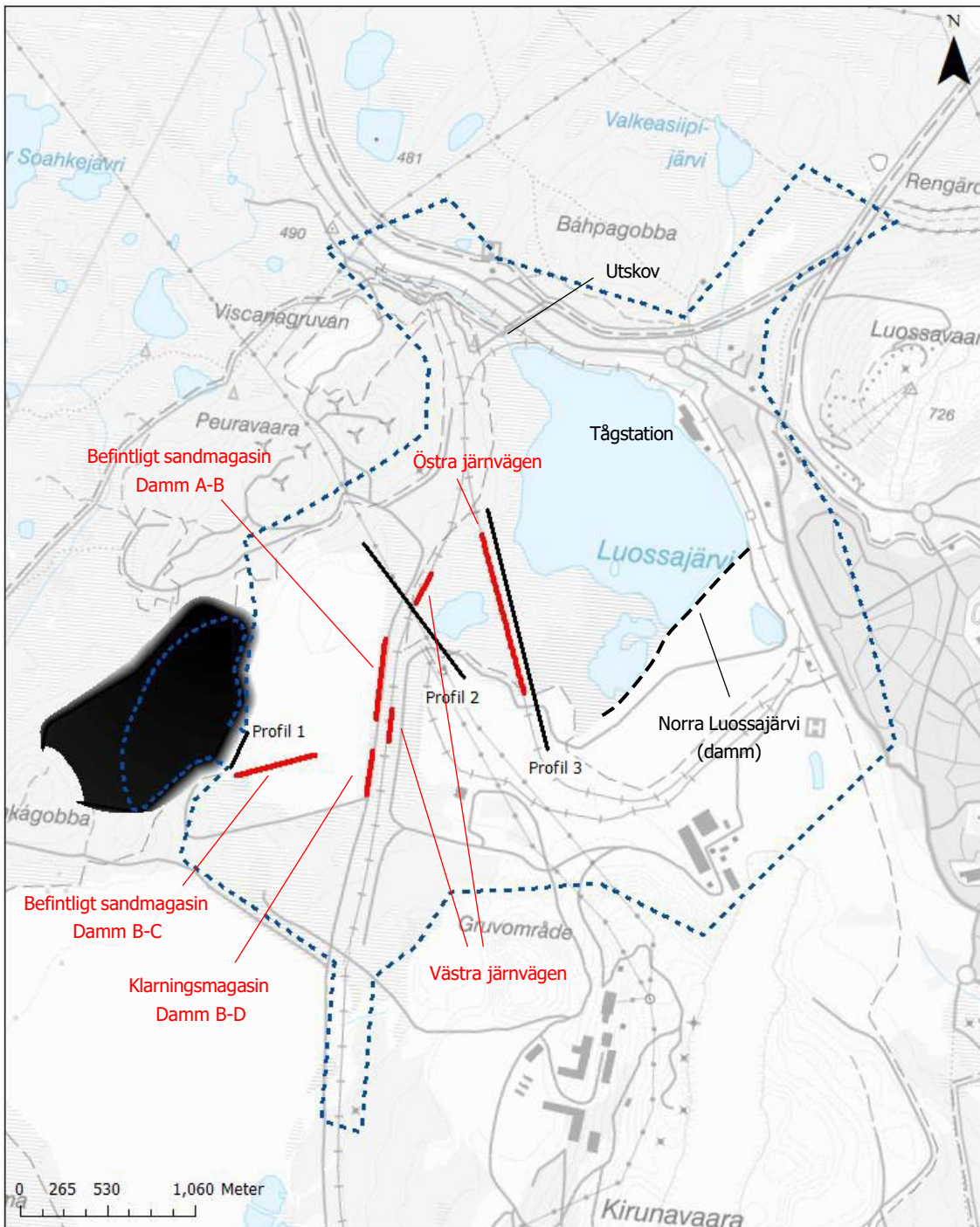
För att simulera flodvågen är det viktigt att ta hänsyn till både anrikningssand och vatten (magasinerat vatten i sandmagasinen, klarningsmagasinet samt Luossajärvi) eftersom utspädningseffekten har stor inverkan på de reologiska egenskaperna (se avsnitt 2.8). I detta syfte har TELEMAC-2D:s s.k. *pseudo-biphasic*-modell används tillsammans med *Bingham plastic*-modellen (Ligier, 2020) (EDF R&D, 2021b). Principen av *pseudo-biphasic*-modellen beskrivs i avsnitt 2.9.2.

Typ av material har ställts in som randvillkor enligt följande:

- Anrikningssand: $C_V = 0,498$
- Vatten: $C_V = 0,0$

Vätskans densitet, flytspänning och viskositet beräknas av modellen med hjälp av ekvationerna angivna i avsnitt 2.8.

Beräkningarna har utförts för ett unikt scenario vad gäller referensvärden för flytspänning: 200 Pa. Värdet 1000 Pa, som undersöks för NV dammen, har inte simulerats för Ö dammen eftersom inverkan av flytspänningen på flodvågen och översvämningsutbredningen bedöms vara begränsad utmed den relativt korta sträckan mellan dammanläggningen och Luossajärvi. Den stora utspädningen som sker när flodvågen når Luossajärvi bidrar dessutom till att kraftigt minska både flytspänningen och viskositeten (se avsnitt 2.8) vilket innebär att skillnader mellan två scenarier (200 och 1000 Pa) bedöms vara av mindre betydelse vad gäller analys av konsekvenserna.



Datum: 2021-12-17 Upprättad av: Aymane Hassan

Figur 2-32. Ö dammen. Hydrodynamisk modell.

Simulering av dammhaveriförloppet

Dammhaveriförloppet simuleras med hjälp av en bräschstruktur som definieras vid bräschläget som tillåter utströmning av anrikningssand och magasinerat vatten från erosionskonen.

Bräschförloppet definieras enligt nedan:

- Bräschen öppnas initialt i vertikalled från +565 (dammkron) ner till erosionskonens botten vid mitten av bräschsektionen.
- Bräschen utveckling sker sedan i sidled tills den når den slutliga bräschbredden (236 m).
- Bräschen sidoslänter är vertikala.
- Bräschen totala utvecklingstid är 30 min och 1 timme (känslighetsanalys).

Utströmningen av volymen magasinerad anrikningssand och vatten styrs därmed av bräschstrukturen.

De sekundära dammbrotten som sker vid befintligt sandmagasin, klarningsmagasin samt västra och östra järnvägarna simuleras enligt nedan:

- Bräscherna öppnas initialt i vertikalled från aktuell krönnivå ner till erosionskonens botten vid mitten av bräschsektionen eller naturlig marknivå. Bräscherna börjar öppnas när överströmningen ovanpå aktuell konstruktion blir högre än 1 m.
- Bräschernas utveckling sker sedan i vertikalled (konstruktionerna antas därmed eroderas nedåt vilket är ett rimligt antagande m.h.t. den omfattande överströmningen).
- Bräschernas sidoslänter är vertikala.
- Bräschernas totala utvecklingstid är 15 min.

Hydrologiska förutsättningar

Dammhaveriberäkningarna har utförts för ett hydrologiskt scenario motsvarande ett Klass I-flöde vid gruvdammanläggningen (se avsnitt 2.4).

Frisläppt vattenvolym från det nya sandmagasinet uppgår till 0,88 Mm³.

Frisläppt vattenvolym från det befintliga sandmagasinet uppgår till 0,80 Mm³ (total magasinerad volym vid Klass I-flöde, se avsnitt 2.3.2).

Vattennivån i klarningsmagasinet i början av simuleringen antas vara +512,5 vilket motsvarar den planerade tröskelnivån. Använd magasinerad vattenvolym vid denna nivå är ca 0,75 Mm³ (se också kommentarer i avsnitt 2.3.3).

Vattennivån i Luossajärvi i början av simuleringen är +500,35 vilket motsvarar överdämningnivån vid Klass I-flöde enligt uppgifter från LKAB:s DTU-manual (LKAB, 2017). Avrinningsområdet till Luossajärvi, som ligger intill Viscarias, är inte så stort vilket medför att det inte är orimligt att ett Klass I-flöde sker samtidigt över gruvområdet och över Luossajärvis hela avrinningsområde.

Avbördningen norr ut via utskovet i Luossajärvi har inte simulerats. Detta är ett konservativt, dock rimligt antagande i och med osäkerheten att utskovet kan fungera vid omfattade överdämning. Inverkan av nuvarande avbördningskapacitet (ca 20 m³/s vid +500,35) är försumbar vad gäller beräknade nivåer i Luossajärvi, då inflödet sker mycket snabbt med extremt höga flöden (ca 8 000-10 000 m³/s, se avsnitt 4).

2.9.4 S dammen

Allmän information om beräkningsmodellen

Den hydrodynamiska modellen som har använts för att simulera flodvågen från S dammen sträcker sig från det nya sandmagasinet ner till ca 2 km nedströms Mettä Rakkurijärvi. Modellen täcker hela området som löper intill LKAB:s sandmagasin och klarningsmagasin, se Figur 2-33. I figuren redovisas även de profiler där hydrografer togs fram.

Beräkningsmodellens östra gräns motsvarar dammkrön av LKAB:s sandmagasin och klarningsmagasin. I beräkningarna antas det att LKAB:s sandmagasin avgränsas i norr av en ny dammdel. Detta antagande är rimligt eftersom vid tidpunkten då S dammen kommer att vara färdigbyggd kommer även LKAB:s sandmagasin att vara höjt i detta område. Se även diskussion om konfigurationen för LKAB:s sandmagasin i avsnitt 5.3.

Beräkningsnätet består av ca 234 000 st. triangulära element vars sidlängd varierar mellan 2 och 50 m.

För scenarierna med en utströmmande volym anrikningssand på 0,051 Mm³ har bottengeometrin inom sandmagasinet beskrivits dels med den planerade sandytan och dels med erosionskonens geometri intill bräschen. För scenarierna med utströmmande volym anrikningssand på 1,0 Mm³ har bottengeometrin inom sandmagasinet beskrivits med hjälp av en antagen sandyta som motsvarar en erosionsvolym på 1,0 Mm³ relativt planerad sandyta.

Marktopografin har beskrivits med hjälp av erhållen höjdmodell (se avsnitt 2.2). Underlag om bottenivåer i Mettä Rakkurijärvi saknas. Sjön har antagits vara ca 2 m djupt och utflödet från sjön simuleras genom dess utlopp som beskrivs av rådande topografi från höjdmodellen.

Bottenfriktion har modellerats med en Mannings koefficient $M = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Reologiska egenskaper

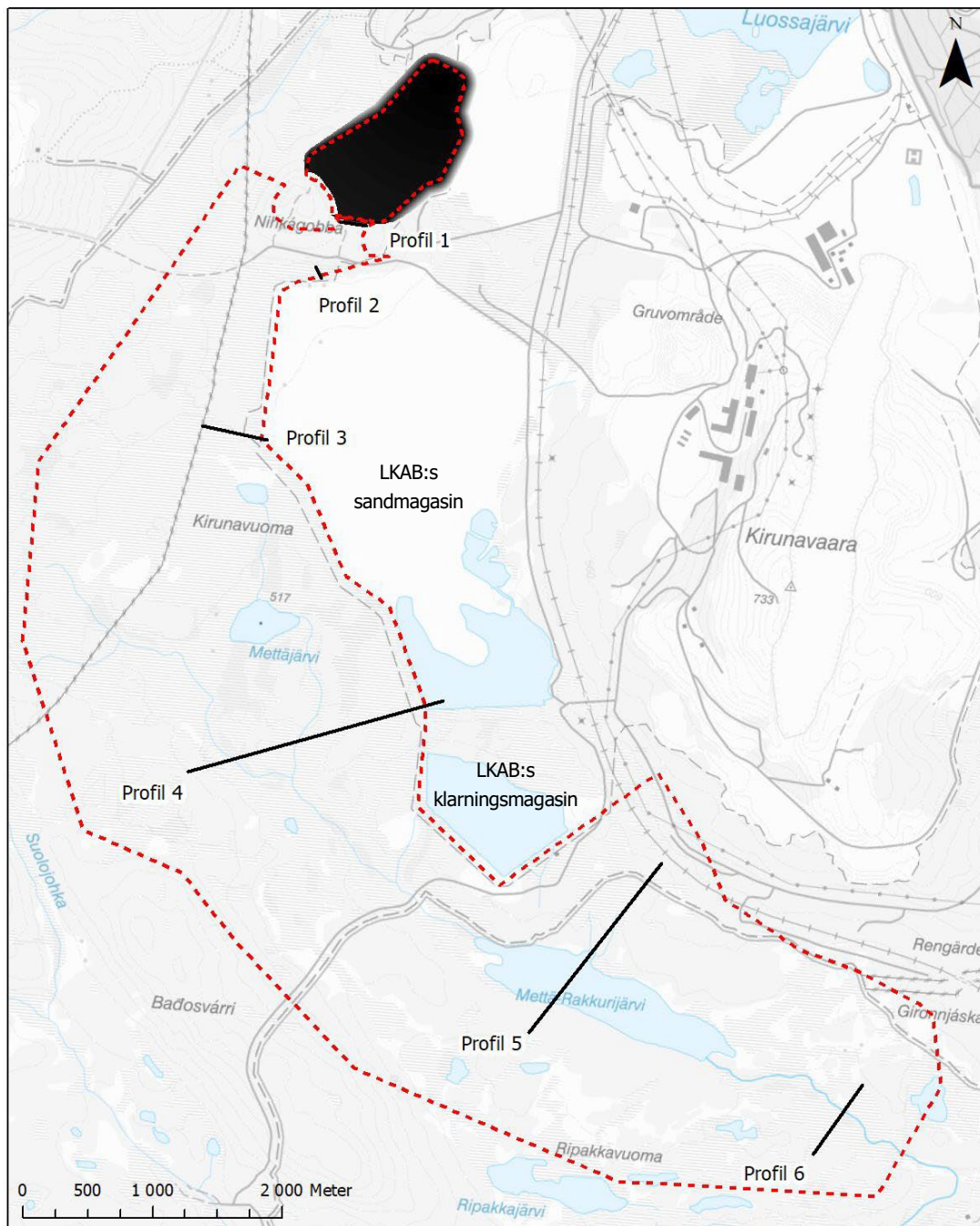
För beräkningsscenarierna vid Klass I-flöde (vattenvolym 0,88 Mm³) med $V_{a\text{-sand}} = 0,051 \text{ Mm}^3$ antas det att anrikningssanden från erosionskonen blandas om med vattenvolymen. Detta innebär att den volymetriska materialkoncentrationen av blandningen är $C_V = 0,498$ (in-situ anrikningssand) $\times 0,051 / 0,931 = 0,027$. Denna materialkoncentration kan anses vara mycket låg och motsvara ett newtonskt beteende. Dammhaveriberäkningarna har därmed utförts som klassiska newtonska hydrodynamiska simuleringar, d.v.s. i vilken all volym betraktas som vatten.

För beräkningsscenarierna vid Klass I-flöde (vattenvolym 0,88 Mm³) med $V_{a\text{-sand}} = 1,0 \text{ Mm}^3$ antas det också att anrikningssanden från erosionskonen blandas om med vattenvolymen, enligt metodens princip (se avsnitt 2.7.4). Detta innebär att den volymetriska materialkoncentrationen av blandningen är $C_V = 0,498$ (in-situ anrikningssand) $\times 1,0 / 1,88 = 0,265$. Denna materialkoncentration ligger på gränsen mellan newtonskt och icke newtonskt beteende (ca 0,2-0,3). Dammhaveriberäkningarna har för detta fall därför utförts som icke newtonska hydrodynamiska simuleringar, där den utströmmande volymen (blandning av magasinerat vatten och anrikningssand, inkl. porvatten) karaktäriseras med $C_V = 0,265$ och vatten i nedströmsliggande sjö (Mettä Rakkurijärvi) karaktäriseras med $C_V = 0,0$.

Beräkningen motsvarande normaldrift, d.v.s. utan utströmning av magasinerat vatten, har utförts som en icke newtonsk simulering där anrikningssand (inkl. porvatten) karaktäriseras med $C_V = 0,498$. Vatten i nedströmsliggande sjö (Mettä Rakkurijärvi) karaktäriseras med $C_V = 0,0$.

Vätskans densitet, flytspänning och viskositet beräknas av modellen beroende på aktuellt C_V -värde med hjälp av ekvationerna angivna i avsnitt 2.8.

Beräkningarna har utförts för ett unikt scenario vad gäller referensvärden för flytspänning: 200 Pa. Använd viskositet är 50 Pa.s.



Datum: 2022-03-03 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 2-33. S dammen. Hydrodynamisk modell.

2.9.5 Begränsningar

Dammhaverier med utströmning av förvätskad anrikningssand och vatten är ett mycket komplext fysikaliskt fenomen. Utöver osäkerheterna relaterade till bland annat val av anrikningssandens reologiska egenskaper kan följande begränsningar nämnas:

- Simulering av flodvågen med hjälp av 2D-hydrodynamiska modeller. Strömningsförhållandena kan lokalt vara mycket komplexa och dessa kan inte helt korrekt beskrivas med hjälp av 2D-modeller i vilka strömningsförhållandena antas vara konstanta i djupled. Nuvarande praxis baseras dock på användning av 2D-modeller då begränsningarna bedöms ha mindre inverkan än övriga osäkerheter (t.ex. reologi). 2D-modellerna bedöms dessutom vara ett bra verktyg för att snabbt kunna utföra flera beräkningar och känslighetsanalyser, vilket är en bra metod för att kunna uppskatta förväntad variation i resultat.
- I beräkningarna ingår inte simulering av bottenerosion utan flodvågen antas fortplantas på en icke eroderbar botten. Inget utbyte mellan den utströmmande volymen och den naturliga botten sker.
- Numerisk simulering av icke newtonskt beteende. Numeriska algoritmer kan uppvisa viss numerisk diffusion vilket kan leda till en spridning av översvämningsfronten särskilt vid höga reologiska egenskaper (d.v.s. hög flytspänning och viskositet). Detta innebär att översvämningsutbredningen kan överskattas något. Detta är dock konservativt.
- Blandning mellan anrikningssand och vatten. I beräkningarna styrs blandningen av ett s.k. passivt ämne enligt de tvådimensionella dispersion och advektion-ekvationerna, vilket innebär att blandningen antas ske mellan två vätskor med liknande beteende. I verkligheten förväntas blandningen mellan anrikningssand och vatten ske långsammare än vad som erhålls av beräkningarna, vilket innebär att simuleringarnas resultat anses vara konservativa (de reologiska egenskaperna minskar något snabbare än förväntat vid blandning). En annan begränsning är att eftersom flodvågen simuleras i 2D antas den lokala materialkoncentrationen vara konstant i vertikalled. Detta antagande antas vara rimligt för dammbrottsflödet men är dock approximativt när flodvågen når stora vattenytor såsom älvsystemet och framförallt Luossajärvi där anrikningssanden istället kommer att förflytta sig längs sjöns botten medan vattnet koncentrerar sig till ytan. Detta bedöms dock inte ha något betydande påverkan på erhållet resultat.

2.10 Beräkningsscenarier

2.10.1 NV dammen

Simulerade scenarier för dammhaveri vid NV dammen sammanställs i Tabell 2-9.

Tabell 2-9. NV dammen. Beräkningsscenarier.

Scenario	Utströmmande volym			Utvecklings-tid	Flyt-spänning	Viskositet
	A-sand*	Vatten	Total			
1	4,2 Mm ³	0,88 Mm ³	5,1 Mm ³	15 min	200 Pa	50 Pa.s
2	4,2 Mm ³	0,88 Mm ³	5,1 Mm ³	1 timme	200 Pa	50 Pa.s
3	4,2 Mm ³	0,88 Mm ³	5,1 Mm ³	15 min	1000 Pa	50 Pa.s
4	4,2 Mm ³	0,88 Mm ³	5,1 Mm ³	1 timme	1000 Pa	50 Pa.s
5	4,2 Mm ³	0 Mm ³	4,2 Mm ³	1 timme	200 Pa	50 Pa.s

* Inkl. porvatten.

2.10.2 Ö dammen

Simulerade scenarier för dammhaveri vid Ö dammen sammanställs i Tabell 2-10.

Tabell 2-10. Ö dammen. Beräkningsscenarier.

Scenario	Utströmmande volym**			Utvecklings-tid	Flyt-spänning	Viskositet
	A-sand*	Vatten	Total			
1	7,7 Mm ³	0,88 Mm ³	8,6 Mm ³	30 min	200 Pa	50 Pa.s
2	7,7 Mm ³	0,88 Mm ³	8,6 Mm ³	1 timme	200 Pa	50 Pa.s
3	7,7 Mm ³	0 Mm ³	7,7 Mm ³	1 timme	200 Pa	50 Pa.s

* Inkl. porvatten.

** Nya sandmagasinet enbart, utöver det tillkommer sand- och vattenvolym i befintligt sandmagasin samt klarningsmagasin (sekundära brott), se avsnitt 4.1.4.

2.10.3 S dammen

Simulerade scenarier för dammhaveri vid S dammen sammanställs i Tabell 2-11.

Tabell 2-11. S dammen. Beräkningsscenarier.

Scenario	Utströmmande volym			Utvecklings-tid	Flyt-spänning	Viskositet
	A-sand*	Vatten	Total			
1	0,051 Mm ³	0,88 Mm ³	0,931 Mm ³	30 min	_**	_**
2	0,051 Mm ³	0,88 Mm ³	0,931 Mm ³	1 timme	_**	_**
3	1,0 Mm ³	0,88 Mm ³	1,88 Mm ³	30 min	200 Pa	50 Pa.s
4	1,0 Mm ³	0,88 Mm ³	1,88 Mm ³	1 timme	200 Pa	50 Pa.s
5	0,051 Mm ³	0 Mm ³	0,051 Mm ³	1 timme	200 Pa	50 Pa.s

* Inkl. porvatten.

** Newtonsk vätska.

2.11 Potentiella skadeobjekt

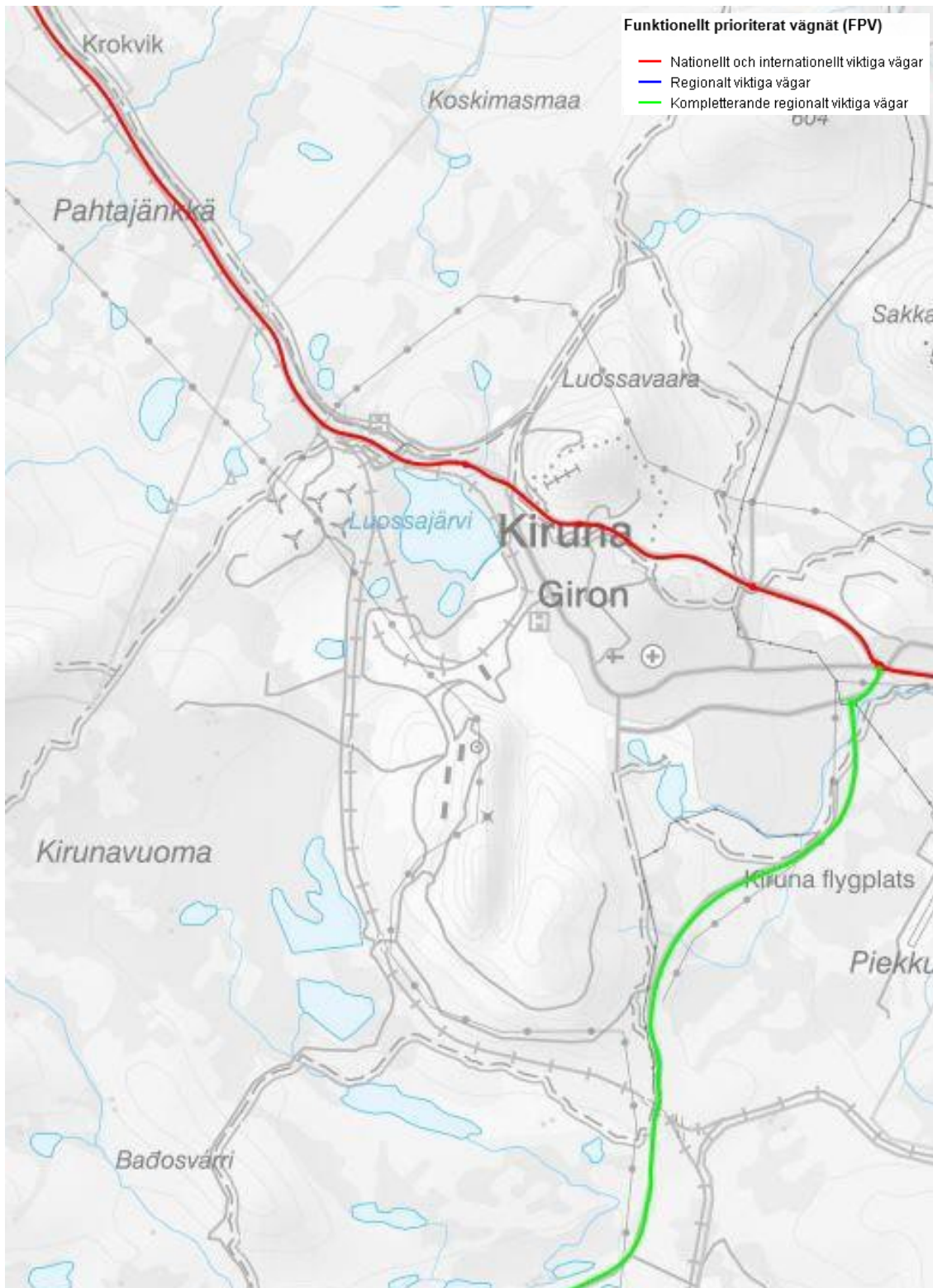
Skadeobjekt som potentiellt drabbas vid dammhaveri från Viscarias gruvdammanläggning omfattar:

- Viscarias gruvområde:
 - o Dammanläggningen.
 - o Dagbrott.
 - o Vägar.
 - o Arbetsområden.
- LKAB:s gruvområde (öster om Viscarias gruvområde):
 - o Vägar.
 - o Järnvägar.
 - o Arbetsområden.
 - o Dammar runt Luossajärvi (Norra Luossajärvi, utskovsdammen).
- Infrastruktur och elförsörjning:
 - o E10. Vägen ingår i Trafikverkets kategori "Funktionellt prioriterat vägnät (FPV)" och är klassad som "Nationellt och internationellt viktiga vägar", se Figur 2-35 (Trafikverket, 2021).
 - o Järnväg Kiruna-Narvik.
 - o Tågstation Malmbangården (vid Luossajärvi).
 - o Fastigheter vid Luossajärvi samt utmed älvsystemet.
 - o Kraftledningar.
- Miljövärden:
 - o Nationella skyddsformer (naturreservat, vattenskyddsområde).
 - o Natura 2000-områden.
 - o Riksintressen, naturvård och friluftsliv.

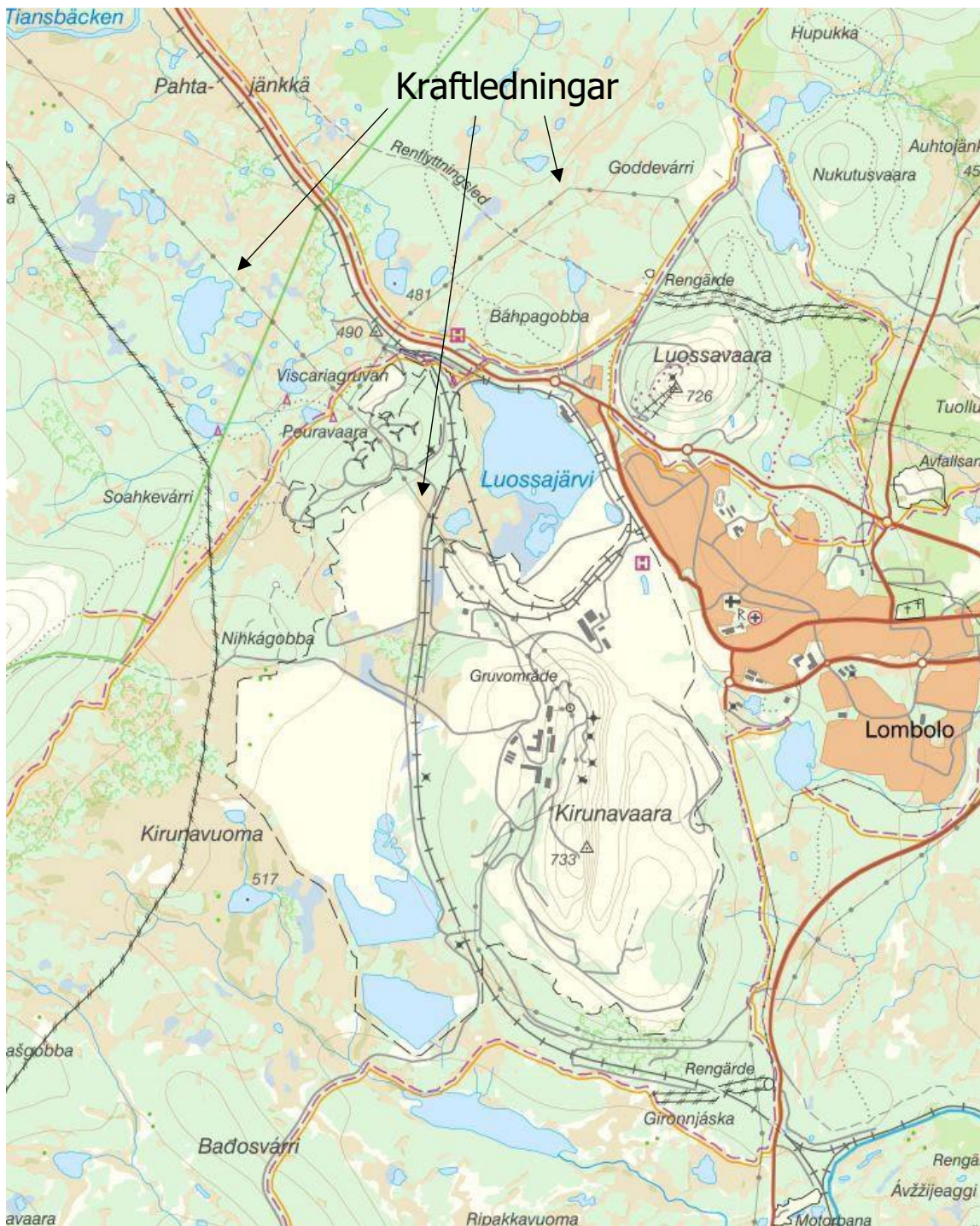
Identifierade infrastrukturobjekt redovisas i Figur 2-34. Identifierade kraftledningar redovisas i Figur 2-36. Vattenfall AB har kontaktats för att bedöma hur viktiga elledningarna i området är. Båda ledningarna i området (PL9 S4 och PL7 S9) är 150 kV ledningar och är mycket viktiga för strömförsörjningen av samhällsviktig verksamhet i området. En av ledningarna ingår i en viktig utlandsförbindelse med Norge. Vattenfalls bedömning är att avbrott på dessa ledningar skulle innebära allvarliga konsekvenser för strömförsörjningen och att det måste undvikas under alla omständigheter (Vattenfall AB (Anna Brännmark), 2022).



Figur 2-34. Infrastruktur. Källa: www.eniro.se



Figur 2-35. Utdrag ur Trafikverkets Nationella vägdatabas (NVDB). Källa: Trafikverket, 2021.

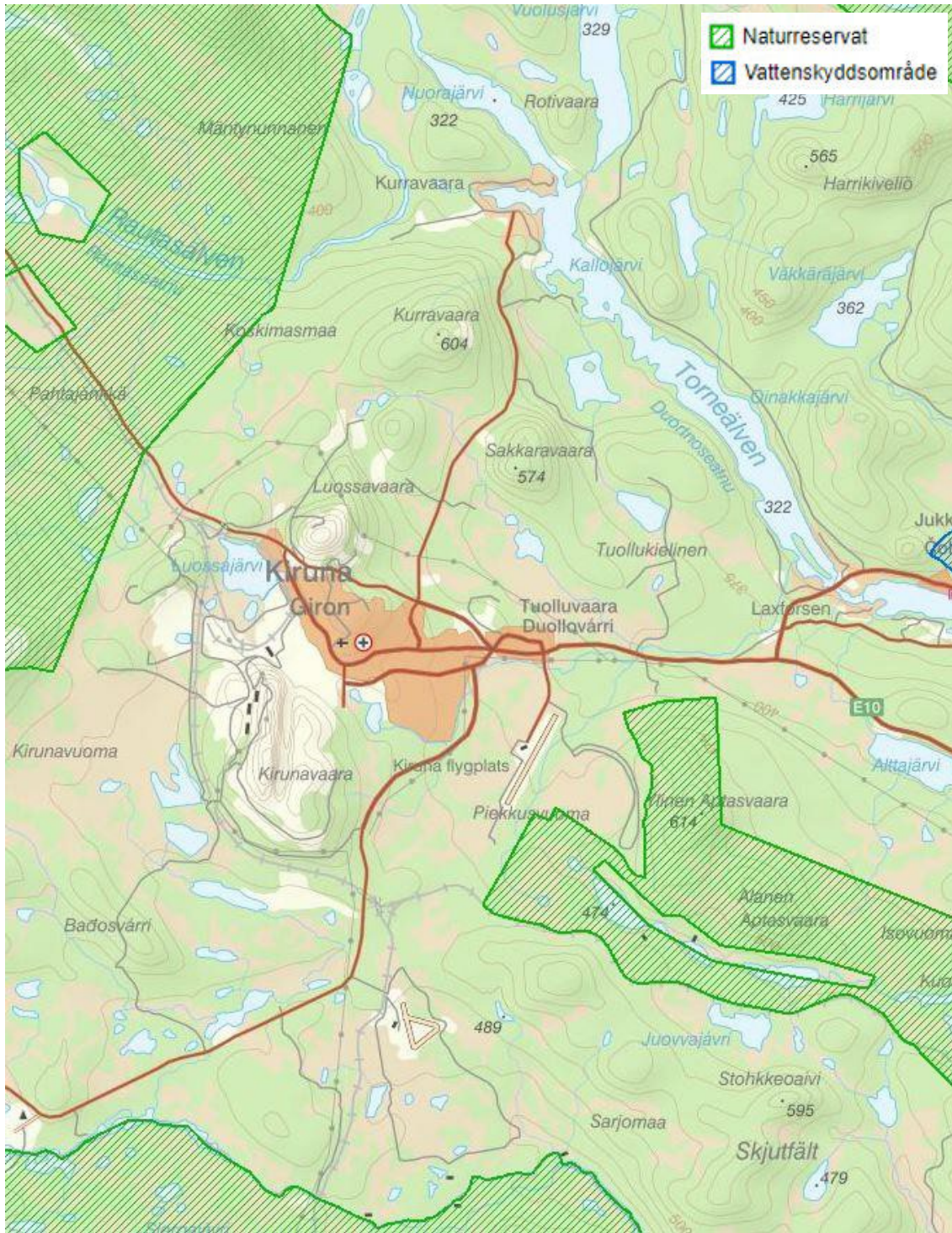


Figur 2-36. Kraftledninggar. Källa: <https://minkarta.lantmateriet.se/>

Följande nationella skyddsformer förekommer kring Kiruna och bedöms potentiellt kunna påverkas vid ett eventuellt dammhaveri (se Figur 2-37):

- Naturresevat:
 - o Rautas fjällurskog (NVR-ID: 2001054).
 - o Alajaure (NVR-ID: 2001250).

- Vattenskyddsområde:
 - o Jukkasjärvi (NVR-ID: 2025040).



Figur 2-37. Nationella skyddsformer. Källa: <https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>

Följande Natura 2000-områden förekommer kring Kiruna och bedöms potentiellt kunna påverkas vid ett eventuellt dammhaveri (se Figur 2-38):

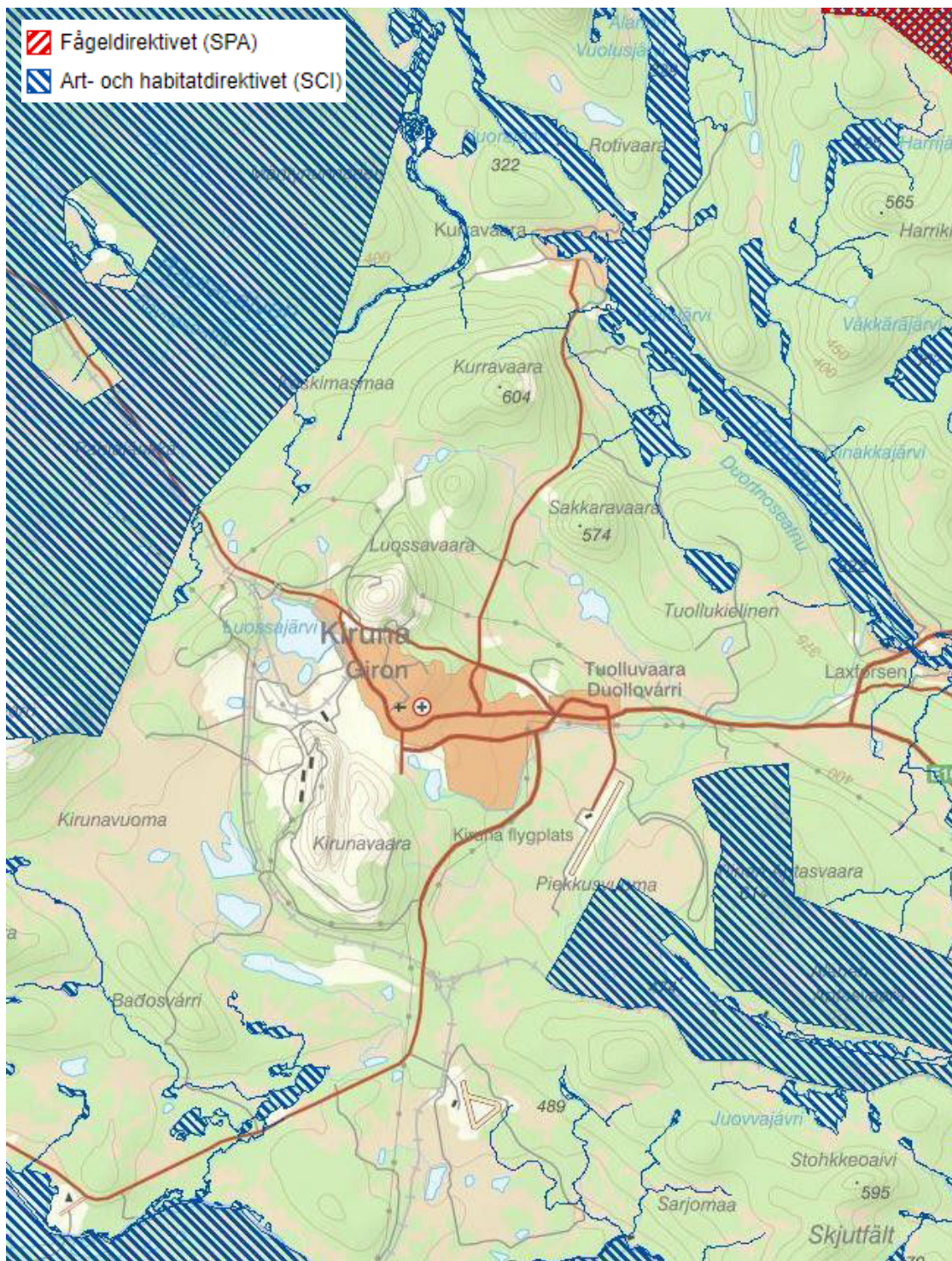
- Art- och habitatdirektivet:
 - o Rautas (områdeskod: SE0820243).
 - o Torne och Kalix älvsystem (områdeskod: SE0820430).
- Fågeldirektivet:
 - o Alajaure (områdeskod: SE0820275).

Följande riksintressen, naturvård och friluftsliv förekommer kring Kiruna och bedöms potentiellt kunna påverkas vid ett eventuellt dammhaveri (se Figur 2-39):

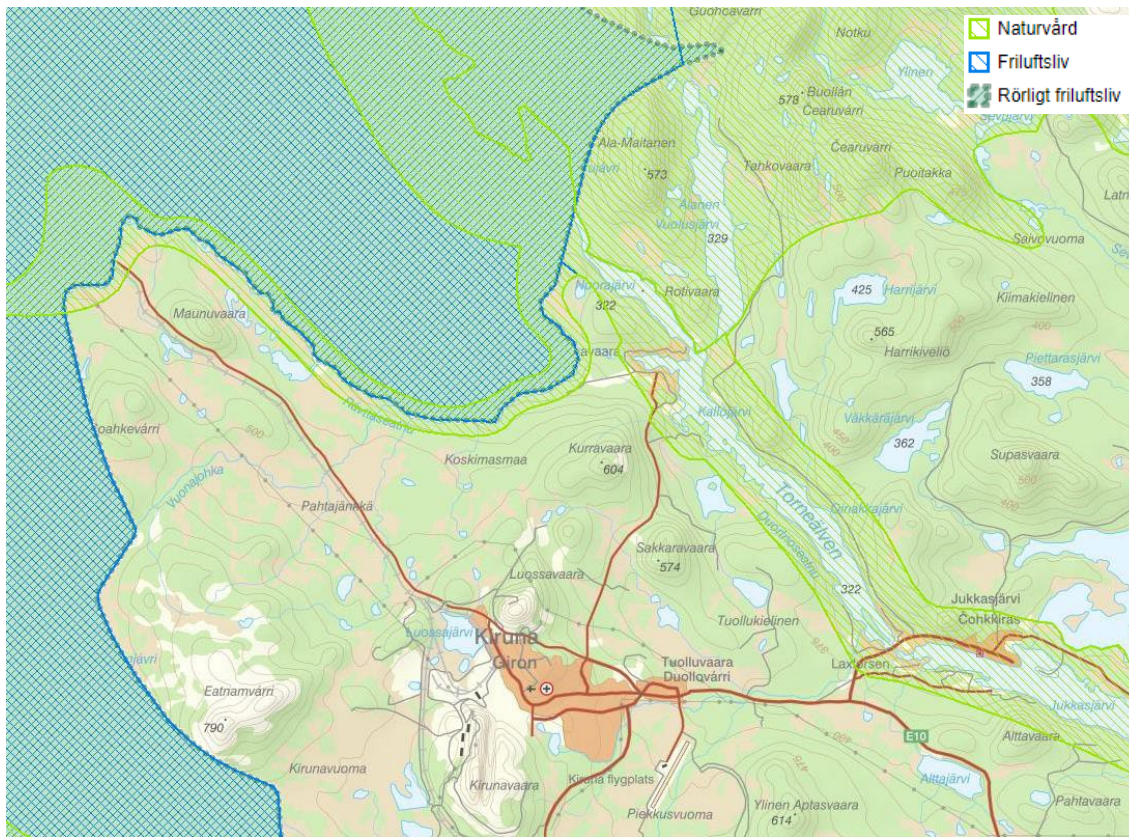
- Naturvård:
 - o Torneälven (Riks-ID: 25015).
- Friluftsliv:
 - o Torneträsk-Kebnekaise (områdesnr: FBD 02).
 - o Torne-Muonio älvdal (områdesnr: FBD 07).
- Rörligt friluftsliv:
 - o Torneträsk - Paitasjärvi.

Utöver dessa generella områden bedrivs i dagsläget friluftsliv i och i nära avslutning till Viscariagruvans markanvisningsområde. Det gäller skoterleder, skidleder och vandringsleder som därför medför aktivitet året om. I anslutning till dessa leder finns även vindskydd. Flera av dessa leder ansluter till Ädnamvaarastugan som är ett populärt turistmål där fikaservering även erbjuds under helgdagar perioden mars-april (Ecogain AB, 2021). I och med det planerade återupptagandet av gruvsdriften i området planeras flera av dessa leder och vindskydd att dras om något. I Figur 2-40 till Figur 2-42 redovisas befintliga och planerade omdragningar av skoterleder, skidspår, vandringsleder samt vindskydd.

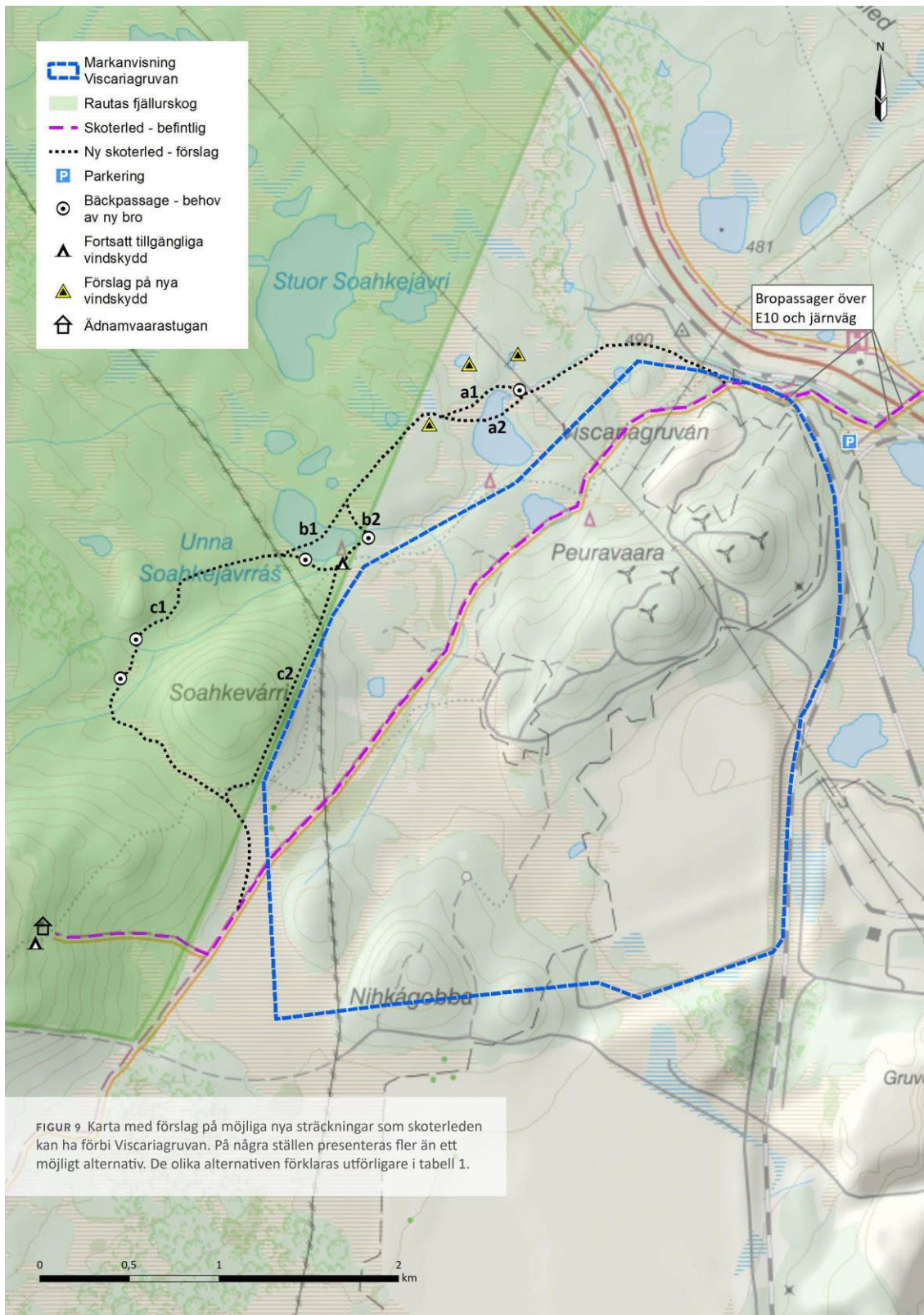
Flera kulturmiljövärden (fornlämning, övrig kulturhistorisk lämning) förekommer inom studieområdet, se Figur 2-43.



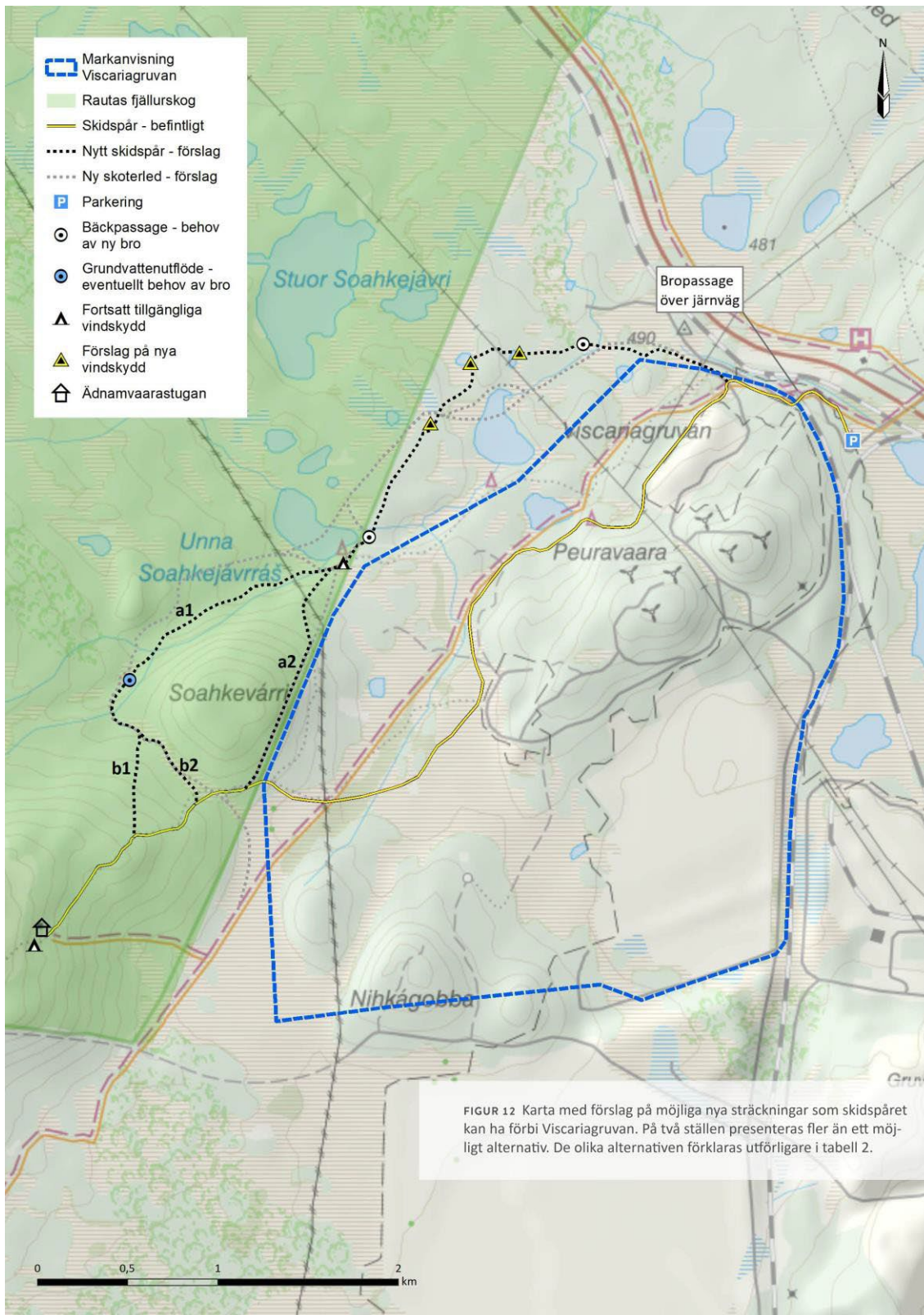
Figur 2-38. Natura 2000-områden. Källa: <https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>



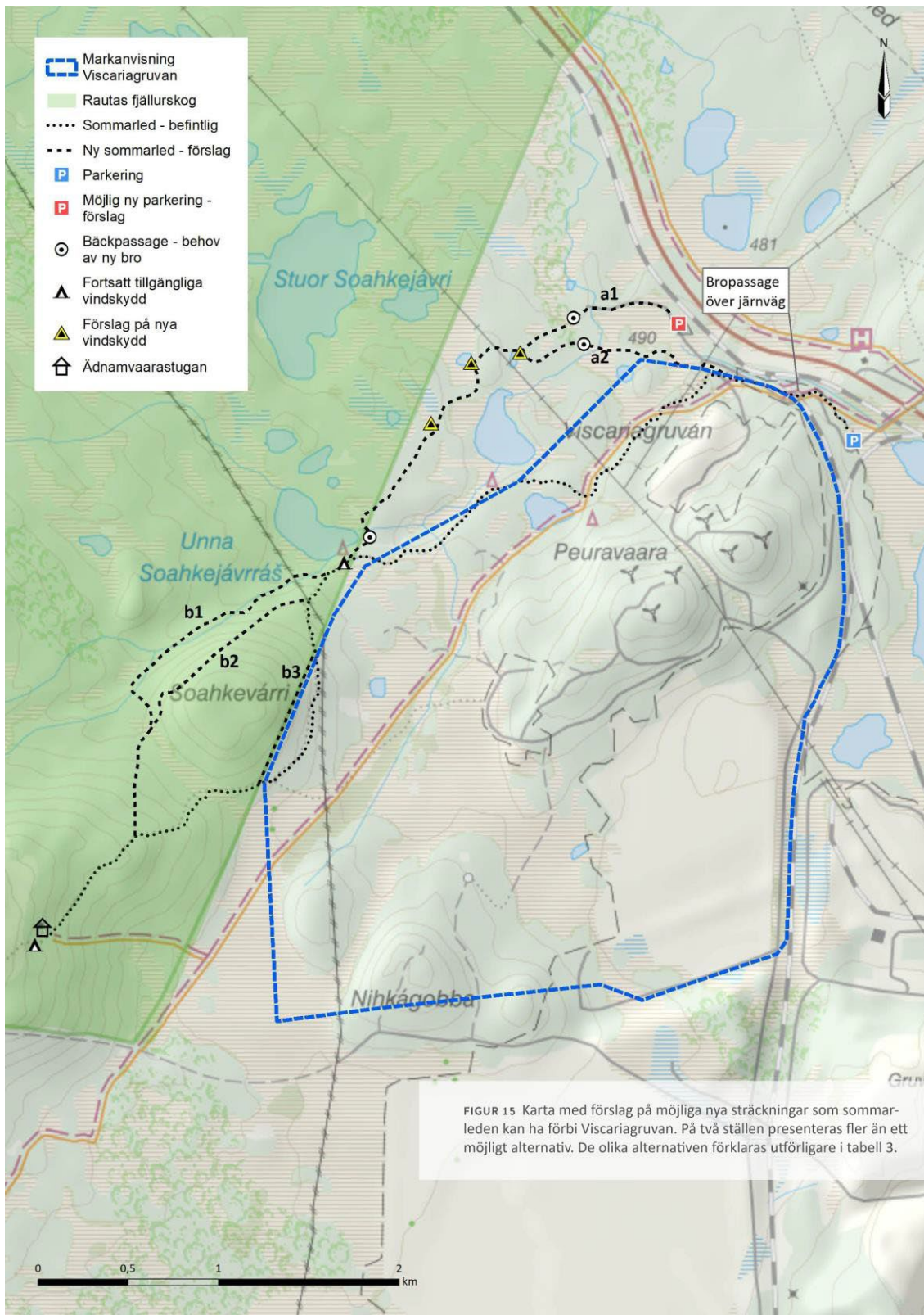
Figur 2-39. Riksintressen, naturvård och friluftsliv. Källa: <https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>



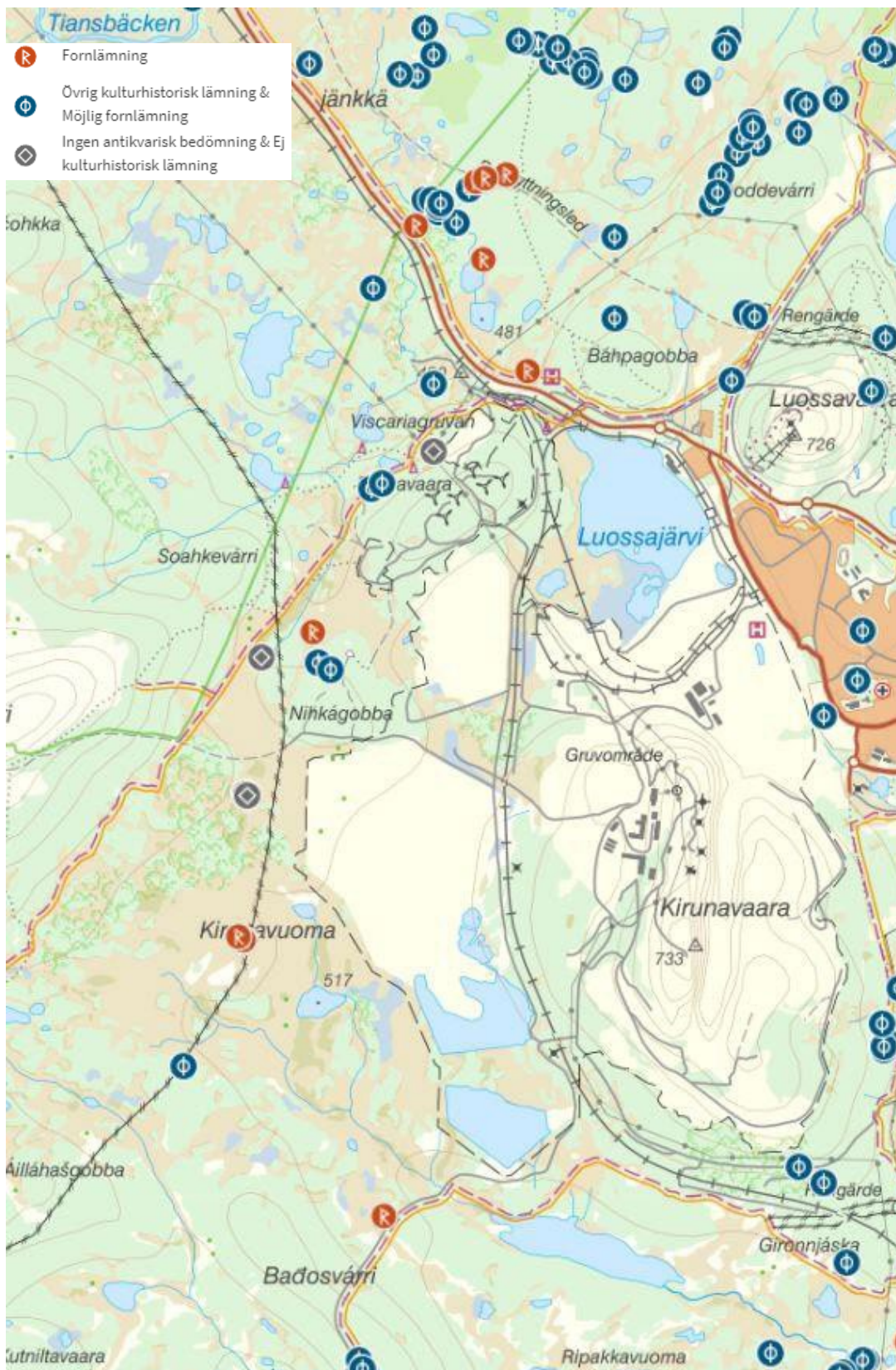
Figur 2-40. Figur som visar befintliga skoterleder och förslag på planerade omdragningar av skoterlederna. I figuren visas även befintliga och förslag på nya vindskydd (Ecogain AB, 2021).



Figur 2-41. Figur som visar befintliga skidspår och förslag på planerade omdragningar av skidspår. I figuren visas även befintliga och förslag på nya vindskydd (Ecogain AB, 2021).



Figur 2-42. Figur som visar befintliga sommarleder och förslag på planerade omdragningar av sommarlederna. I figuren visas även befintliga och förslag på nya vindskydd (Ecogain AB, 2021).



Figur 2-43. Kulturmiljövärden. Källa: <https://app.raa.se/open/fornsok/>

3 Resultat NV dammen

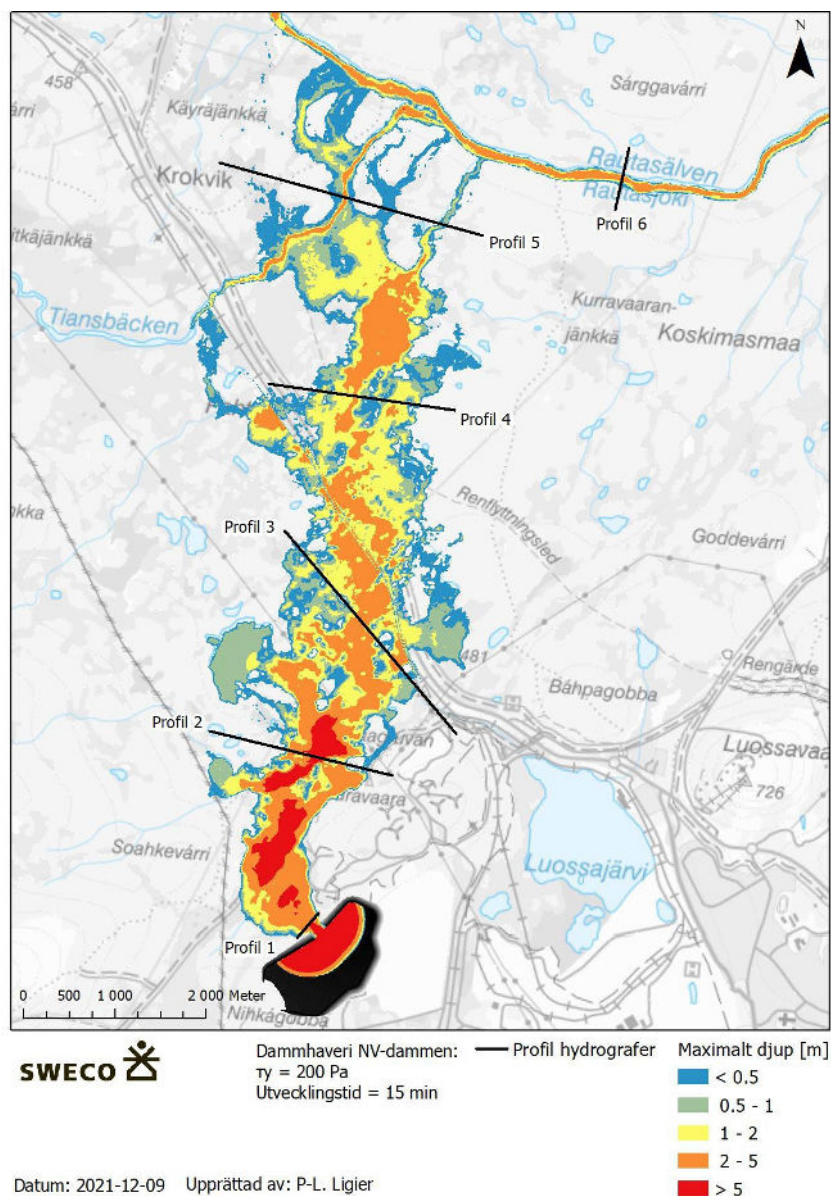
3.1 Känslighetsanalys

3.1.1 Scenario 1

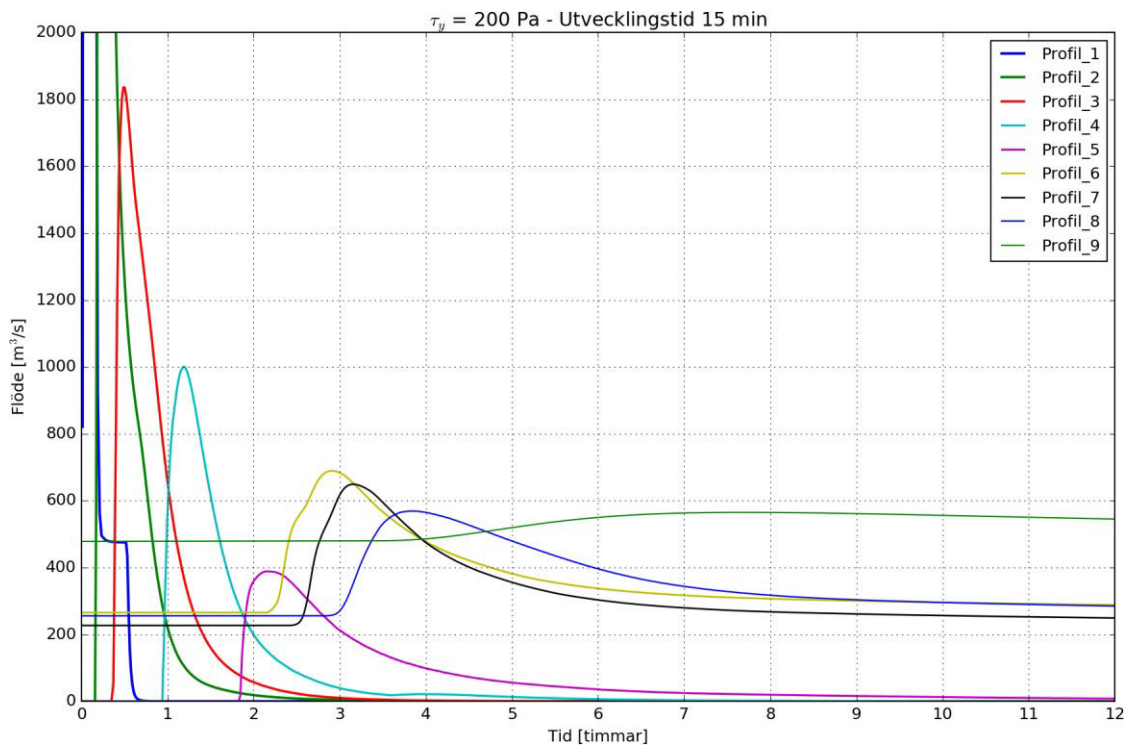
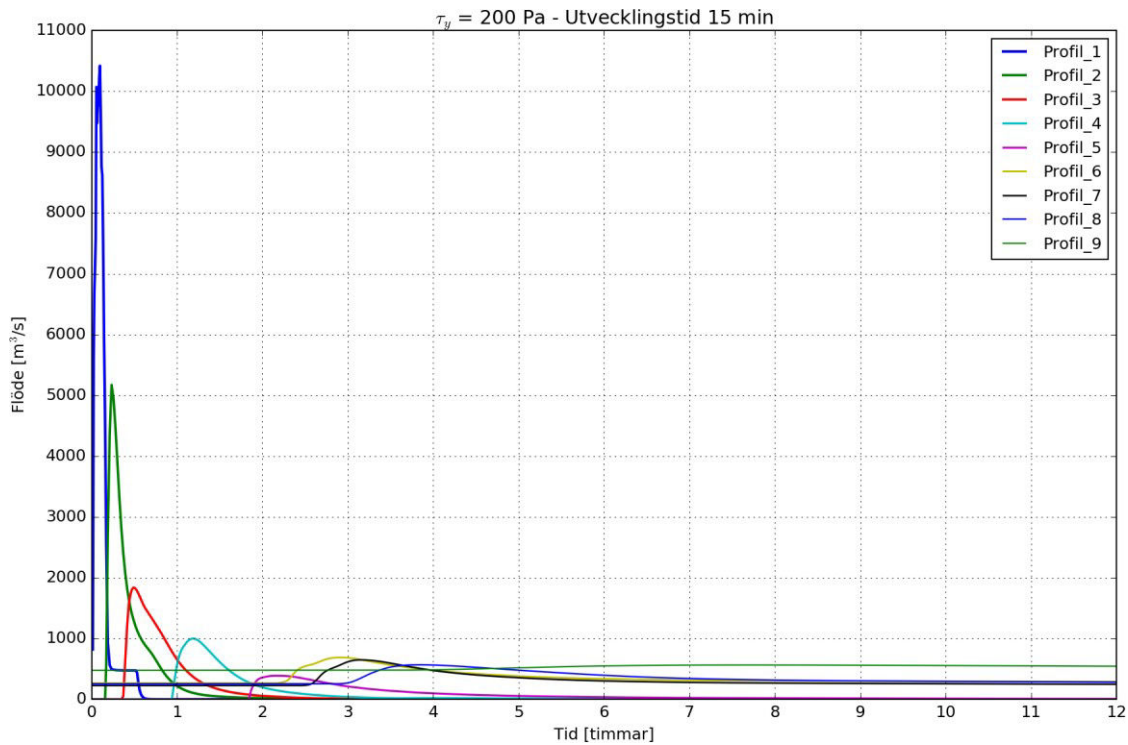
Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 1 (utströmmande volym 5,1 Mm³, utvecklingstid 15 min, flytspänning 200 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 3-1).
- Flödeshydrografer (Figur 3-2).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 3.1.6.



Figur 3-1. NV dammen. Scenario 1: maximal översvämningsutbredning.



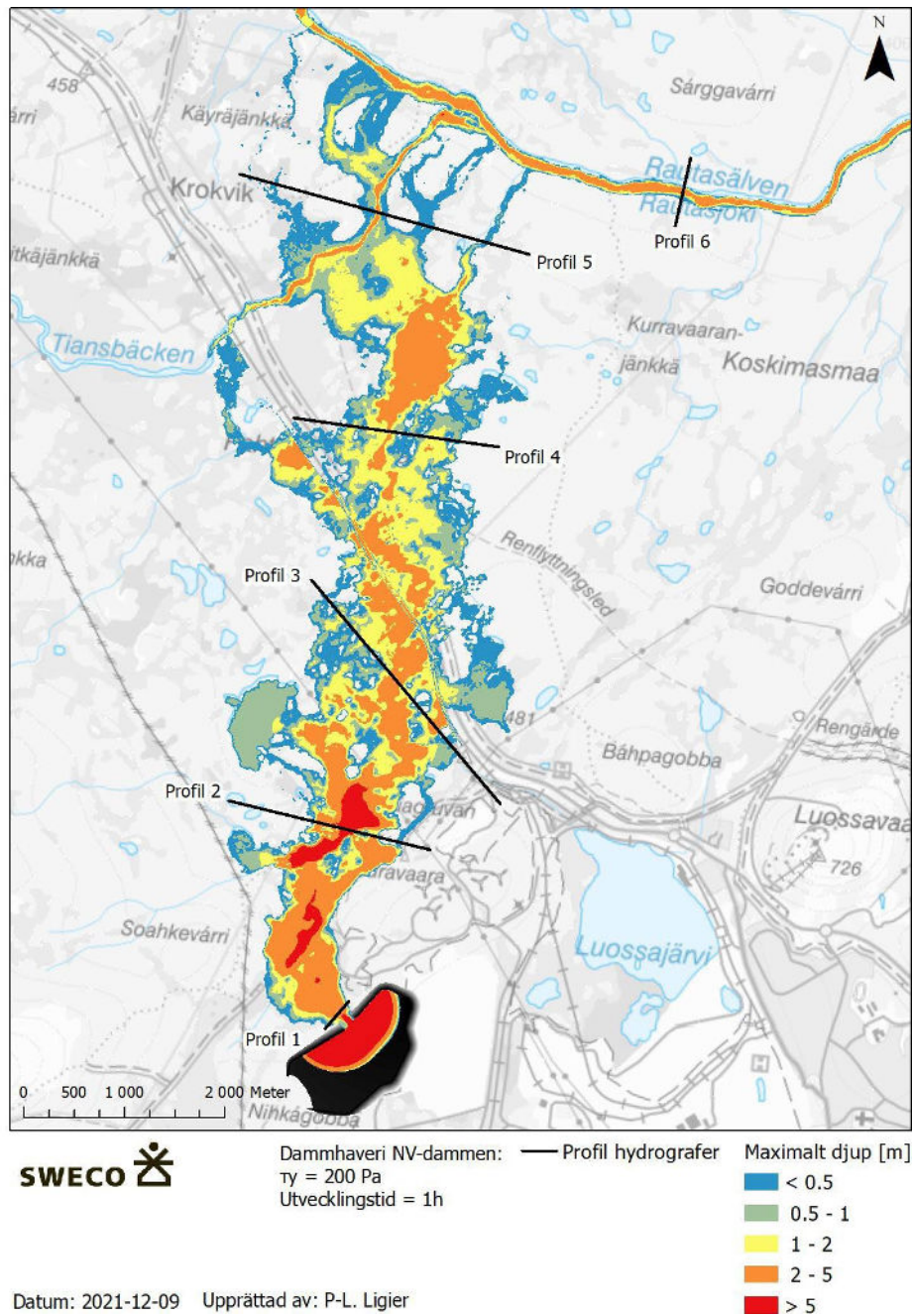
Figur 3-2. NV dammen. Scenario 1: flödeshydrografer. Undre grafen är en inzoomad vy mellan 0 och 2000 m³/s. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningsskartan.

3.1.2 Scenario 2

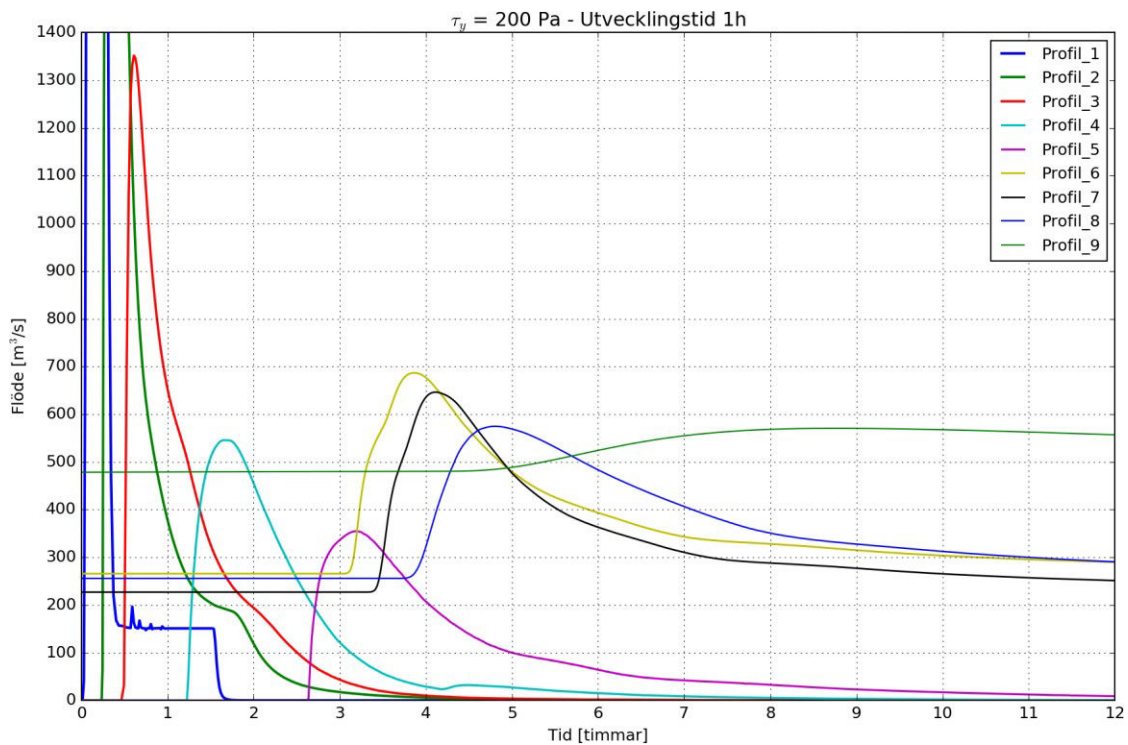
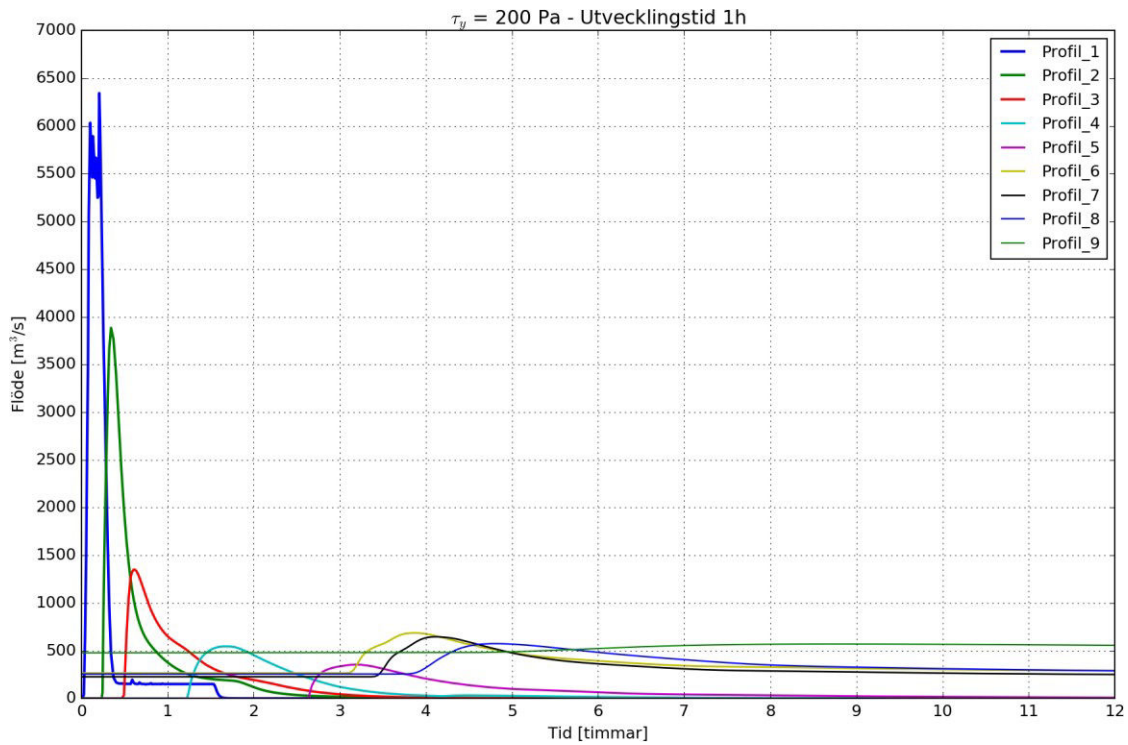
Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 2 (utströmmande volym 5,1 Mm³, utvecklingstid 1 timme, flytspänning 200 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 3-3).
- Flödeshydrografer (Figur 3-4).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 3.1.6.



Figur 3-3. NV dammen. Scenario 2: maximal översvämningsutbredning.



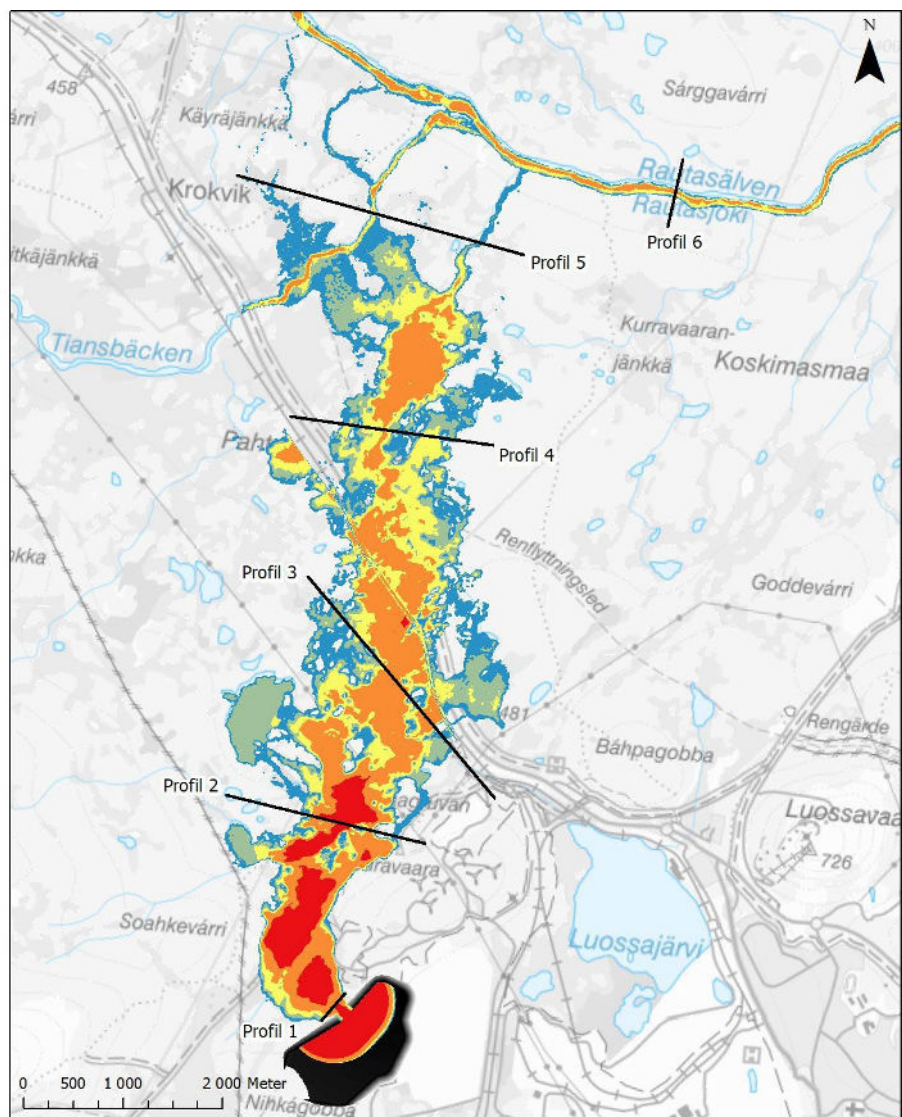
Figur 3-4. NV dammen. Scenario 2: flödeshydrografer. Undre grafen är en inzoomad vy mellan 0 och 1400 m³/s. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningsskarta.

3.1.3 Scenario 3

Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 3 (utströmmande volym 5,1 Mm³, utvecklingstid 15 min, flytspänning 1000 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 3-5).
- Flödeshydrografer (Figur 3-6).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 3.1.6.

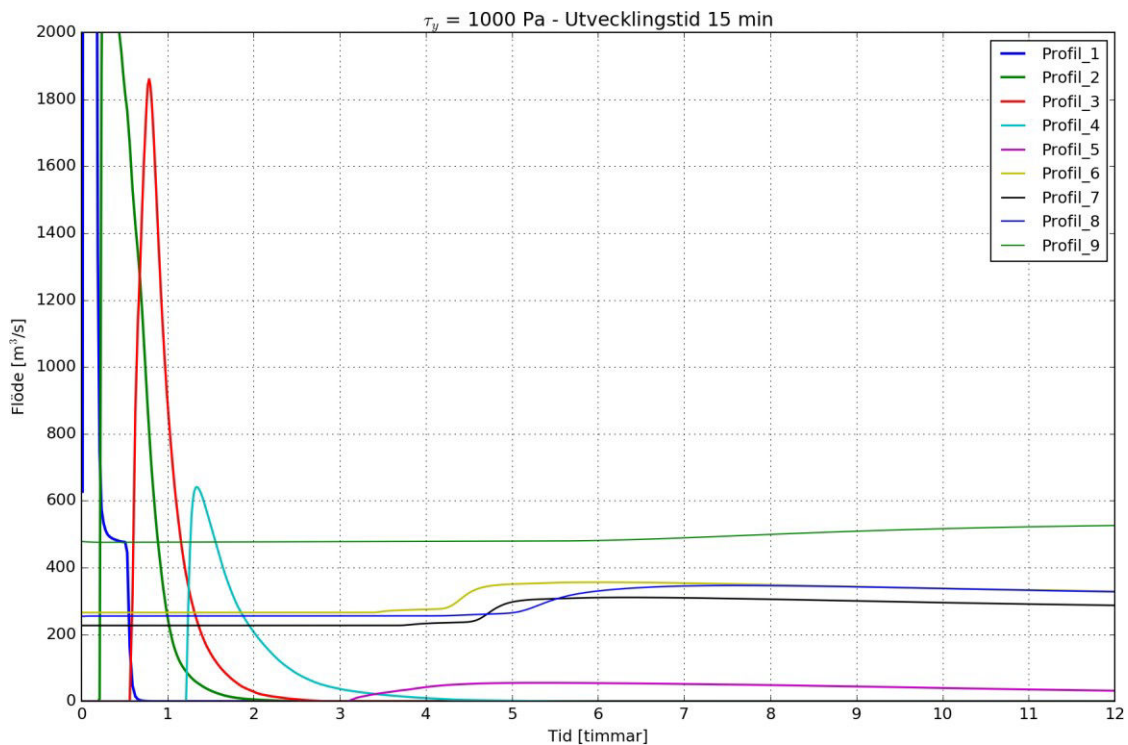
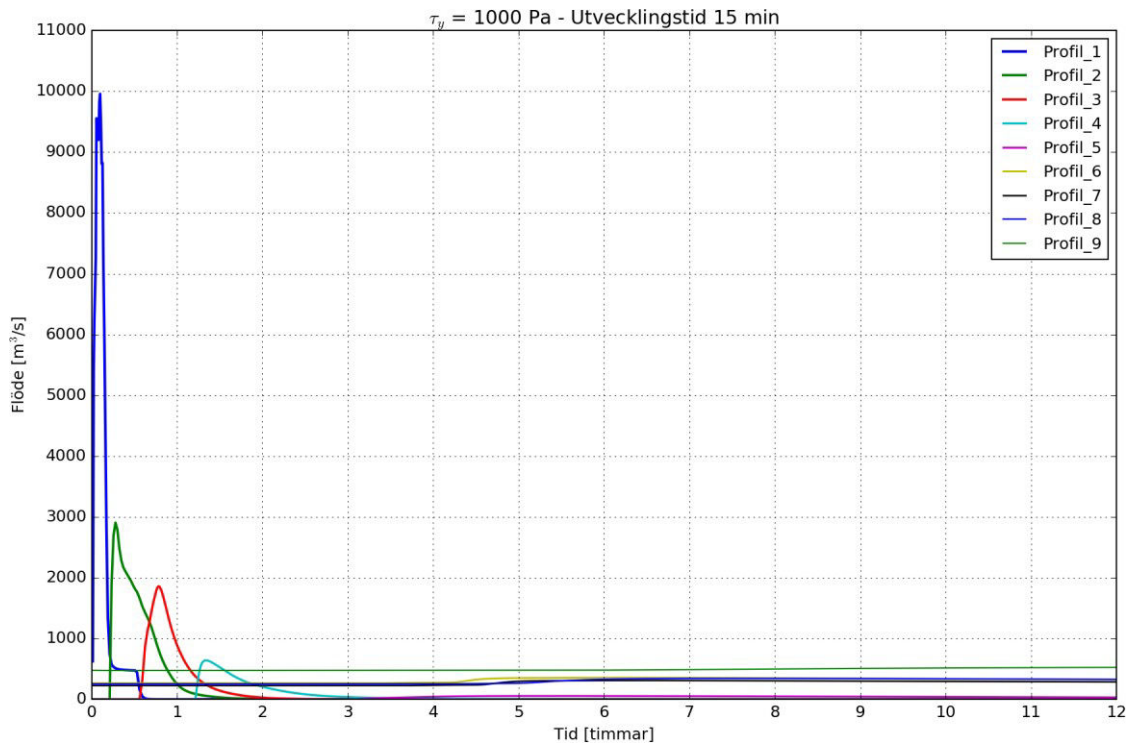


Dammhaveri NV-dammen: — Profil hydrografer
 ty = 1000 Pa
 Utvecklingstid = 15 min

Maximalt djup [m]
 < 0.5
 0.5 - 1
 1 - 2
 2 - 5
 > 5

Datum: 2021-12-09 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 3-5. NV dammen. Scenario 3: maximal översvämningsutbredning.



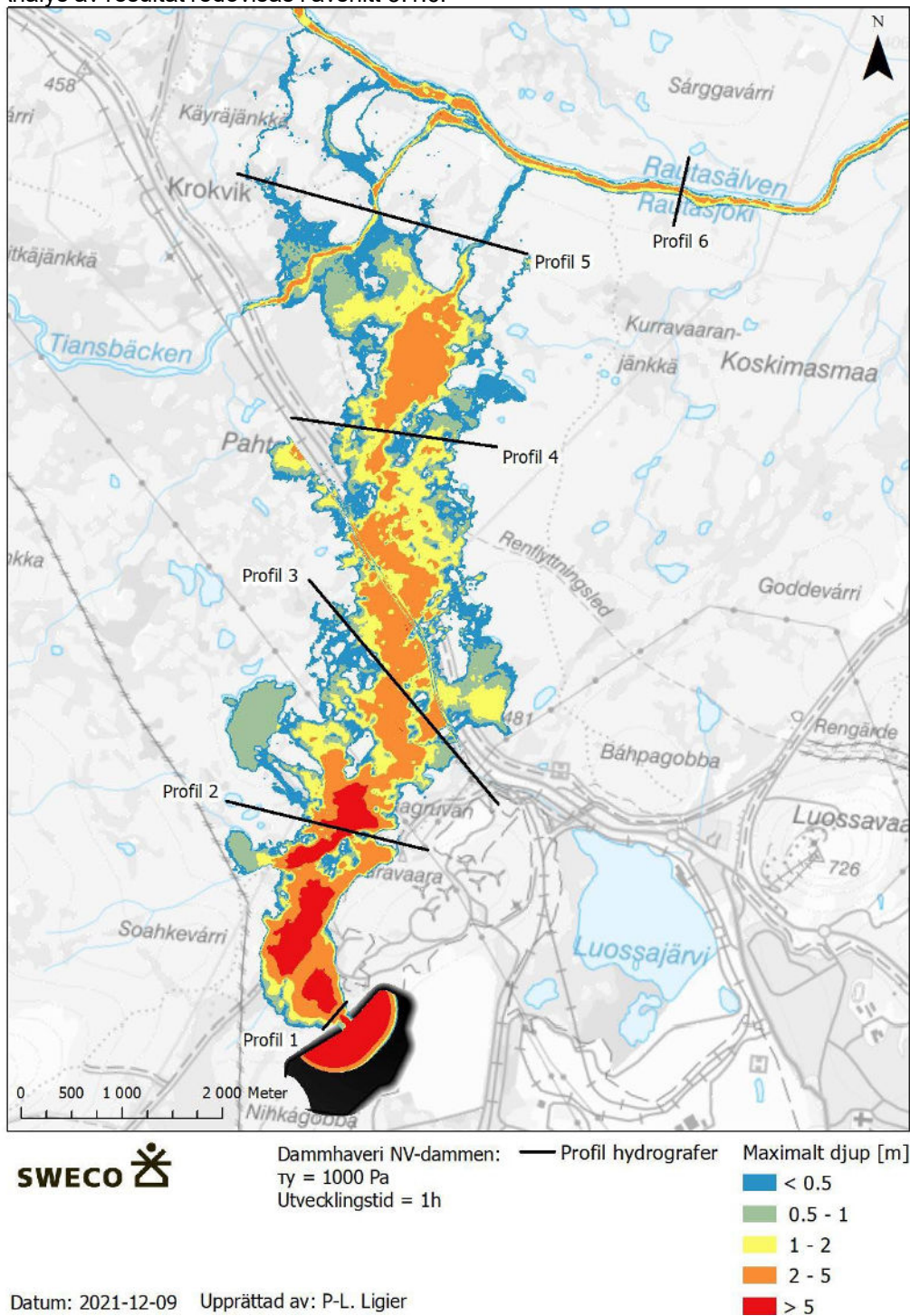
Figur 3-6. NV dammen. Scenario 3: flödeshydrografer. Undre grafen är en inzoomad vy mellan 0 och 2000 m³/s. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningsskartan.

3.1.4 Scenario 4

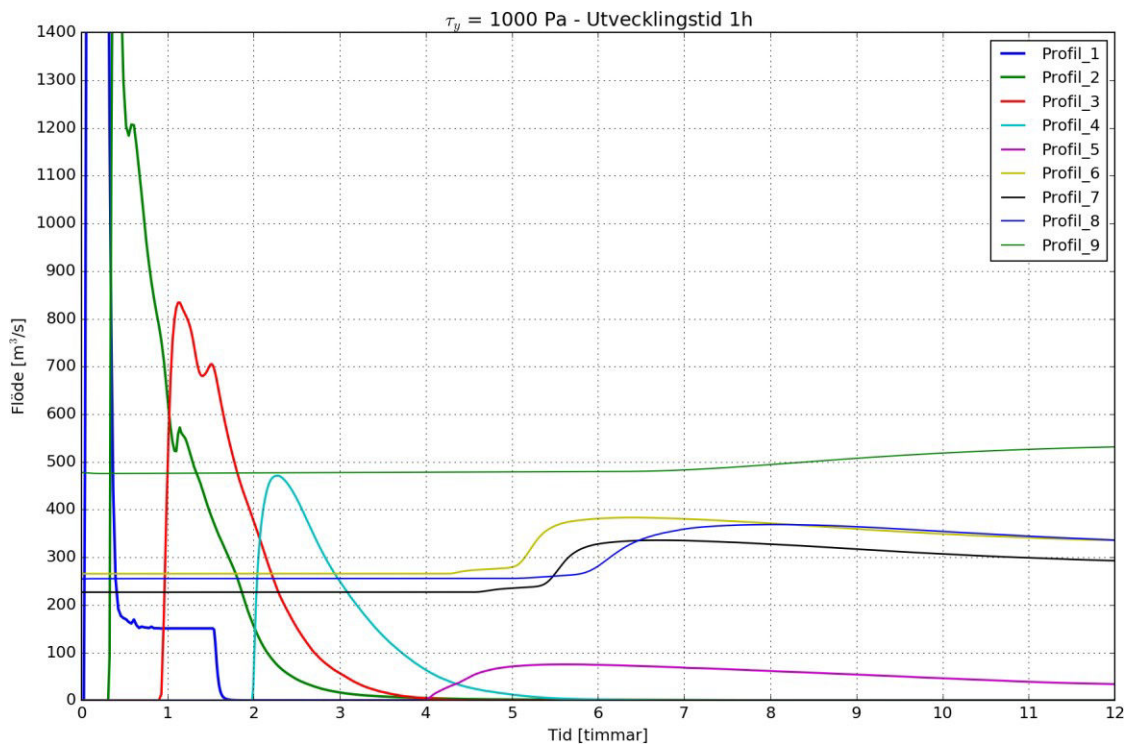
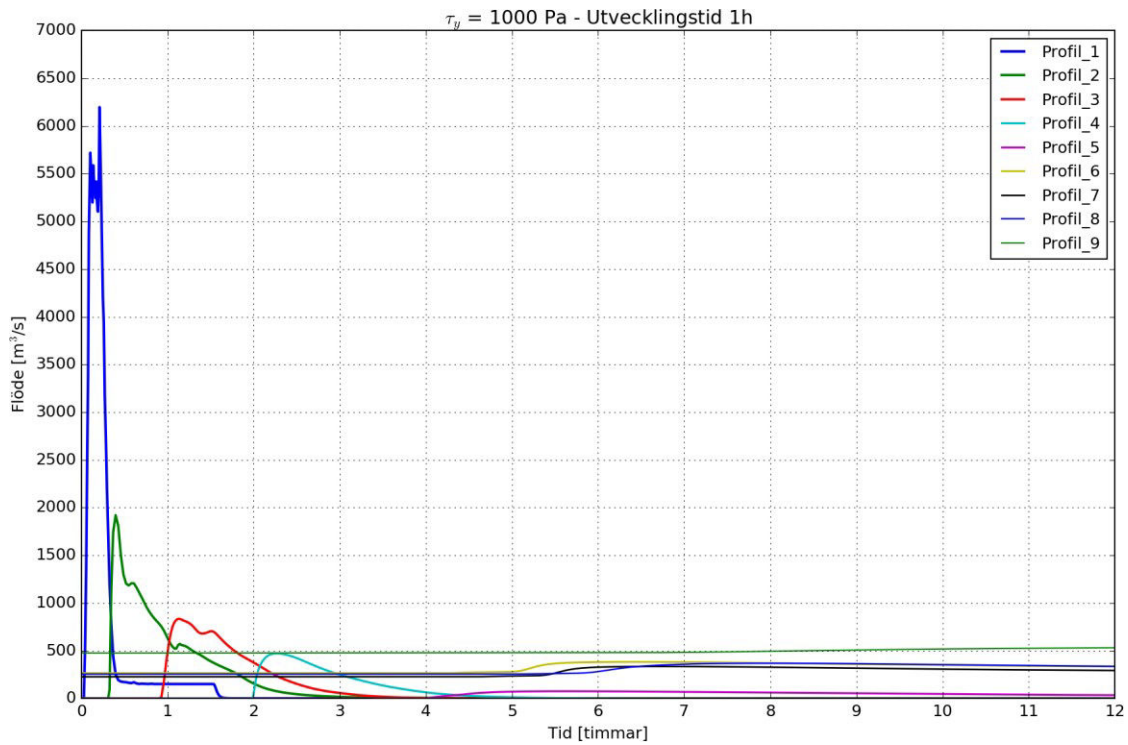
Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 4 (utströmmande volym 5,1 Mm³, utvecklingstid 1 timme, flytspänning 1000 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 3-7).
- Flödeshydrografer (Figur 3-8).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 3.1.6.



Figur 3-7. NV dammen. Scenario 4: maximal översvämningsutbredning.



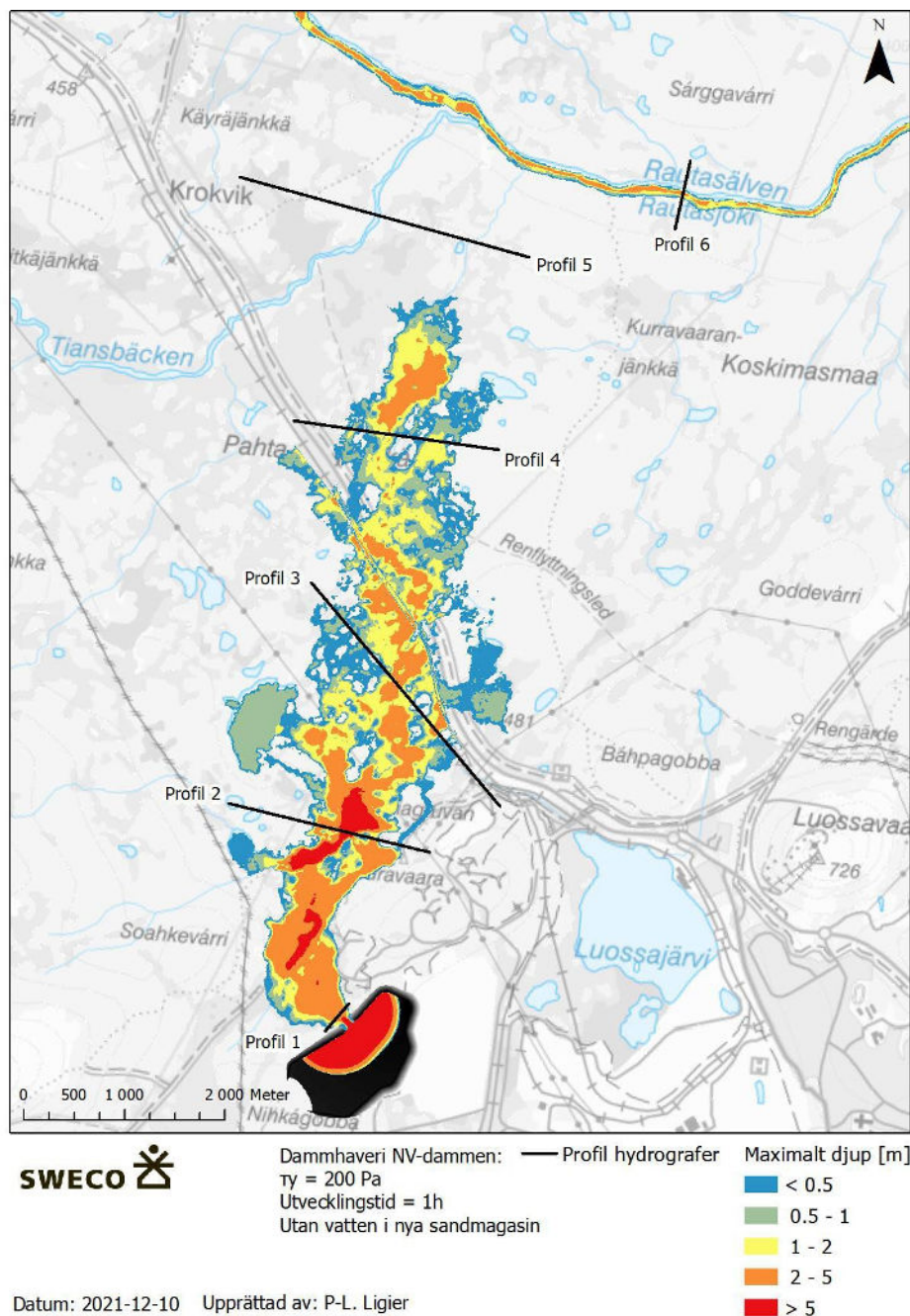
Figur 3-8. NV dammen. Scenario 4: flödeshydrografer. Undre grafen är en inzoomad vy mellan 0 och 1400 m³/s. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningsskartan.

3.1.5 Scenario 5

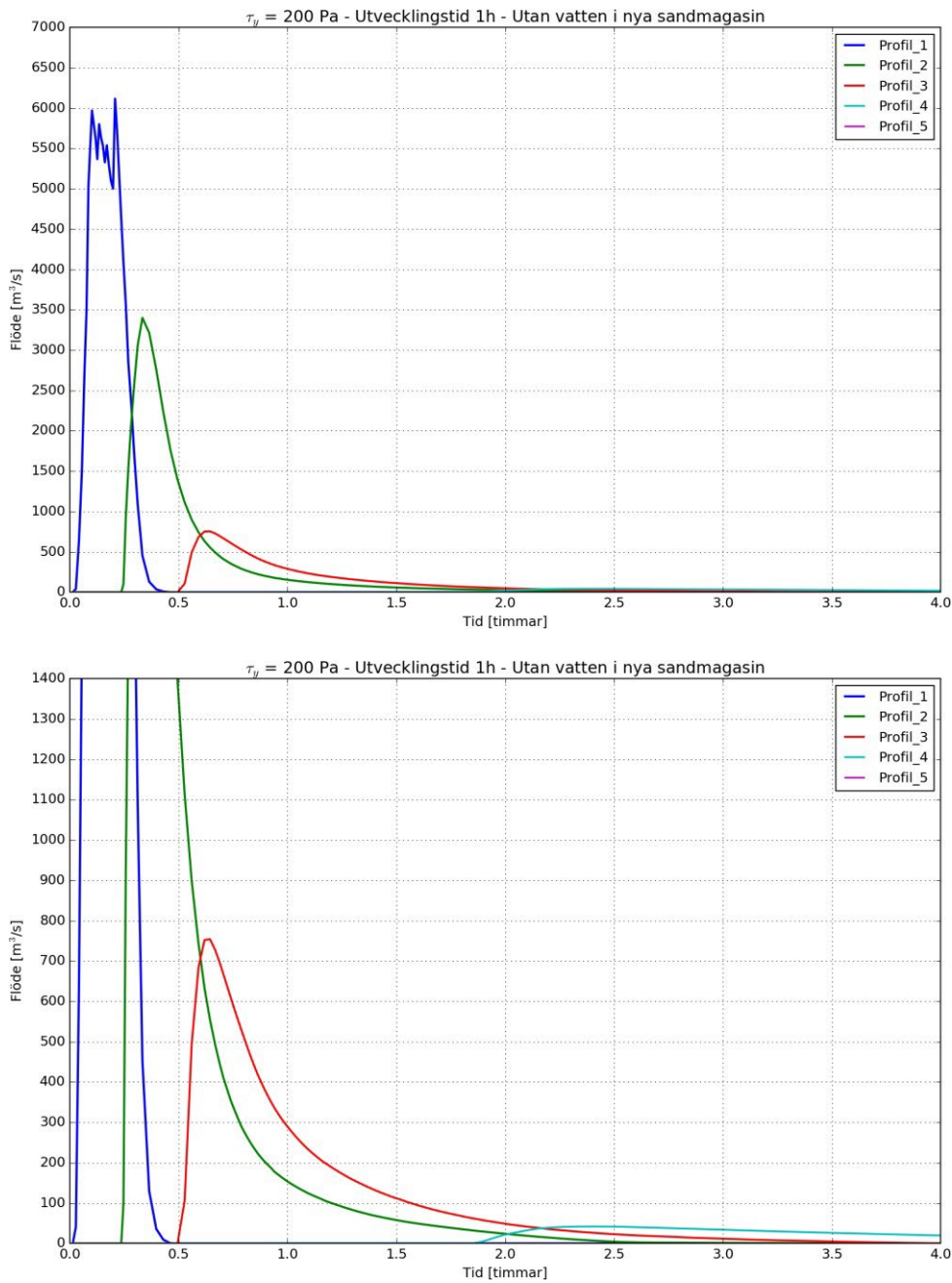
Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 5 (utströmmande volym 4,2 Mm³, d.v.s. utan magasinerat vatten i det nya sandmagasinet, utvecklingstid 1 timme, flytspänning 200 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 3-9).
- Flödeshydrografer (Figur 3-10).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 3.1.6.



Figur 3-9. NV dammen. Scenario 5: maximal översvämningsutbredning.



Figur 3-10. NV dammen. Scenario 5: flödeshydrografer. Undre grafen är en inzoomad vy mellan 0 och 1400 m^3/s . Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningsskarta.

3.1.6 Sammanställning

Analys av skillnader vad gäller översvämningsutbredningen mellan Scenario 1-4 visar att:

- Mellan NV dammen och järnvägen/E10:
 - o Endast mindre skillnader observeras mellan dessa fyra scenarier i detta område. Största översvämningsdjupet erhålls för Scenario 3 (utvecklingstid 15 min, flytspänning 1000 Pa), vilket kan ses i figurerna där det röda området (djup > 5 m) är något mer omfattande än för övriga scenarier, vilket är förväntat.
- Mellan järnvägen/E10 och Rautasälven:
 - o Större översvämningsutbredning observeras för scenarierna med flytspänningen 200 Pa (Scenario 1-3) jämfört med scenarierna med flytspänningen 1000 Pa (Scenario 2-4). Det större strömningsmotståndet som erhålls med den högre flytspänningen (1000 Pa) begränsar materialvolymen som strömmar förbi järnvägen/E10.
 - o Inverkan av bräschutvecklingstiden är mindre än effekten av flytspänningen. Det kan dock observeras att översvämningsutbredningen i detta område är lite större vid utvecklingstid 1 timme jämfört med 15 minuter. Detta resultat, som vid första anblick låter icke intuitivt, beror på utspädningseffekter som sker mellan anrikningssanden och vattnet. Med utvecklingstid 1 timme sker mer blandning längre bort från dammen, vilket medför en minskning av vätskans reologiska egenskaper och bidrar till att öka dess strömmande förmåga, relativt scenarierna med utvecklingstid 15 minuter. Det bör noteras att inverkan av utspädning på översvämningsutbredningen är beroende på de antaganden som gjorts vad gäller hur snabbt vattnet frigörs. Observerade skillnader bedöms därmed ingå i de övergripande modelleringsosäkerheterna.

Resultat från Scenario 5 (utvecklingstid 1 timme, flytspänning 200 Pa och inget magasinerat vatten i det nya sandmagasinet) visar att översvämnningen inte når Rautasälven och stannar av mellan Profiler 4 och 5, d.v.s. mellan järnvägen/E10 och älven. Detta resultat illustrerar inverkan av magasinerat vatten på flodvågen. Konsekvenserna ner till järnvägen/E10 är dock av samma karaktär som för Scenario 1-4.

Flodvågens egenskaper redovisas i Tabell 3-1 för Scenarierna 1, 4 och 5 mellan Profil 1 och 5. Information från Scenarierna 2 och 3 ligger mellan Scenarier 1-4 och har, för klarhet, inte inkluderats i tabellen.

- Maximalt utflöde från bräschen är ca 11 000 m³/s och 6 000 m³/s för utvecklingstid 15 minuter respektive 1 timme.
- Ankomsttiden inom Viscarias gruvområde (ner till Profil 2) varierar mellan 9 och 18 minuter.
- Ankomsttiden vid järnvägen/E10 (mellan Profil 2 och 3) varierar mellan ca 25 minuter och 1 timme.
- Ankomsttiden vid Rautasälven (efter Profil 5) varierar mellan ca 2 och 4 timmar.
- Volym sedimenterat material uppströms järnvägen/E10 (Profil 3) är:
 - o Ca 1,3 till 2,0 Mm³ av totalt 5,1 Mm³ för Scenarierna 1-4, d.v.s. 26% respektive 40% (Klass I-flöde).
 - o Ca 2,8 Mm³ av totalt 4,2 Mm³ för Scenario 5, d.v.s. 66% (utan vatten).

- Volym sedimenterat material uppströms Rautasälven (Profil 5) är:
 - o Ca 2,4 till 3,5 Mm³ av totalt 5,1 Mm³ för Scenarierna 1-4, d.v.s. 48% respektive 83% (Klass I-flöde).
 - o Ca 4,2 Mm³ av totalt 4,2 Mm³ för Scenario 5, d.v.s. 100% (utan vatten).

Tabell 3-1. NV dammen. Flodvägens egenskaper.

	Scenario 1 200 Pa - 15 min	Scenario 4 1000 Pa - 1h	Scenario 5 200 Pa - 1h - inget vatten
Profil 1 - 0.1 km			
Max. flöde [m ³ /s]	10,421	6,197	6,117
Ankomsttid	0h 1 min	0h 2 min	0h 1 min
Tidpunkt för Qmax	0h 6min	0h 13min	0h 12min
Passerande volym [Mm ³]	5.1	5.1	4.2
Profil 2 - 2.2 km			
Max. flöde [m ³ /s]	5,172	1,920	3,401
Ankomsttid	0h 9min	0h 18min	0h 14min
Tidpunkt för Qmax	0h 14min	0h 24min	0h 20min
Passerande volym [Mm ³]	5.0	4.4	3.2
Sedimenterat innan [Mm ³]	0.1	0.7	1.0
Profil 3 - 3.9 km			
Max. flöde [m ³ /s]	1,836	834	754
Ankomsttid	0h 21min	0h 53min	0h 30min
Tidpunkt för Qmax	0h 29min	1h 9min	0h 39min
Passerande volym [Mm ³]	3.8	3.1	1.4
Sedimenterat innan [Mm ³]	1.3	2.0	2.8
Profil 4 - 6.6 km			
Max. flöde [m ³ /s]	1,001	471	42
Ankomsttid	0h 56min	1h 59min	1h 51min
Tidpunkt för Qmax	1h 11min	2h 16min	2h 24min
Passerande volym [Mm ³]	2.8	2.0	0.3
Sedimenterat innan [Mm ³]	2.3	3.1	3.9
Profil 5 - 9.1 km			
Max. flöde [m ³ /s]	389	76	0
Ankomsttid	1h 50min	4h 00min	-
Tidpunkt för Qmax	2h 9min	5h 36min	-
Passerande volym [Mm ³]	2.6	1.6	0.0
Sedimenterat innan [Mm ³]	2.4	3.5	4.2

Analys av resultat i älvsystemet visar att flödet i Rautasälven (Profiler 6-8) ökar med maximalt 137-187% och 40-60% för Scenario 1 respektive Scenario 4. Maximal vattennivåhöjning ligger i storleksordning 1-2 m och 0,2-0,5 m för Scenario 1 respektive Scenario 4. Det bör noteras att resultat i älvsystemet anses vara approximativa p.g.a. att:

- Beräkningarna tar inte hänsyn till att sanden som transporteras i suspension (vid sammanflödet mellan brottflödet och Rautasälven sjunker den volymetriska materialkoncentrationen till $C_V < 0,3$, d.v.s. att transportprocessen liknar mer vanlig sedimenttransport med newtonskt beteende och i verkligheten förväntas suspenderad anrikningssand att kunna sedimenteras). Detta innebär att en andel av flödestillskottet som rinner vidare i älven troligen kommer att sedimentera lokalt. De simulerade flödena utmed älvsystemet kan därmed anses vara något överskattade.
- Inget underlag om aktuella bottennivåer i berört område av älvsystemet har funnits att tillgå.

Det bör noteras att hydrograferna vid Profilerna 6 till 8 som går tvärs över Rautasälven visar något olika basflöden när alla borde ligga på MHQ (243 m³/s). Detta är en artefakt som orsakas av använd metod för att ta fram hydrograferna samt att antalet beräkningsceller tvärs älven är begränsat, vilket genererar osäkerheter vid integrationen utmed profilens linje. Denna artefakt syns inte vid de tidigare profilerna (1-5) där antalet celler med vatten är betydligt större eftersom översvämningssområdet i de dessa profiler är mer omfattande.

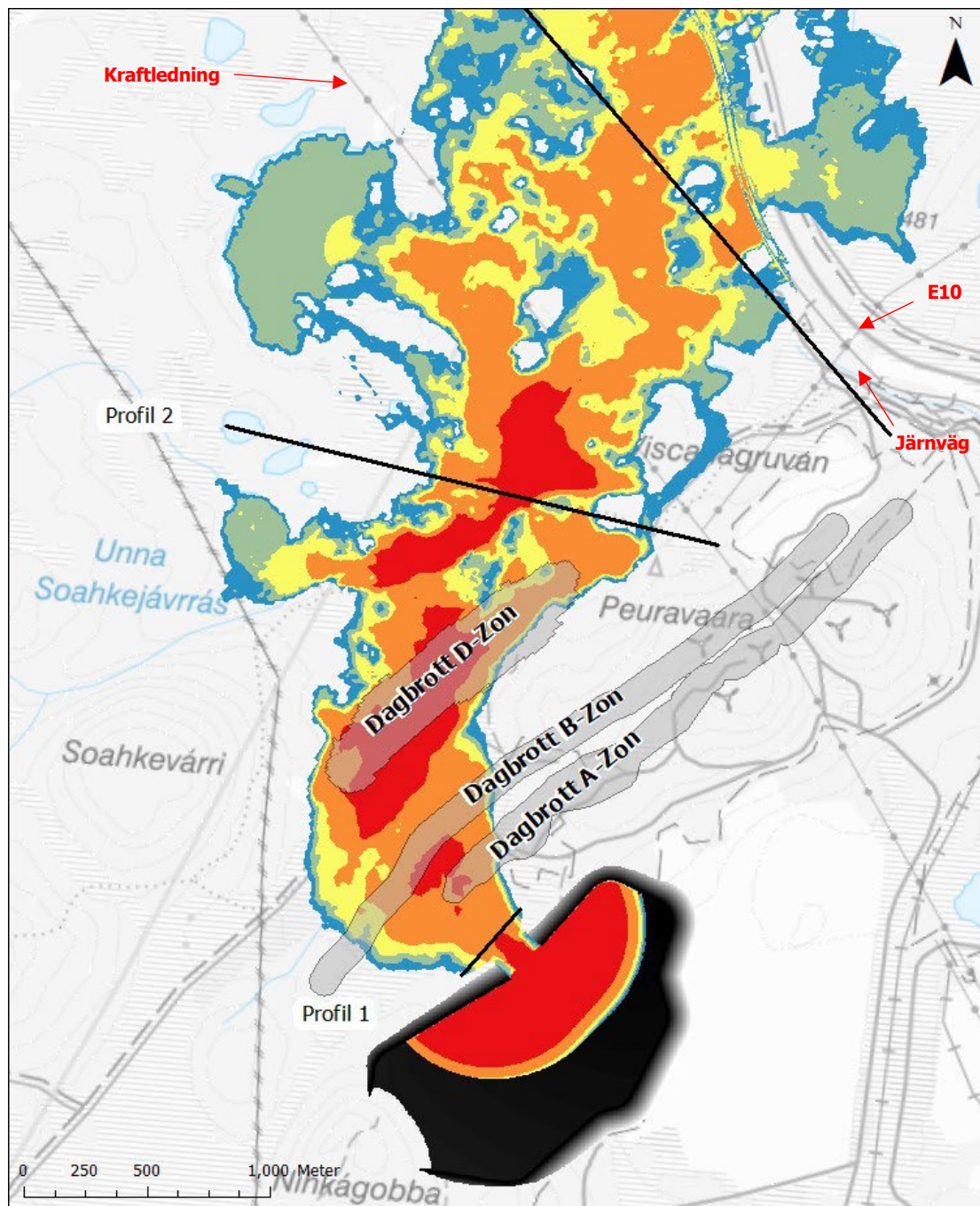
3.2 Konsekvenser

Utifrån resultat från känslighetsanalysen kan följande konsekvenser förväntas inträffa i samband med dammhaveri i NV dammen vid ett Klass I-flöde (scenario 1-4):

- Risk för människoliv:
 - o Gruvområdet som ligger nedströms NV dammen förväntas översvämmas på ett omfattande sätt inom mycket kort tid (mindre än 5-10 minuter). I beräkningarna har det antagits att dagbrotten som planeras i detta område (A-, B- och D-zon, se Figur 3-11) är ifyllda för att kunna utreda de största möjliga konsekvenserna nedströms gruvdammanläggningen. Ifall dammhaveri sker under period när arbete sker i dagbrott kommer stora volymer anrikningssand och vatten att rinna ner i dagbrotten vilket innebär en icke försumbar risk för förlust av människoliv. Detta bedöms vara aktuellt oavsett aktuell byggetapp och aktuellt hydrologiskt scenario p.g.a. det relativa korta avståndet mellan NV dammen och dagbrotten (ca 300 m).
 - o Järnvägen och E10 översvämmas utmed totalt drygt 2 km och överströmningen kan lokalt överstiga 2 m. Risk för förlust av människoliv bedöms vara icke försumbar p.g.a. lokalt höga djup och flödes hastigheter.
 - o Vattennivåerna i Rautasälven kan ökas med upp till ca 1-2 m relativt vattennivåerna som råder vid MHQ. Det bör noteras att resultat vad gäller maximala vattennivåerna i älvsystemet är osäkra p.g.a. bottendata saknas. Ytterligare analys behövs för att avgöra ifall risk för förlust av människoliv förekommer vid de fastigheterna som ligger nära älvarna. Konsekvenserna i Torneälven bedöms vara mindre.
 - o Det friluftsliv som pågår i direkt anslutning till gruvområdets norra del med skoterleder, skidspår, sommarleder och vindskydd (se figur Figur 2-40 till Figur 2-42) kan komma att påverkas med förvätskad anrikningssand med djup > 5 m. I det berörda området bedöms mer än 10 personer kunna vistas samtidigt vilket leder till att risken för förlust av människoliv inte är försumbar.
 - o Markområden utmed älvsystemet pekas ut som aktivt vad gäller friluftsliv. Dessa områden drabbas vid utströmning av både anrikningssand och vatten. Resultat från Scenario 5 har visat att flodvågen inte når älvsystemet ifall inget vatten frigörs från det nya sandmagasinet. Det kan dock inte uteslutas att dessa områden kan drabbas vid en begränsad magasinerad vattenvolym, d.v.s. under vanliga driftförhållanden. Ingen etablerad friluftaktivitet har dock kunnat identifierats i den aktuella sträckan längs Rautasälven (t.ex. sportfiskecamp) (Länsstyrelsen, 2021). Preliminärt kan därmed risk för förlust av människoliv antas vara försumbar i dessa områden.
- Skador på infrastruktur och elförsörjning:
 - o Järnvägen och E10 bedöms kunna bortspolas p.g.a. omfattande överströmning.
 - o Kraftledningen och elstolparna som ligger mellan järnvägen/E10 och gruvområdet förväntas bortspolas och/eller skadas. Som beskrivits i avsnitt 2.11 är dessa ledningar av stor betydelse för strömförsörjningen av samhällsviktig verksamhet. En av dessa ledningar har också förbindelser till Norge. Om dessa ledningar spolas bort och strömförsörjningen stoppas kan det därmed leda till stora samhällsliga konsekvenser.

- Miljöskador:

- Omfattande erosionsskador och sedimentering av anrikningssand förväntas ske mellan NV dammen och Rautasälven. En stor andel av detta område är ett naturreservat och är Natura 2000-klassat (se avsnitt 2.11). Totala sedimenteringsvolymerna för dammhaveri vid Klass I-flöde uppskattas till minst 1,3-2,0 Mm³ från dammen fram till järnvägen/E10 och 2,4-3,5 Mm³ från dammen fram till mynningen i älvsystemet. För haveri vid normaldrift (utan vatten, scenario 5) förväntas all volym (4,2 Mm³ anrikningssand inkl. porvatten) sedimenteras innan mynningen i älvsystemet.
- Erosionsskador förväntas också kunna ske i Rautasälven och i mindre omfattning i Torneälven. Dessa älvar är också Natura 2000-klassade (se avsnitt 2.11).
- Kulturmiljövärden (fornlämning, övrig kulturhistorisk lämning) som ligger inom översvämningssområdet bedöms kunna skadas.



Dammhaveri NV-dammen: $\tau_y = 200 \text{ Pa}$
 Utvecklingstid = 15 min

— Profil hydrografer
 □ Dagbrott

Maximalt djup [m]

- < 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- 2 - 5
- > 5

Datum: 2021-12-13 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 3-11. NV dammen. Scenario 1: översvämningsutbredning strax nedströms sandmagasinet och jämförelse med planerad utsträckning för dagbrotten (A-, B- och D-zon).

4 Resultat Ö dammen

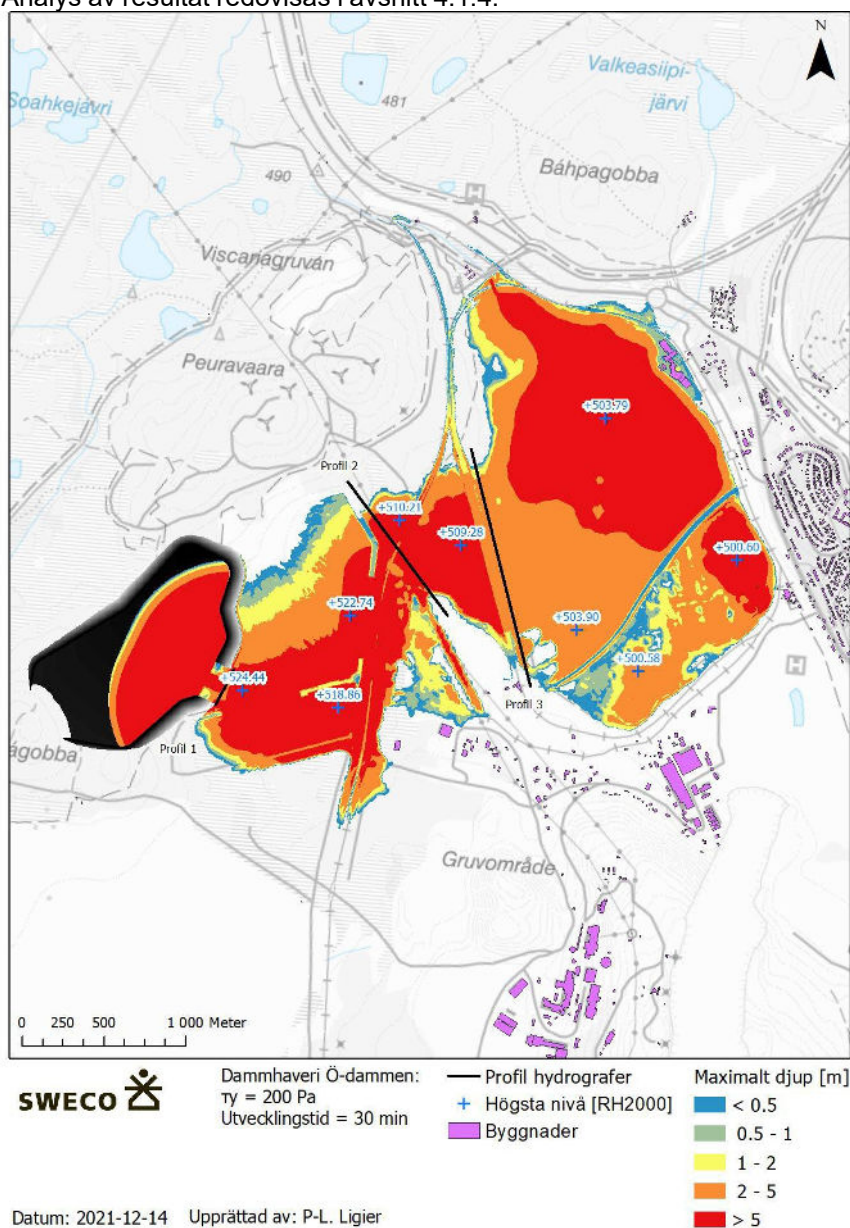
4.1 Känslighetsanalys

4.1.1 Scenario 1

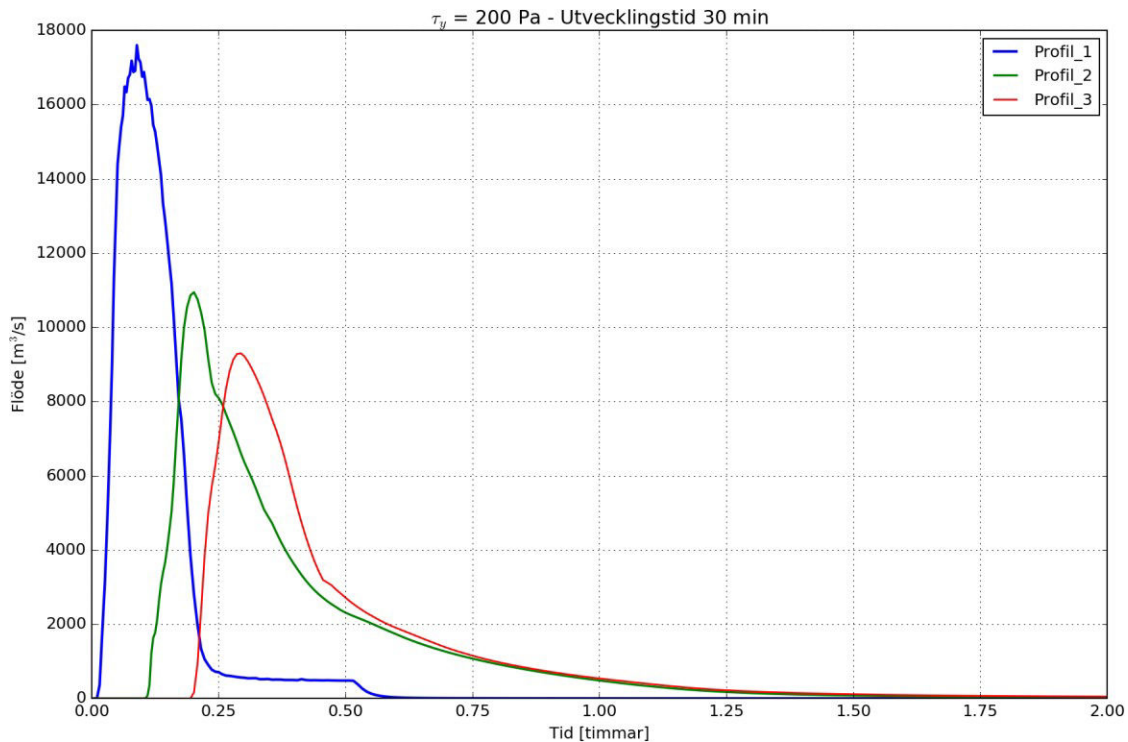
Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 1 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet 8,6 Mm³, utvecklingstid 30 min, flytspänning 200 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning och högsta översvämningsnivåer vid utvalda platser (Figur 4-1).
- Flödeshydrografer (Figur 4-2).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 4.1.4.



Figur 4-1. Ö dammen. Scenario 1: maximal översvämningsutbredning och den högsta nivån som flodvågen når upp till i ett antal punkter indikerade med blå "+" tecken.



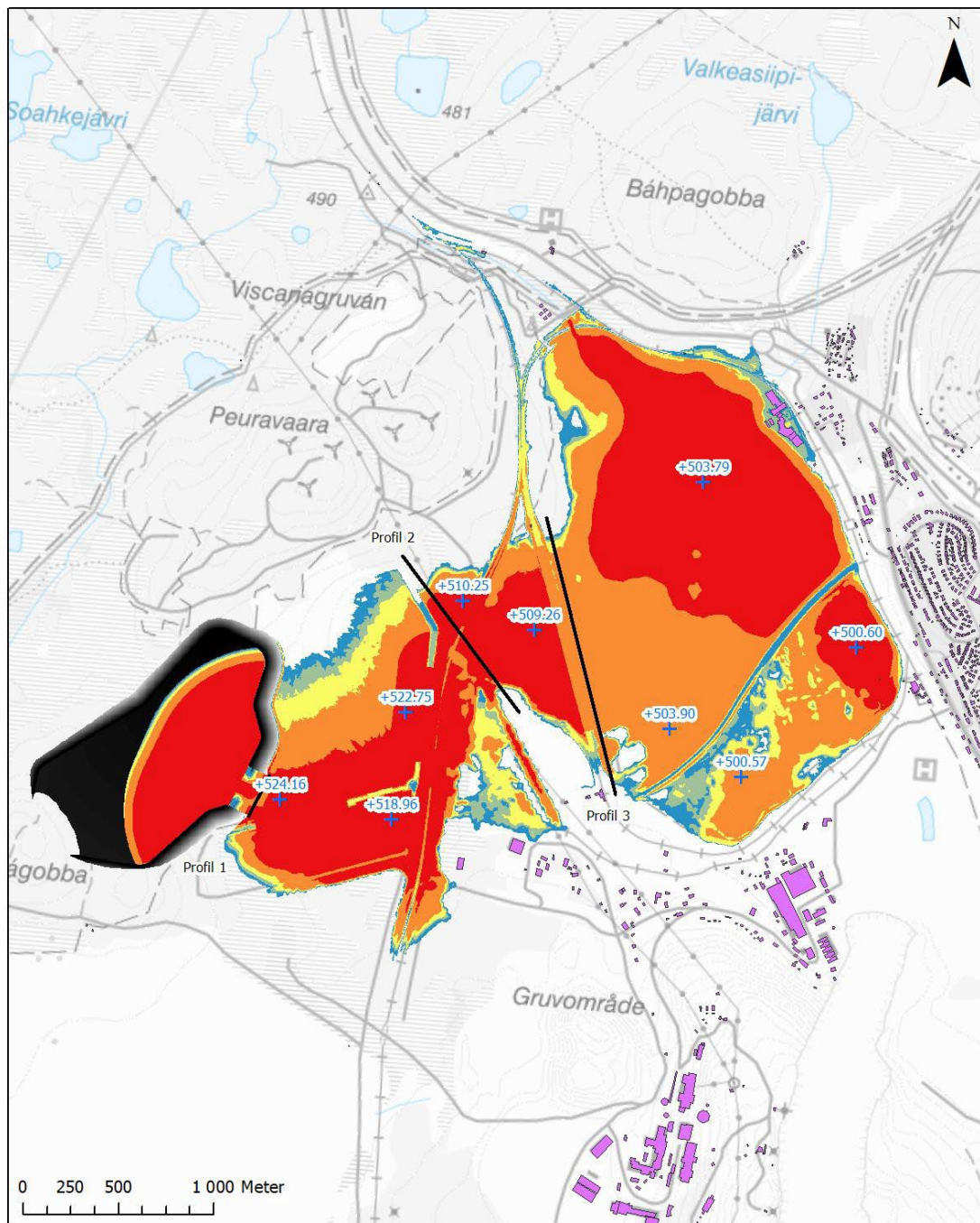
Figur 4-2. Ö dammen. Scenario 1: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan.

4.1.2 Scenario 2


Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 2 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet 8,6 Mm³, utvecklingstid 1 timme, flytspänning 200 Pa) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning och högsta översvämningsnivåer vid utvalda platser (Figur 4-3).
- Flödeshydrografer (Figur 4-4).






Analys av resultat redovisas i avsnitt 4.1.4.



Dammhaveri Ö-dammen:
 $\tau_y = 200 \text{ Pa}$
 Utvecklingstid = 1h

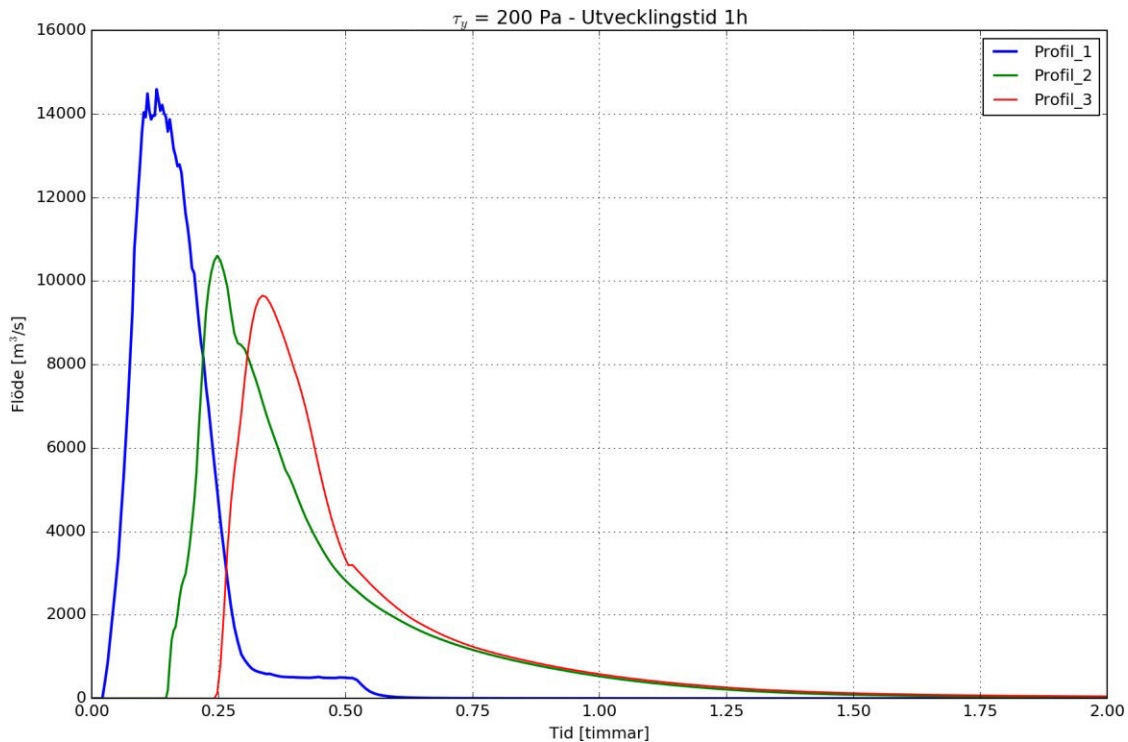
— Profil hydrografer
 + Högsta nivå [RH2000]
 Byggnader

Maximalt djup [m]

-  < 0.5
-  0.5 - 1
-  1 - 2
-  2 - 5
-  > 5

Datum: 2021-12-14 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 4-3. Ö dammen. Scenario 2: maximal översvämningsutbredning och den högsta nivån som flodvägen når upp till i ett antal punkter indikerade med blå "+" tecken.



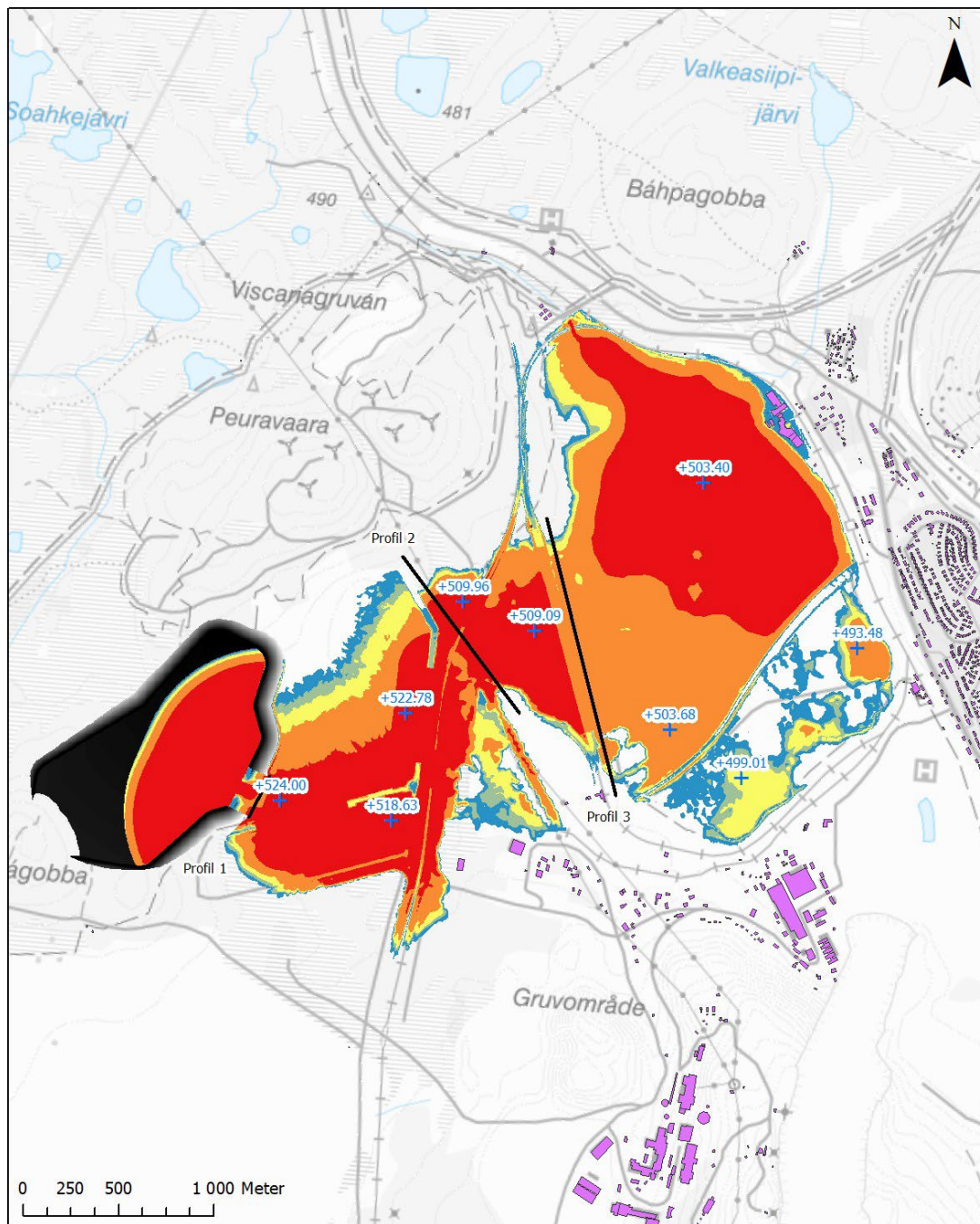
Figur 4-4. Ö dammen. Scenario 2: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningsskarta.

4.1.3 Scenario 3


Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 3 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet 7,7 Mm³, d.v.s. utan magasinerat vatten i varken det nya eller det befintliga sandmagasinet, utvecklingstid 1 timme, flytspänning 200 Pa) redovisas i form av:






- En karta över maximal översvämningssutbredning och högsta översvämningssnivåer vid utvalda platser (Figur 4-5).
- Flödeshydrografer (Figur 4-6).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 4.1.4.



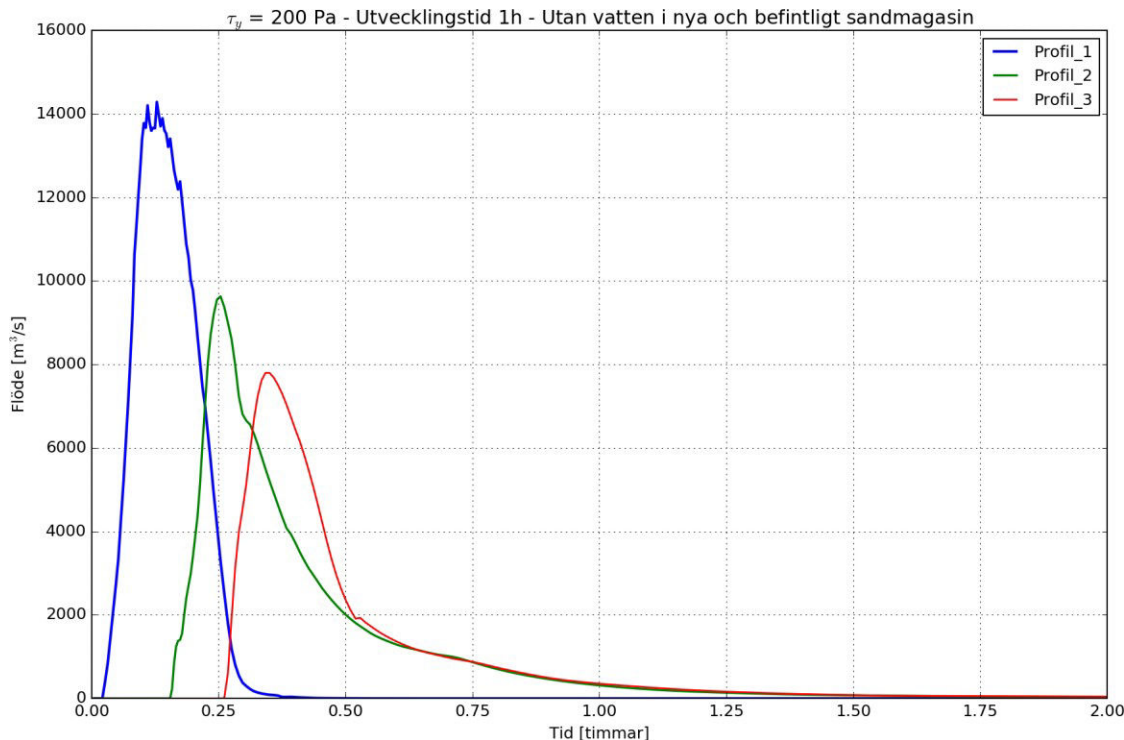
Dammhaveri Ö-dammen:
 $\tau_y = 200 \text{ Pa}$
 Utvecklingstid = 1h
 Utan vatten i nya och befintliga sandmagasin

— Profil hydrografer
 + Högsta nivå [RH2000]
 Byggnader

Maximalt djup [m]
 < 0,5
 0,5 - 1
 1 - 2
 2 - 5
 > 5

Datum: 2021-12-14 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 4-5. Ö dammen. Scenario 3: maximal översvämningsutbredning och den högsta nivån som flodvägen når upp till i ett antal punkter indikerade med blå "+" tecken.



Figur 4-6. Ö dammen. Scenario 3: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan.

4.1.4 Sammanställning

Analys av resultat från Scenario 1 och 2 (utvecklingstid för bräschan vid Ö dammen 30 min respektive 1 timme) visar enbart marginella skillnader på både översvämningsutbredningen samt maximala översvämningsnivåerna.

Anledningen till att skillnaderna är små beror främst på att skillnader i utflödet från dammanläggningen (d.v.s. nedströms det befintliga sandmagasin och klarningsmagasinet) också är små. Utflödet från dammanläggningen styrs delvis av de sekundära dammbrotten som sker vid det befintliga sandmagasinet och klarningsmagasinet. Analys av hydrografen vid Profil 1 visar att skillnader mellan Scenario 1 och 2 finns (maximalt flöde på ca 17 000 respektive 14 000 m³/s), men skillnaderna jämnas sedan ut nedströms dammanläggningen.

Flodvågens ankomsttid vid Profil 2 och 3 varierar enbart några minuter mellan Scenario 1 och 2. Flodvågen kan anses nå Luossajärvi inom 15 minuter.

Osäkerheter kring bräschens utvecklingstid anses inte ha stor inverkan på resultatet och därmed konsekvenserna nedströms.

I Scenario 3 undersöks känsligheten av resultat på frigjord vattenvolym från dammanläggningen (beräkningen utförs utan magasinerat vatten i varken det nya och det befintliga sandmagasinet). I detta Scenario ingår ca 1,7 Mm³ mindre magasinerat vatten jämfört med Scenario 1-2, se Tabell 4-1.

Tabell 4-1. Ö dammen. Jämförelse mellan de totala utströmmande volymerna för de olika scenarierna.

Material	Scenario 1-2	Scenario 3
Anrikningssand		
Nya sandmagasinet	7,7 Mm ³	7,7 Mm ³
Bef. sandmagasin	0,5 Mm ³	0,5 Mm ³
Total	8,2 Mm ³	8,2 Mm ³
Magasinerat vatten		
Nya sandmagasinet	0,88 Mm ³	0 Mm ³
Bef. sandmagasin	0,80 Mm ³	0 Mm ³
Klarningsmagasin	0,75 Mm ³	0,75 Mm ³
Total	2,43 Mm ³	0,75 Mm ³
TOTAL a-sand + vatten	Ca 10,6 Mm³	Ca 9,0 Mm³

Påverkan av en mindre vattenvolym i den totala utströmmande volymen blir för Scenario 3, relativt Scenario 1-2:

- En mindre blandning mellan anrikningssand och vatten i dammbrottsflödet, vilket innebär en begränsad minskning av anrikningssandens reologiska egenskaper mellan dammanläggningen och Luossajärvi.
- En lägre överdämning i Luossajärvi.

Analys av resultat visar på att översvämningsutbredningen för Scenario 3 är något begränsad jämfört med Scenario 1-2. De maximala vattennivåerna inom dammanläggningen är ett par decimeter lägre relativt Scenario 1-2. Maximal vattennivå i Luossajärvi är ca +503,4 vilket är ca 0,4 m lägre än vid Scenario 1-2. Överdämningen i Luossajärvi är dock fortfarande omfattande, med risk för sekundära dammbrott i Norra Luossajärvi vars kritiska nivåer är:

- ÖK TK: +501,15.
- Dammkron: +503,15.

Översvämningsutbredningen varierar marginellt mellan de olika scenarierna och risk för sekundärt brott vid Norra Luossajärvi bedöms förekomma för samtliga undersökta scenarier.

Det bedöms att detta gäller även om anrikningssandens flytspänning antas vara 1000 Pa, främst eftersom endast mindre skillnader förväntas synas med dessa två olika flytspänningar utmed den relativt korta sträckan ner till Luossajärvi. Utspädningseffekter kommer att begränsa inverkan av det nominala värdet för flytspänningen. Ett sådant scenario har därmed inte bedömts vara relevant att studera för haveri vid Ö dammen.

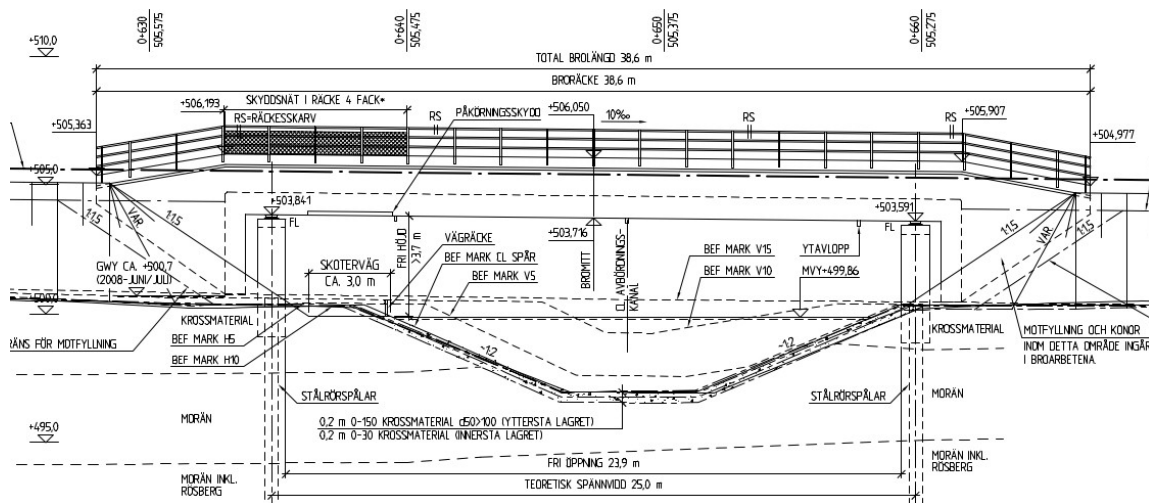
4.2 Konsekvenser

Utifrån resultat från känslighetsanalysen kan följande konsekvenser förväntas inträffa i samband med ett eventuellt dammhaveri i Ö dammen vid ett Klass I-flöde:

- Risk för människoliv:
 - Både Viscarias och LKAB:s gruvområden som ligger nedströms Ö dammen förväntas översvämmas på ett omfattande sätt inom mycket kort tid (mindre än 5-10 minuter vid Profil 2 som ligger vid den västra järnvägen). Risk för förlust av människoliv bedöms vara icke försumbar p.g.a. lokalt höga djup och flödes hastigheter i dessa områden.
 - Västra (trafik mot Narvik) samt östra järnvägen (gruvverksamhet) översvämmas utmed långa sträckor. Risk för förlust av människoliv bedöms vara icke försumbar p.g.a. lokalt höga djup och hastigheter framförallt vid västra järnvägen (trafik mot Narvik).
 - Vattennivån i Luossajärvi förväntas stiga upp till +503,8 vilket innebär att dammen vid Norra Luossajärvi antas gå till brott (ÖK TK +501,15 – DK +501,15). Den gamla dammen som ligger strax norr om det gamla dagbrottet antas också kunna erodera p.g.a. en långvarigt hög vattennivå intill dammen. Ett brott vid denna damm antas kunna leda till risk för förlust av människoliv i gruvan (LKAB, 2017).
 - Den maximala vattennivån i Luossajärvi innebär att tågstationen Malmgården samt E10 kommer att delvis översvämmas vid sjöns nordöstra del. Översvämningen blir maximalt ca 1 m, dock med låga vattenhastigheter. Maximal vattennivå inträffar ca 1 timme och 5 minuter efter dammhaveriet. Risk för förlust av människoliv bedöms vara försumbar.
- Skador på infrastruktur och elförsörjning:
 - Västra (trafik mot Narvik) samt östra järnvägen (gruvverksamhet) bedöms kunna bortspolas p.g.a. omfattande överströmning.
 - Kraftledningarna och elstolparna som ligger strax nordost om det befintliga sandmagasinet och som korsar den västra järnvägen förväntas bortspolas. Som beskrivits i avsnitt 2.11 är dessa ledningar av stor betydelse för strömförsörjningen av samhällsviktig verksamhet och har förbindelser till Norge. Om ledningen spolas bort och strömförsörjningen stoppas kan det därmed leda till stora samhälleliga konsekvenser.
 - Den maximala vattennivån i Luossajärvi medför en risk att utskovsdammen, som avgränsar Luossajärvi i norr, går till brott. En uppskattning av förväntade konsekvenser beskrivs nedan.
- Miljöskador:
 - Inga miljövården ligger inom översvämningens utbredningen.
 - Nästan all utströmmad anrikningssand bedöms sedimentera inom gruvområdet samt i Luossajärvi. Utflöden från Luossajärvi (överströmning ovanpå Norra Luossajärvi samt dammbrottsflöden) bedöms främst ske i form av vatten med suspenderad anrikningssand.
 - Beräkningarna visar att enbart mindre volymer anrikningssand och vatten transporteras utmed den västra och östra järnvägarna norrut, förbi Luossajärvi. Dessa volymer bedöms inte kunna medföra betydande miljöskador i områden som ligger norr om Luossajärvi.

- Vissa miljöskador förväntas dock kunna ske i det fallet att utskovsdammen vid Luossajärvi gåt till brott, se nedan.

Den maximala vattennivån i Luossajärvi förväntas stiga upp till ca +503,8 vilket antas ligga strax under underkant brobana (se Figur 4-7, OBS att nivåerna i figuren ligger inte i RH2000 vilket innebär att angiven nivå för underkant brobana +503,841 troligen ligger högre än +503,8 RH2000). Det är dock troligt att viss genomströmning kan ske genom dammkroppen med tanke på den omfattande överdämningen samt dess långa varaktighet. Ett eventuellt dammbrott vid denna damm bedöms dock kunna orsaka ett begränsat utflöde från Luossajärvi norrut eftersom tillloppskanalen som ligger mellan sjön och utskovet kommer att agera som en bestämmande sektion (se Figur 4-7).



Figur 4-7. Bild av utskovet som reglerar vattenflödet norrut från Luossajärvi (vänster) samt järnvägsbron precis uppströms utskovet. Båda bilderna tagna vid platsbesöket den 14 oktober 2021 (Sweco, 2022). Broritning 3500-11306-1 - OBS: höjder ej i RH2000 (källa: Trafikverket BaTMan).

Det maximala flödet som kan avbördas genom denna kanal, med det konservativa antagandet att dammkroppen och betongutskovet har eroderats bort helt, har uppskattats till:

- Ca 600 m³/s vid vattennivå +503,8.
- Ca 300 m³/s vid vattennivå +502,0.

Dessa utflöden bedöms kunna orsaka skador i form av erosion på infrastruktur (järnväg, E10) samt på miljövärden (naturresevat, Natura 2000-område) mellan Luossajärvi och Rautasälven.

Skadorna bedöms dock vara av mindre omfattning än förväntade skador vid dammhaveri vid NV dammen.

Utskovet, som är en omfattande betongkonstruktion, bedöms dock inte kunna haverera helt vid ett eventuellt brott i fyllningsdammen. Bedömningen ovan anses då vara mycket konservativ.

5 Resultat S dammen

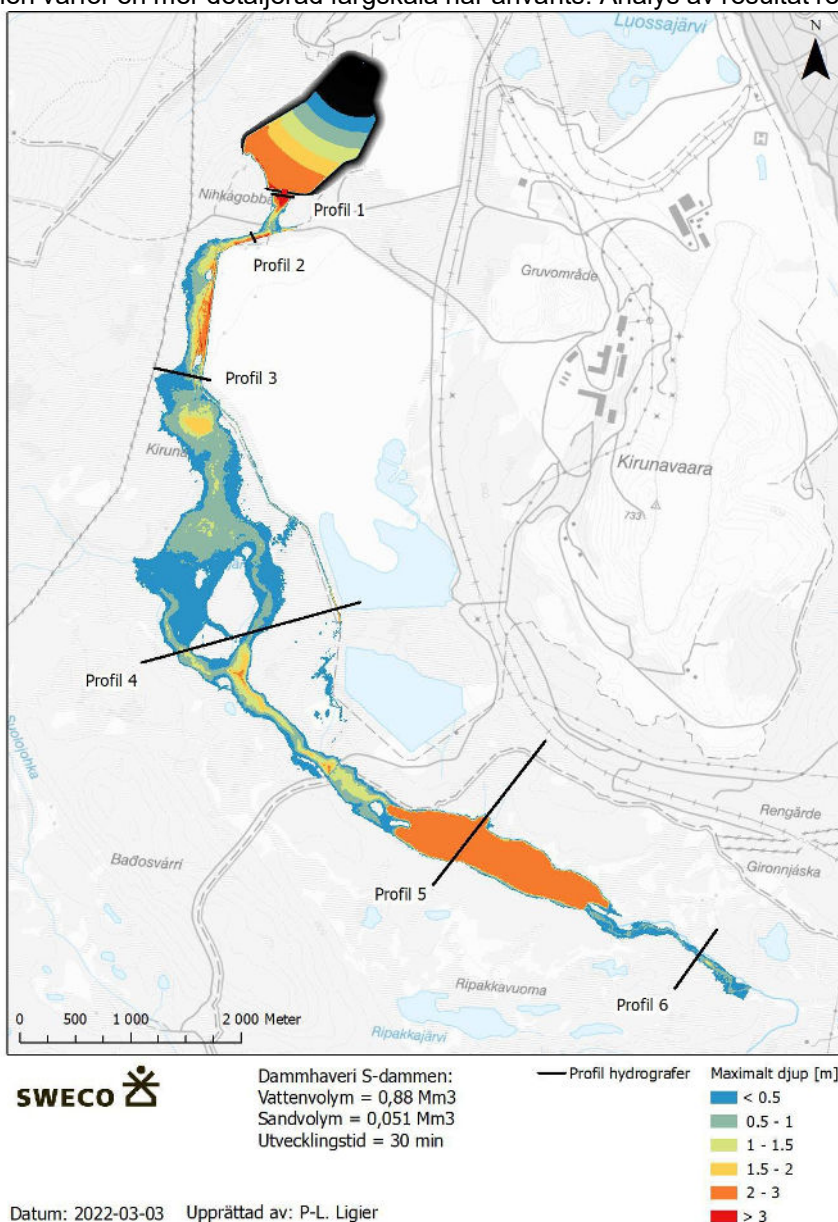
5.1 Känslighetsanalys

5.1.1 Scenario 1

Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 1 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet 0,931 Mm³, utvecklingstid 30 min) redovisas i form av:

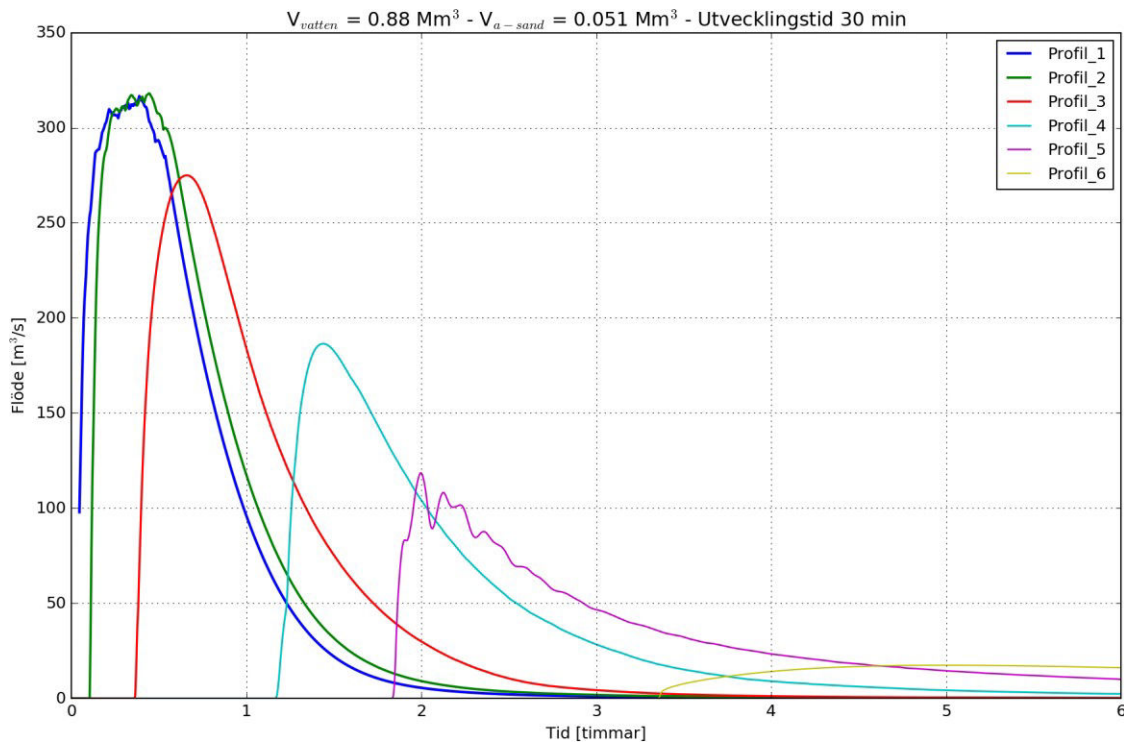
- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 5-1).
- Flödeshydrografer (Figur 5-2).

Observera att en annan färgskala har använts för figurerna som berör S dammen till skillnad från för NV och Ö dammen. De maximala översvämningsdjupen blir inte lika stora för S dammen varför en mer detaljerad färgskala har använts. Analys av resultat redovisas i avsnitt



5.1.6. Datum: 2022-03-03 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 5-1. S dammen. Scenario 1: maximal översvämningsutbredning.



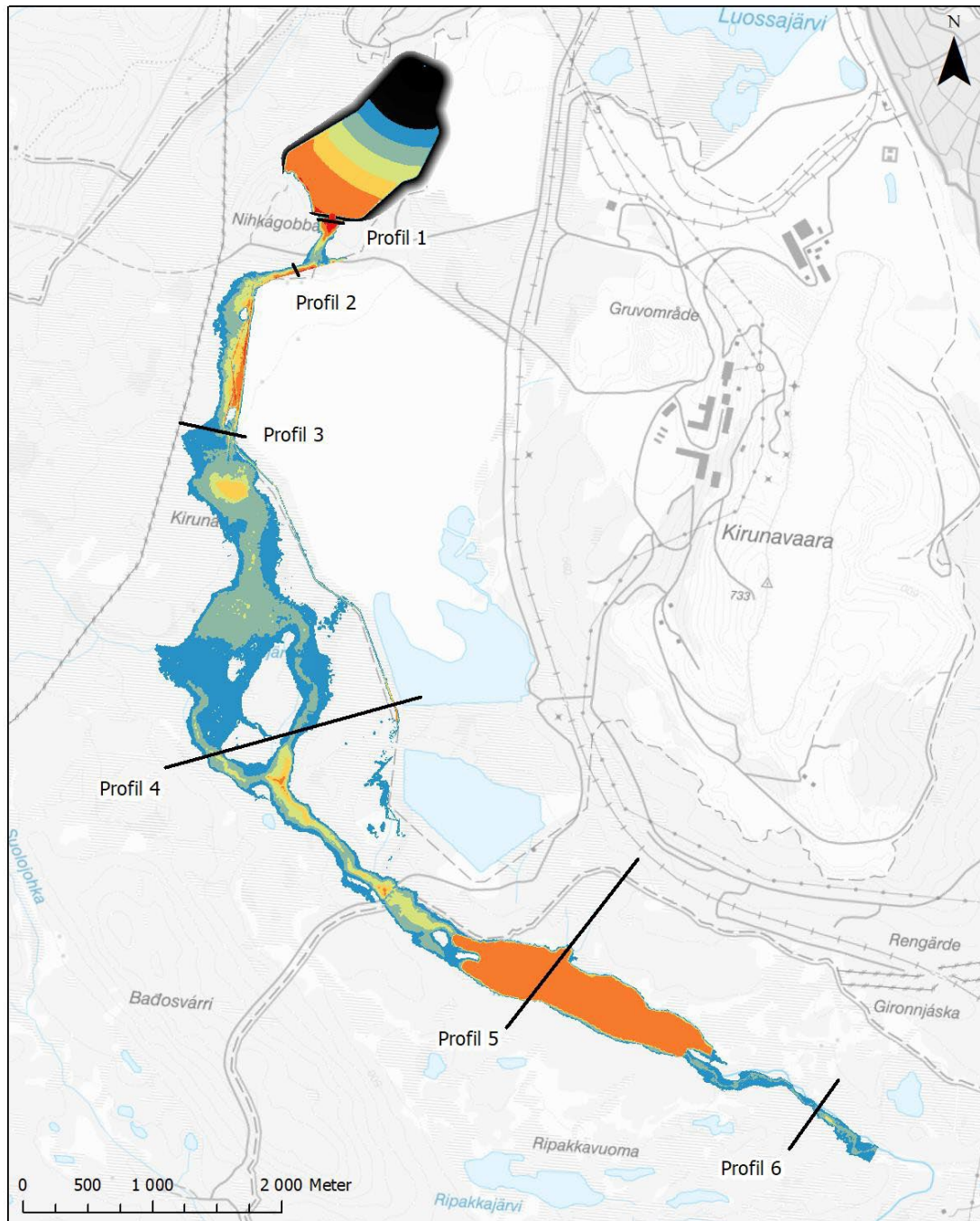
Figur 5-2. S dammen. Scenario 1: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan.

5.1.2 Scenario 2

Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 2 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet $0,931 \text{ Mm}^3$, utvecklingstid en timme) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 5-3).
- Flödeshydrografer (Figur 5-4).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 5.1.6.



Dammhaveri S-dammen:
 Vattenvolym = 0,88 Mm³
 Sandvolym = 0,051 Mm³
 Utvecklingstid = 1h

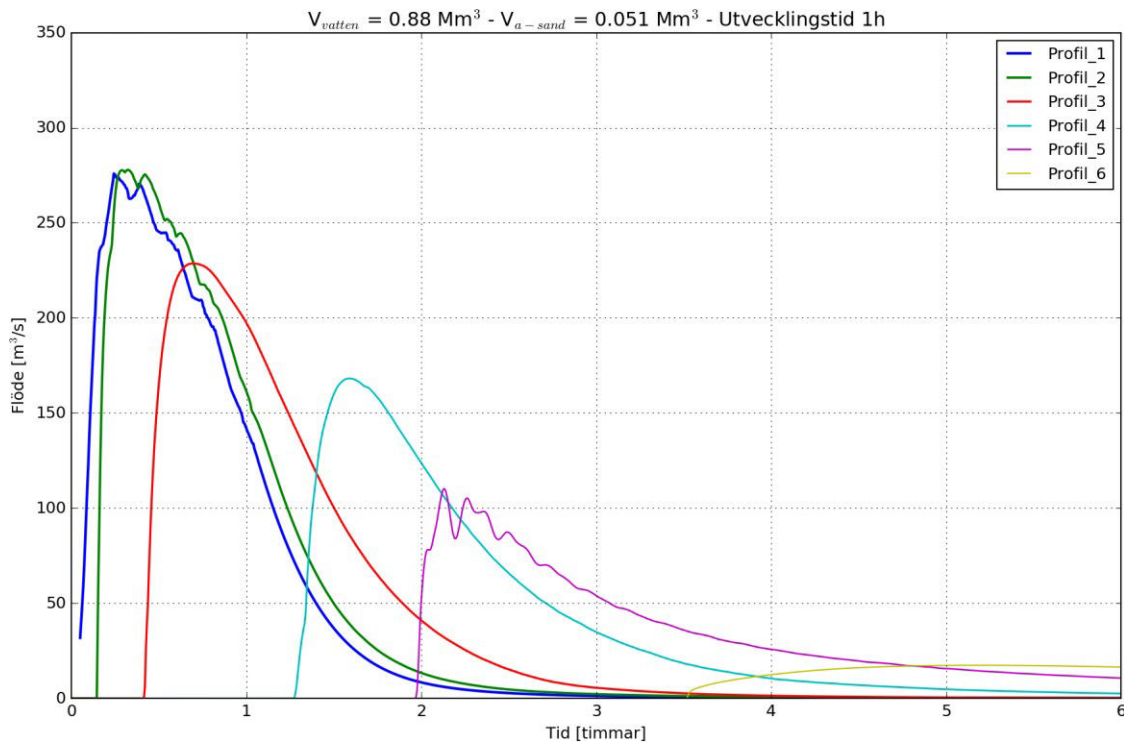
— Profil hydrografer

Maximalt djup [m]

- < 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3
- > 3

Datum: 2022-03-03 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 5-3. S dammen. Scenario 2: maximal översvämningsutbredning.



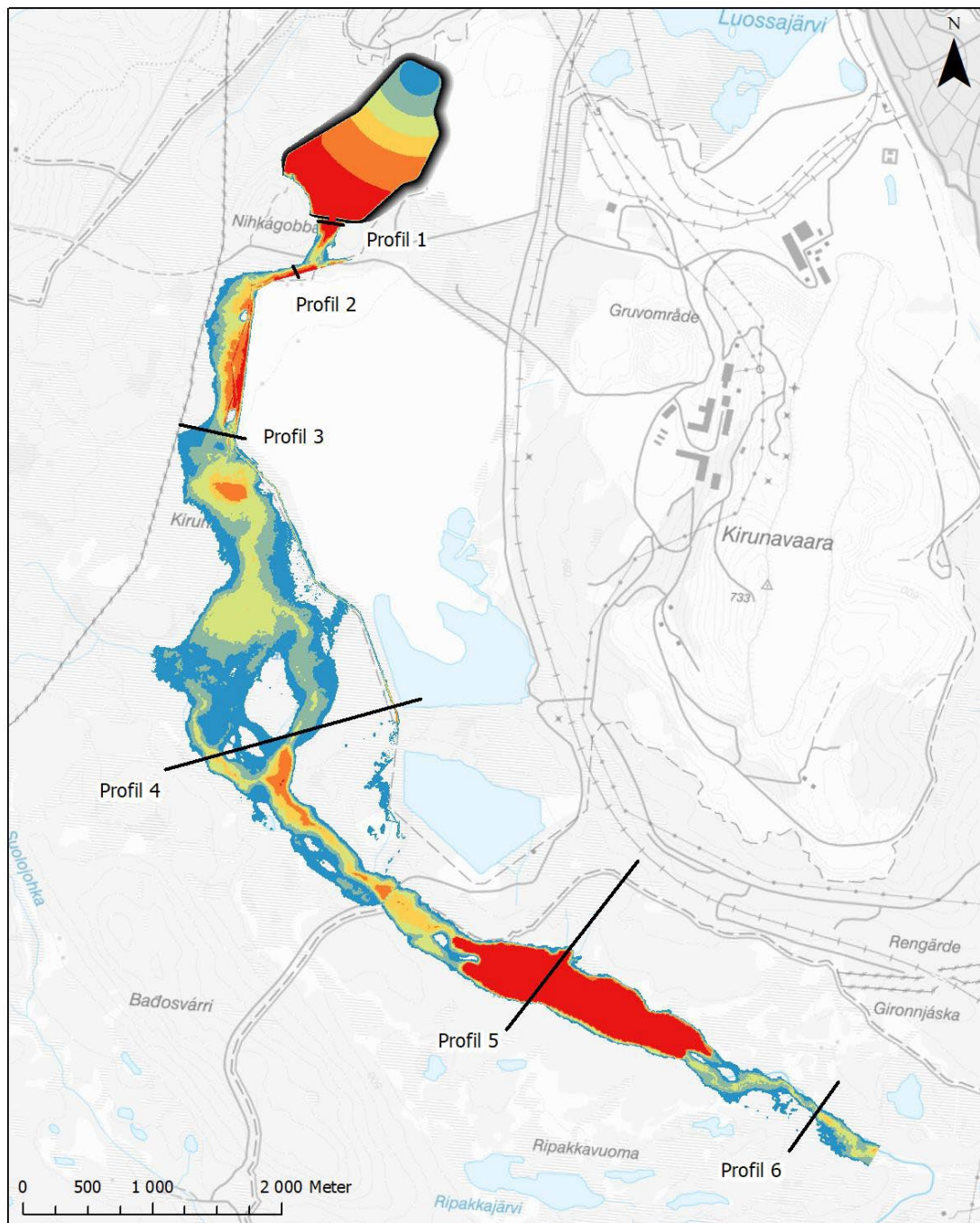
Figur 5-4- S dammen. Scenario 2: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan.

5.1.3 Scenario 3

Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 3 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet $1,88 \text{ Mm}^3$, utvecklingstid 30 min) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 5-5).
- Flödeshydrografer (Figur 5-6).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 5.1.6.



Dammhaveri S-dammen:
 Vattenvolym = 0,88 Mm³
 Sandvolym = 1 Mm³
 Utvecklingstid = 30 min

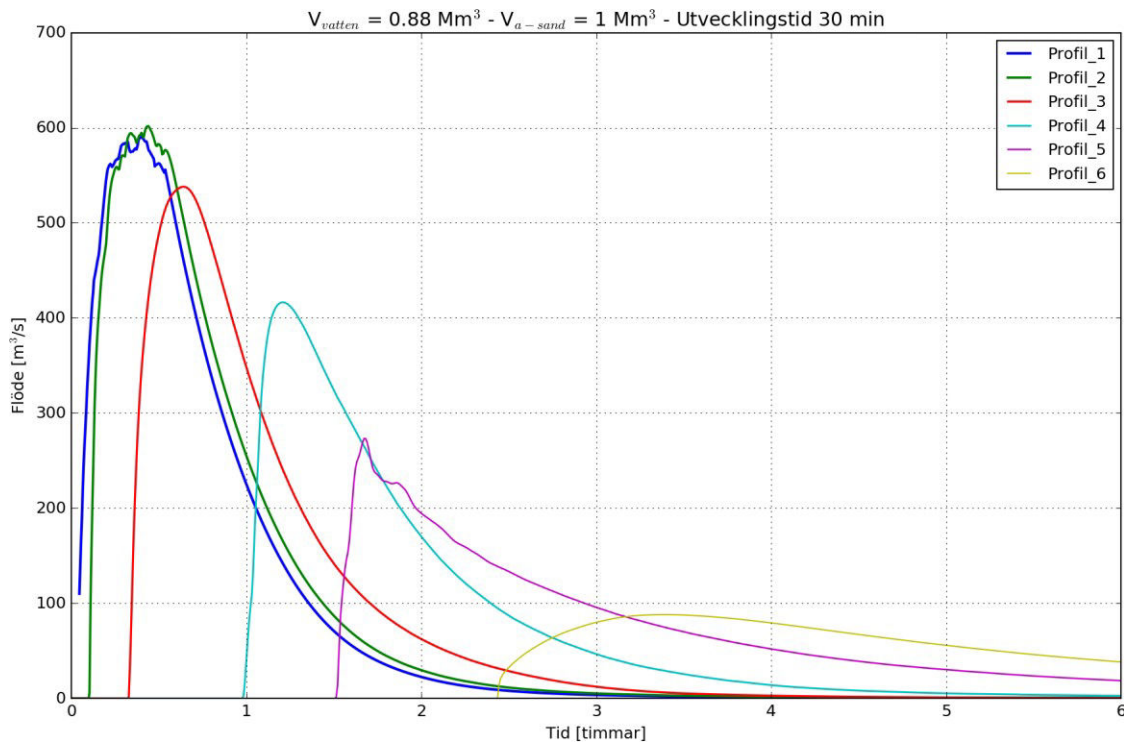
— Profil hydrografer

Maximalt djup [m]

- < 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3
- > 3

Datum: 2022-03-03 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 5-5. S dammen. Scenario 3: maximal översvämningsutbredning.



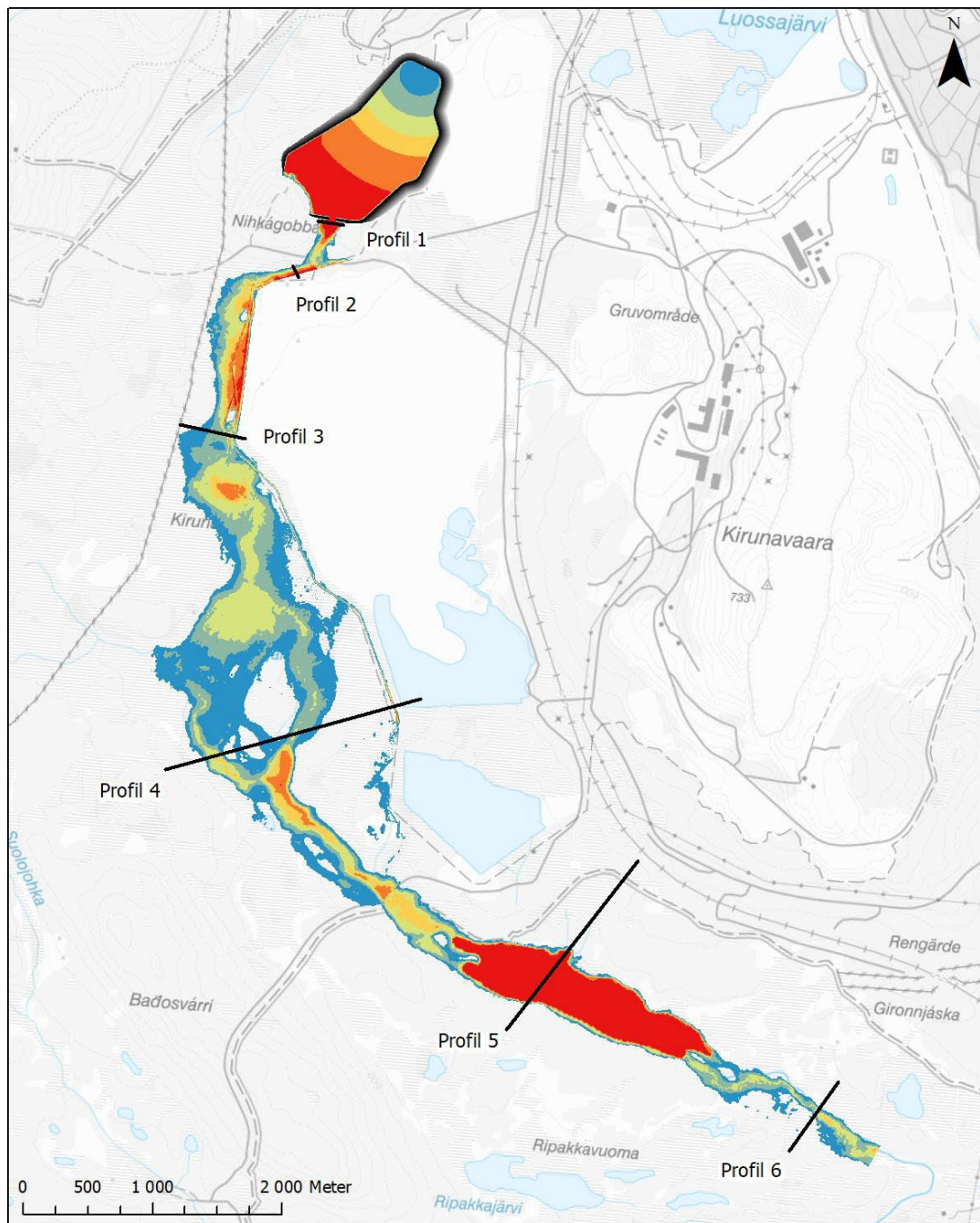
Figur 5-6. S dammen. Scenario 3: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan.

5.1.4 Scenario 4

Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 4 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet $1,88 \text{ Mm}^3$, utvecklingstid en timme) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 5-7).
- Flödeshydrografer (Figur 5-8).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 5.1.6.



Dammhaveri S-dammen:
 Vattenvolym = 0,88 Mm³
 Sandvolym = 1 Mm³
 Utvecklingstid = 1h

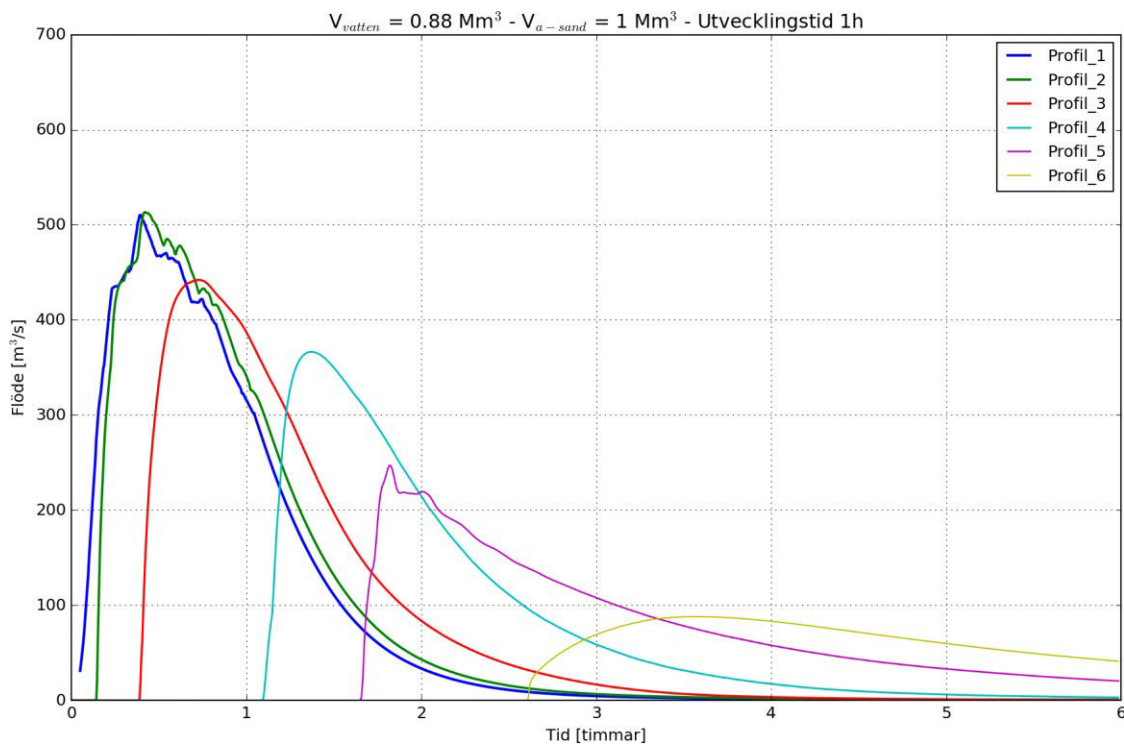
— Profil hydrografer

Maximalt djup [m]

- < 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 1.5
- 1.5 - 2
- 2 - 3
- > 3

Datum: 2022-03-03 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 5-7. S dammen. Scenario 4: maximal översvämningsutbredning.



Figur 5-8. S dammen. Scenario 4: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan.

5.1.5 Scenario 5

Resultat från dammhaveriberäkningen för scenario 5 (utströmmande volym från det nya sandmagasinet $0,051 \text{ Mm}^3$, utvecklingstid en timme) redovisas i form av:

- En karta över maximal översvämningsutbredning (Figur 5-9).
- Flödeshydrografer (Figur 5-10).

Analys av resultat redovisas i avsnitt 5.1.6.



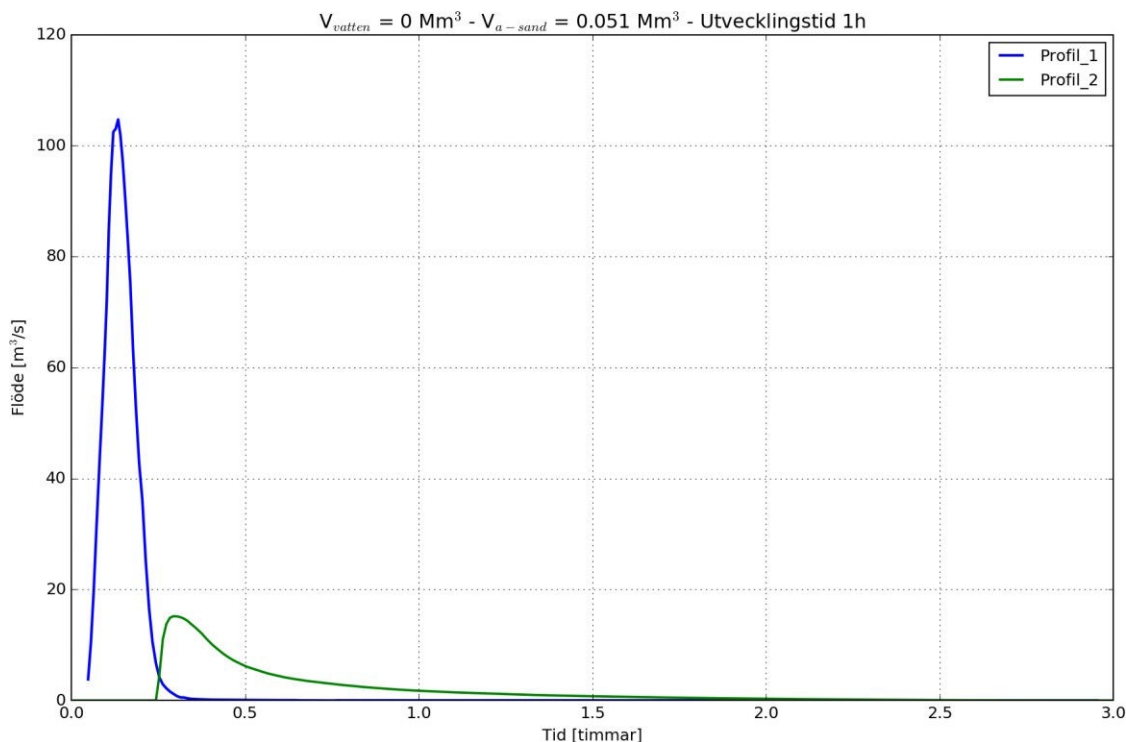
Dammhaveri S-dammen:
 Vattenvolym = 0 Mm³
 Sandvolym = 0,051 Mm³
 Utvecklingstid = 1h

— Profil hydrografer

Maximalt djup [m]
< 0.5
0.5 - 1
1 - 1.5
1.5 - 2
2 - 3
> 3

Datum: 2022-03-03 Upprättad av: P-L. Ligier

Figur 5-9. S dammen. Scenario 5: maximal översvämningsutbredning.



Figur 5-10. S dammen. Scenario 5: flödeshydrografer. Positionerna för hydrografsprofilerna redovisas på översvämningskartan. Utflödet når inte fram till Profil 3.

5.1.6 Sammanställning

Klass I – Scenarier 1 till 4

Analys av resultat visar att skillnaderna mellan Scenario 1 och 2 samt mellan Scenario 3 och 4 är små, framförallt vad gäller översvämningsutbredningen. Detta tyder på att inverkan av utvecklingstiden (30 minuter eller en timme) har försumbar påverkan på resultatet.

De största skillnaderna observeras mellan bräschen och Profil 3. I detta område koncentreras flödet utmed LKAB:s sandmagasin och flödesdämpningen är begränsad.

Från Profil 4 och nedströms är skillnaderna mindre. I detta område bräddas flödet över terrängen, som blir flackare, vilket orsakar en dämpning av de maximala flödena.

Ytterligare flödesdämpning sker i Mettä Rakkurijärvi. Det maximala utflödet från sjön uppgår till:

- Scenario 1 och 2 (total utströmmande volym 0,931 Mm³): 17 m³/s.
- Scenario 3 och 4 (total utströmmande volym 1,88 Mm³): 88 m³/s.

Vattenståndet i Mettä Rakkurijärvi ökar med maximalt ca 0,8 m (Scenario 1 och 2) respektive ca 1,4 m (Scenario 3 och 4).

Flodvågen når Mettä Rakkurijärvi inom ca 2h (Scenario 1 och 2) respektive 1h 30min (Scenario 3 och 4).

Normaldrift (utan vatten) – Scenario 5

Utströmning av förvätskad anrikningssand sker fram till LKAB:s sandmagasin och bräddas ut vid dammtån utmed ca 1,2 km. Flödet stannar av ungefär halvvägs mellan Profil 2 och 3.

Översvämnningen är av betydligt mindre karaktär jämfört med Klass I (Scenarier 1 till 4).

5.2 Konsekvenser

5.2.1 Konsekvenser ner till Mettä Rakkurijärvi

Konsekvenser av ett eventuellt dammhaveri i S dammen omfattar främst:

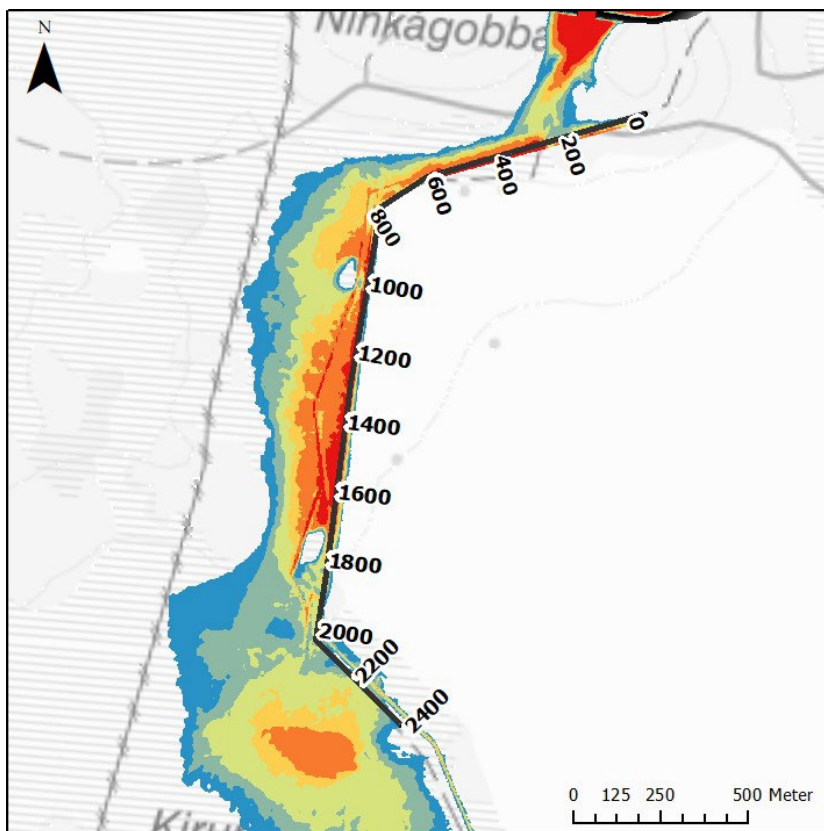
- Potentiella skador på LKAB:s dammar samt tillhörande arbetsområde och tillfartsvägar.
- Potentiella miljöskador.

Dessa konsekvenser beskrivs mer i detalj nedan utifrån resultat från dammhaveriberäkningarna vid Klass I-flöde.

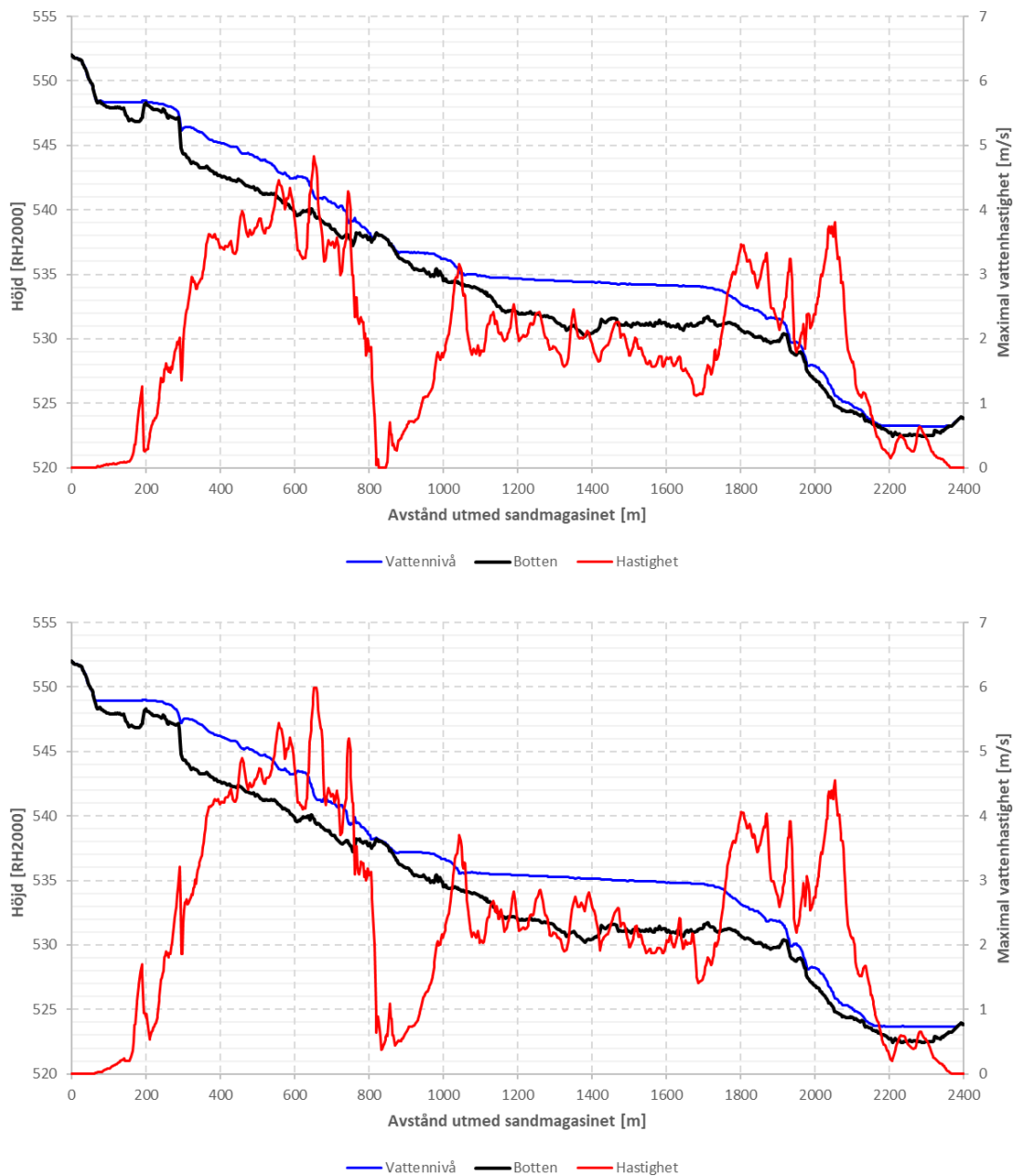
Konsekvenser på LKAB:s dammar

Ett dammhaveri vid S dammen leder till att utflödet koncentreras mot dammtån av LKAB:s sandmagasin utmed ca 2,4 km, ner till ungefär Profil 3. Nedströms denna punkt fortsätter flödet rakt söderut och kommer inte längre i direkt kontakt med dammkroppen.

Påverkan på LKAB:s sandmagasin redovisas med hjälp av en längdprofil med information om vattennivå samt vattenhastighet. Läget för längdprofilen redovisas i Figur 5-11. Längdprofilen för Scenario 1 (0,931 Mm³, utvecklingstid 30 min) och för Scenario 3 (1,88 Mm³, utvecklingstid 30 min) redovisas i Figur 5-12.



Figur 5-11. S dammen. Lokalisering av längdprofil för resultatredovisning.



Figur 5-12. S dammen. Längdprofiler utmed LKAB:s sandmagasin med maximala vattennivåer och vattenhastigheter. Övre bild: Scenario 1. Nedre bild: Scenario 3. Längdprofilens sträckning illustreras i Figur 5-11.

Resultat visar att de maximala hastigheterna uppgår till ca 4-6 m/s medan de maximala vattendjupen lokalt kan uppgå till ca 5 m. En sammanställning av dessa resultat redovisas i Tabell 5-1 med information om:

- Total längd av dammsträckan där de maximala vattenhastigheterna överskrider ett visst värde (2, 3 och 4 m/s).
- Varaktigheten under vilken hastigheterna överskrider angivna värden.
- Erforderlig kornstorlek (D50) för erosionsskydd motsvarande varje hastighet.

Tabell 5-1. S dammen. Sammanställning av resultat från längdprofiler utmed LKAB:s sandmagasin.

Hastighet	Varaktighet	Total längd av påverkad dammsträcka	Erforderlig D ₅₀
≥ 2 m/s	ca 2h	1,1-1,5 km	≥ 100 mm
≥ 3 m/s	ca 1h	0,5-0,7 km	≥ 250 mm
≥ 4 m/s	ca 45 min	0,1-0,4 km	≥ 500 mm

Det kan inte uteslutas att erosion sker vid LKAB:s sandmagasins dammtå i samband med ett dammhaveri vid S dammen, särskilt i de områden där hastigheterna överskrider 3 m/s. Det rekommenderas att kontrollera aktuell stenstorlek i nedströms slänt för att uppskatta ev. behov för förstärkning. Detta då också i samband med att LKAB:s dammar höjs och byggs ut.

Det kan inte uteslutas att potentiella erosionsskador på LKAB:s damm kan orsaka ett haveri om inte dammen är erforderligt erosionsskyddet. Om även LKAB:s damm havererar skulle konserverna nedströms anläggningen bli större än vad som redovisas i denna rapport.

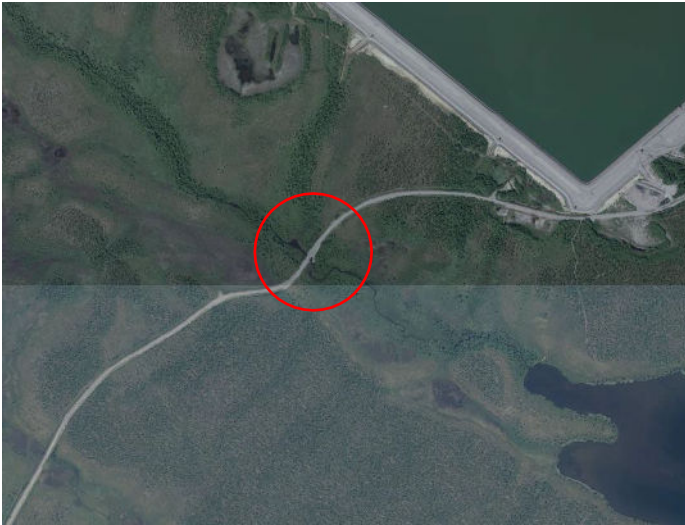
Dammen vid LKAB:s klarningsmagasin påverkas ej.

Nuvarande arbetsområde som ligger norr om LKAB:s sandmagasin påverkas av översvämningen, se Figur 5-13. Det är dock troligt att detta arbetsområde inte längre befinner sig där vid den tidpunkt då både S dammen och LKAB:s sandmagasin är utbyggda, se kommentar i avsnitt 5.3.



Figur 5-13. S dammen. Nuvarande arbetsområde norr om LKAB:s sandmagasin.

En tillfartsväg för LKAB:s klarningsmagasin bedöms kunna skadas i händelse av dammhaveri (maximala hastigheter på ca 2-2,5 m/s), se Figur 5-14.



Figur 5-14. S dammen. Tillfartsväg till LKAB:s klarningsmagasin.

Risk för förlust av människoliv bedöms vara försumbar i de områden som ligger intill LKAB:s dammar under förutsättning att arbetsområdet som idag ligger norr om sandmagasinet (Figur 5-13) anläggs i ett nytt område där översvämningsrisken är försumbar. Risk för förlust av människoliv p.g.a. överströmning av tillfartsvägen bedöms också vara försumbar eftersom trafikintensiteten är låg.

Miljöskador

Förväntade miljöskador blir erosion samt sedimentering av anrikningssand inom översvämningsområdet. Den största delen av anrikningssanden som når Mettä Rakkurijärvi bedöms kunna sedimentera i sjön. Utflödet från sjön bedöms främst påverkas av grumling (transport av de finaste partiklarna i suspension). Inga betydande miljövärden finns mellan S dammen och Mettä Rakkurijärvi vilket innebär att konsekvenserna inte bedöms vara av betydande karaktär.

Inga kulturmiljövärden bedöms påverkas vid dammhaveri.

5.2.2 Konsekvenser nedströms Mettä Rakkurijärvi

Dammhaveriberäkningarna har utförts ner till en sektion som ligger ca 2 km nedströms Mettä Rakkurijärvi, se avsnitt 2.9.4. För att uppskatta konsekvenser nedströms denna punkt har resultat från tidigare utförd dammsäkerhetsklassificering av LKAB:s klarnings- och sandmagasin använts (Sweco, 2020) som beskriver konsekvenser ner till mynningen i Kalixälven.

Uppskattningen baseras på en jämförelse med följande dammhaveriscenario för LKAB:s klarningsmagasin vid normalflöde som karaktäriseras av följande villkor och resultat:

- Frisläppt vattenvolym: 7,2 Mm³.
- Maximalt utflöde från Mettä Rakkurijärvi: 740 m³/s.
- Försumbar risk för förlust av människoliv.
- Skador av regional betydelse vad gäller miljövärden (Rakkurijärvi och nedströms liggande vattendrag ingår i Kalixälvens Natura 2000-område).
- Inga betydande skador på infrastruktur (vägar, broar).
- Inga betydande skador på kulturmiljövärden.
- Inga betydande skador på elnätet.

Dessa resultat innebär att de förväntade konsekvenserna vid dammhaveri i S dammen nedströms Mettä Rakkurijärvi bedöms vara mindre omfattande än de konsekvenser som identifierades för dammhaveri vid LKAB:s klarningsmagasin eftersom:

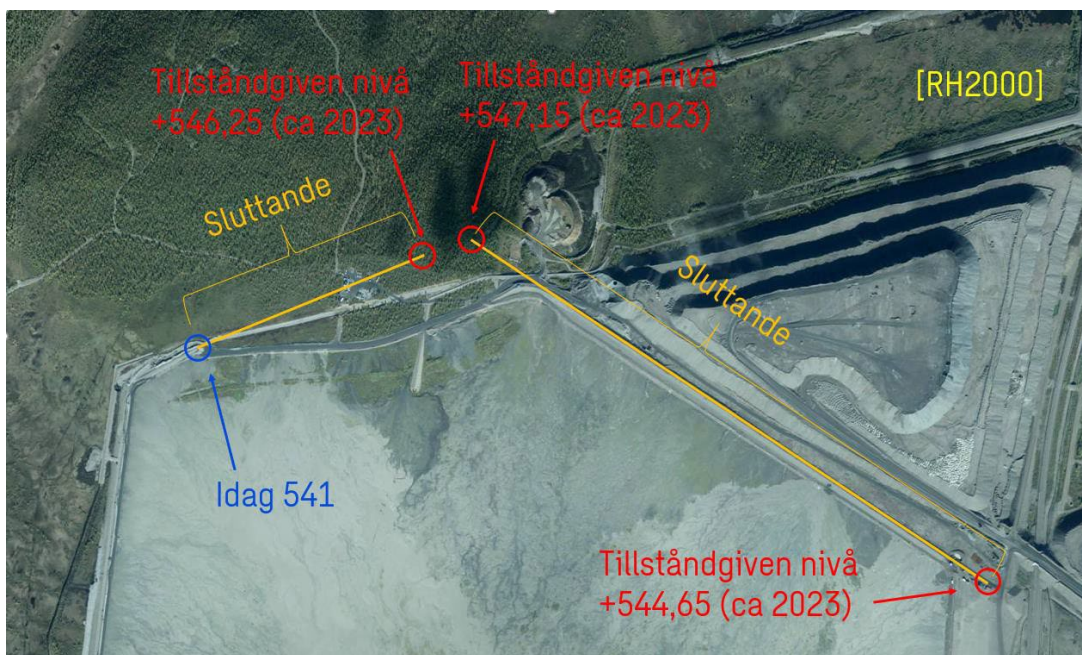
- Det maximala utflödet från Mettä Rakkurijärvi vid haveri i S dammen ($17-88 \text{ m}^3/\text{s}$) är betydligt mindre jämfört med haveri vid LKAB:s klarningsmagasin ($740 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Den totala utströmmande volymen vid haveri i S dammen vid Klass I ($0,931-1,88 \text{ Mm}^3$) är också betydligt mindre jämfört med haveri vid LKAB:s klarningsmagasin ($7,2 \text{ Mm}^3$).

Det bör noteras ytterligare flödesdämpning förväntas ske i Rakkurijärvi enligt resultat från (Sweco, 2020).

De största skadorna bedöms motsvara utströmning av grumligt vatten som potentiellt kan nå Rakkurijärvi och nedströmsliggande vattendrag, som ingår i Kalixälvens Natura 2000-område.

5.3 Diskussion kring configurationen för LKAB:s sandmagasin

Som tidigare nämnt i avsnitt 2.9.4 har dammhaveriberäkningarna utförts med antagandet att LKAB:s sandmagasin är upphöjt i sin norra ände vid tidpunkten då S dammen blir färdigbyggd. Detta är troligt eftersom LKAB redan har inlett en process att söka tillstånd för att bygga en damm för att avgränsa sandmagasinet i norr, se Figur 5-15.



Figur 5-15. Princip för framtida dammar norr om LKAB:s sandmagasin.

För att undvika att utflöde från ett eventuellt haveri vid S dammen rinner in i LKAB:s sandmagasin behöver den framtida dammen dimensioneras utifrån framräknade maximala översvämningarnivåer, se Figur 5-12.

I det fallet att LKAB:s sandmagasin inte avgränsas av en ny damm i norr kan i stort sett allt utflöde från ett eventuellt haveri vid S dammen rinna in i LKAB:s sandmagasin. I ett sådant scenario förväntas flödet koncentreras mot dammkonstruktionen. Risk för erosion av dammkrönet, som potentiellt skulle kunna orsaka en bräsch i dammkroppen, kan då inte uteslutas.

6 Sammanfattning och rekommendationer

6.1 Sammanfattning

Copperstone planerar att anlägga ett nytt sandmagasin samt att återställa befintligt sand- och klarningsmagasin vid Viscarias gruvdammanläggning i Kiruna. Sweco har fått i uppdrag att utföra en utredning av påverkan från dammhaveri vid det nya sandmagasinet, för tre dammdelar:

- NV dammen.
- Ö dammen.
- S dammen

Uppdraget har bestått av följande moment:

- Insamling av underlag (gruv- och dammlayout, höjdmodeller, dimensionerande flöde, geotekniska egenskaper, potentiella skadeobjekt mm.)
- Framtagning av dammhaveriantaganden (bräschläge, brottmod, bräschdimensioner och utvecklingstid, hydrologiska förhållanden, reologiska egenskaper).
- Framtagning av tvådimensionella hydrodynamiska modeller.
- Utförande av dammhaverisimuleringar med s.k. icke newtonska reologiska modeller och kartering av konsekvenser.
- Analys av resultat i form av känslighetsanalys.
- Beskrivning av förväntade konsekvenser.

I uppdraget har det inte ingått att ta fram en dammsäkerhetsklass för den planerade dammanläggningen.

Arbetet har utförts i nära kontakt med Copperstone samt TCS vad gäller definition av projektförutsättningarna.

Resultat från beräkningarna sammanfattas nedan:

- NV dammen:
 - o Dammhaveri orsakar en omfattande översvämning som når Rautasälven.
 - o Risk för förlust av människoliv förekommer inom Viscarias gruvområde (dagbrott, arbetsområden), vid skoterleder, skidspår, vandringsleder och vindskydd i direkt anslutning norr om gruvan samt vid järnvägen Kiruna-Narvik och E10 som översvämmas utmed en sträcka av drygt 2 km och som bedöms kunna bortspolas.
 - o Omfattade erosion och sedimentering av anrikningssand sker inom områden med betydande naturvärden (naturreservat, Natura 2000).
 - o Skador på samhällsviktiga kraftledningar.
 - o Potentiella skador utmed älvsystemet.

- Ö dammen:
 - Dammhaveri orsakar en omfattande översvämning inom Viscarias och LKAB:s gruvområden, med risk för förlust av människoliv.
 - Sekundära dammbrott sker vid befintligt sandmagasin, klarningsmagasin samt vid två järnvägar nedströms dammanläggningen, varav den västra järnvägen (trafik mot Narvik).
 - Skador på samhällsviktiga kraftledningar som korsar gruvområdena.
 - Stor överdämning i sjön Luossajärvi som orsakar överströmning på dammen Norra Luossajärvi som avgränsar sjön i söder.
 - Risk för sekundärt brott vid Norra Luossajärvi samt vid den gamla dammen förekommer, med risk för förlust av människoliv i LKAB:s gruva.
 - Potentiell risk för sekundärt brott vid utskovsdammen som avgränsar Norra Luossajärvi i norr (underlag om dammutformningen saknas dock). Vid sekundärt brott förväntas mindre skador uppkomma norrut mellan dammen och Rautasälven, dock i mindre omfattning än förväntade skador för dammhaveri vid NV dammen.

- S dammen:
 - Utflödet koncentreras mot dammtån av LKAB:s sandmagasin utmed ca 2,4 km. Risk för lokal erosion av dammtån kan inte uteslutas.
 - Översvämning av nuvarande arbetsområde norr om LKAB:s sandmagasin. Detta arbetsområde bedöms dock inte längre befinna sig där vid tidpunkten då S dammen är färdigbyggd. Om detta arbetsområde kvarstår vid denna plats kan risk för förlust av människoliv förekomma.
 - Tillfartsvägen till LKAB:s klarningsmagasin bedöms kunna skadas.
 - Miljöskador i form av erosion och sedimentering av anrikningssand inom översvämningssområdet. Den största delen av anrikningssanden som når Mettä Rakkurijärvi bedöms dock kunna sedimentera i sjön. Grumligt vatten bedöms kunna nå Rakkurijärvi och nedströmsliggande vattendrag som ingår i Kalixälvens Natura 2000-område.
 - Inga kulturmiljövärden bedöms påverkas vid dammhaveri.

6.2 Rekommendationer

Konsekvenserna vid dammhaveri vid NV dammen är omfattande. De redovisade konsekvenserna baseras på simuleringar i vilka de planerade dagbrotten som ligger nära NV dammen är ifyllda. Storleken av konsekvenserna som förväntas nedströms gruvdammanläggningen kan minskas ifall en del av (eller hela) den utströmmande volymen kan ansamlas i dagbrotten.

Det rekommenderas att utformningen av Luossajärvis utskovsdamm utreds ytterligare i syfte att uppskatta potential för sekundärt brott vid överdämning som orsakas av dammhaveri vid Ö dammen.

Det rekommenderas att kontrollera aktuell stenstorlek för nedströmsslänten i sträckan av LKAB:s sandmagasin som påverkas av utflödet från ett eventuellt haveri vid S dammen, detta för att uppskatta ev. behov för förstärkning då också vid framtida utbyggnad. Det rekommenderas även att framtida damm norr om LKAB:s sandmagasin dimensioneras utifrån framräknade maximala översvämningsnivåer. Det rekommenderas även att nuvarande arbetsområde som ligger norr om LKAB:s sandmagasin anläggs i ett nytt område, utanför påverkansområdet.

De reologiska egenskaperna som har använts i denna studie har uppskattats utifrån internationell praxis och har antagits gälla för både det befintliga sandmagasinet och det planerade nya sandmagasinet. Det rekommenderas att laboratorieförsök utförs för att bestämma anrikningssandens flytspänning och viskositet. Det rekommenderas även att geotekniska undersökningar utförs löpande under drifttiden för att bestämma anrikningssandens konsolideringsförhållanden vid olika tidpunkter under anläggningens livscykel (vattenmättnadsgrad, densitet, portal).

Simuleringarna visar att volym magasinerat vatten som frigörs i samband med dammhaveri bidrar till att öka strömningsförmågan för anrikningssanden. Det är därmed fördelaktigt att begränsa mängden magasinerat vattenvolym inom sandmagasinen.

Utförda simuleringar motsvarar konservativa, dock inte orimliga, dammhaveriscenarier som bedöms motsvara de största möjliga konsekvenserna vid ett eventuellt haveri i konfigurationen med färdigbyggt sandmagasin. Konsekvenser av dammhaveri vid intermediära byggetapper blir mindre. Vid behov kan utformning av eventuellt varningssystem och eventuell beredskapsplan anpassas till rådande förutsättningar genom att undersöka konsekvenser för andra konfigurationer (aktuell krönnivå, aktuell topografi nedströms bräschläget, dammutformning, hydrologiska förhållanden mm.).

7 Referenser

- Ecogain AB. (2021). *Viscariagruvan – Lösningar för friluftslivet. Planerad gruvdrift i Kiruna, Norrbottens län.*
- EDF R&D, 2021a. *TELEMAC-2D. User manual.* Version 8.3. 2021-12-06.
- EDF R&D, 2021b. *TELEMAC-2D. Validation manual.* Version 8.3. 2021-12-06.
- Fontaine & Martin, 2015. *Tailings mobilization estimates for dam breach studies.* Tailings and Mine Waste 2015.
- Golder, 2011. *Viscaria Kopparprojekt. Sandmagasin – genomförbarhetsstudie.* April 2011.
- Julien, 2010. *Erosion and sedimentation*, 2nd edition, Cambridge University Press.
- Ligier, 2020. *Implementation of non-Newtonian rheological models in TELEMAC-2D.* Online Proceedings of the 2020 TELEMAC-MASCARET User Conference. Published by International Marine & Dredging Consultants (IMDC). October 2020.
- LKAB, 2017. *DTU-manual Kiruna.* 2017-04-06.
- Länsstyrelsen, 2021. Hemsida Fiska i fjällen
<https://www.lansstyrelsen.se/norrboten/djur/fiske/fiska-i-fjallen.html> [2021-12-20].
- Martin, Fontaine, & Cathcart, 2015. *Challenges with conduction tailings dam breach studies.* Tailings and Mine Waste 2015.
- Martin, Al-Mamun, & Small, 2019. *CDA technical bulletin on tailings dam breach analysis.* ICOLD symposium 2019.
- Rana et al., 2021. *Catastrophic mass flows resulting from tailings impoundment failures.* Engineering Geology 292.
- Rico, Benito, & Dies-Herrero, 2007. *Floods from tailings dam failures.* Journal of Hazardous Material 154, 78-87.
- Rourke & Luponow, 2015. *The Risks of Excess Water on Tailings Facilities and Its Application to Dam-break Studies.* Tailings and Mine Waste Management for the 21st Century/Sydney, NSW, 27-28 July 2015.
- Sweco, 2020. *Konsekvensutredning av klarningsmagasinet dammdel F-S-R och sandmagasinet dammdel B-R-O-O2 i Kiruna. Underlag för klassificering enligt Miljöbalken.* 2020-05-26.
- Sweco, 2021. *Evaluation of non-Newtonian flow parameters for dam break simulations with liquefied tailings.* Internal technical memo. 2021-09-24.
- Sweco, 2022. *Copperstone Viscaria: Flödesdimensionering - Hydraulisk utredning avseende hantering av höga flöden inom och nedströms planerad anläggning.* 2022-03-11. Bilaga A3:2.
- Trafikverket, 2021. Trafikverkets nationella vägdatabas (NVDB)
<https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket> [2021-12-20].
- Vattenfall AB (Anna Brännmark). (den 20 Januari 2022). Mejkonversation.
- Wahl, 1998. Prediction of Embankment Dam Breach Parameters. Dam Safety Office. Water Resources Research Laboratories, July 1998.