

Gruvdamm- anläggningar och klimatförändringar

En utblick gällande påverkan på dammsäkerheten under drift och efterbehandling – 23-03-13

Sammanfattning

Detta dokument redogör för de parametrar vid gruvdammanläggningar som i störst utsträckning kan komma att påverkas av klimatförändringar. Redovisningen ges utifrån en översiktlig beskrivning av hur drift, vattenhantering och efterbehandling fungerar vid en gruvdammanläggning. Ett stort fokus ligger på flödesförändringar då detta utgör en kritisk faktor för dammsäkerheten vid anläggningarna.

Sammanfattat förväntas en ökning av samtlig nederbörd samt en minskning av vintersäsongen över hela Sverige. En kortare vintersäsong medför att en större del av nederbörden faller i form av regn. Sammanlagt förväntas detta leda till ökade högflöden och medför större krav på avbördningsförmåga vid anläggningarna.

Gällande framtida kunskapsbehov, för gruvdammanläggningar i Sverige i relation till klimatförändringar, är de viktigaste områdena:

- 🏠 Förändrade dimensionerande flöden
- 🏠 Långsiktiga förutsättningar för vattenbalanser

Innehåll

Sammanfattning	1
Introduktion	4
Syfte	4
Disposition	4
Relaterad läsning	4
Gruvdammanläggningar	5
Vad är syftet med en gruvdammanläggning?	5
Hur fungerar en gruvdammanläggning – grundläggande principer?	6
Gruvdammanläggningens livscykel	6
Vatten vid en gruvdammanläggning	8
Inflöden	8
Nederbörd och tillrinning	8
Snösmältning	8
Processvatten	9
Länshållning	9
Förluster och utflöden	9
Avdunstning	9
Läckage genom damm	9
Läckage genom undergrund	9
Inbindning	9
Infrysning	10
Avbördning	10
Extremflöden och utskov	10
Utskovsanordningar	10
Avbördning av extremflöden	11
Vattenhantering vid efterbehandling	11
Hur förändras vattenbalansen vid EBH-skede?	11
Klimatpåverkan	12
Förväntad påverkan på högflöden	12
Klimatpåverkan under drift	12
Vattenbalans	12
Dammning	13
Säsong för anläggningsarbeten	13
Tjåldjup	13
Indirekt driftpåverkan – extrema väderhändelser	13
Klimatpåverkan vid efterbehandling	14

Slutsatser: Klimatförändringar och dammsäkerhet	15
Dammsäkerheten – primärt en fråga om extremflöden	15
Extrema väderhändelser och indirekt påverkan på driften	15
Läckage	16
Vattenmättnadsgrad	16
Kunskapsbehov	16
Kunskapsbehov extremflöden	16
Kunskapsbehov vattenbalanser	16
Referenser	17

Introduktion

Föreliggande dokument är framtaget som ett kunskapsunderlag för dammsäkerhet i relation till klimatförändringar. Avsikten är att ge en överblick kring den situation som råder vid svenska gruvdammanläggningar med fokus på påverkan på drift- och dammsäkerhet till följd av förändringar i klimatet.

Syfte

Syftet med detta PM är att:

- 🟡 Ge en introduktion till svenska gruvdammanläggningar med särskilt fokus på vattenhantering.
- 🟡 Redogöra för de parametrar i systemet som i störst utsträckning kan komma att påverkas av klimatförändringar, både under drift- och efterbehandlingskedje.
- 🟡 Tydliggöra i vilken mån denna påverkan faktiskt har en inverkan på dammsäkerheten vid anläggningarna.
- 🟡 Ge exempel på kunskapsunderlag som skulle kunna bidra till bättre bedömningar av riskbilden.

Disposition

Redovisningen är disponerad enligt följande:

Inledningsvis ges en introduktion till gruvdammanläggningar och tillhörande vattenhantering. Denna del har delats upp i en generell beskrivning av gruvdammanläggningar samt en fördjupning kring vattenhanteringen vid dessa anläggningar.

I efterföljande del ges en förklaring till vilka klimatfaktorer som inverkar på dammsäkerhet, drift respektive efterbehandlad anläggning. Detta kompletteras även med en utblick kring hur stora förändringar som förväntas för berörda klimatfaktorer.

Som avslutning förs en diskussion kring i vilken utsträckning klimatförändringar utgör en reell långsiktig risk vid gruvdammanläggningar. Diskussionen förs utifrån hur komplexa förändringar som förväntas vara nödvändiga för att hantera dessa förändringar. Kommentarer ges även gällande driftsrisker som är direkt kopplade till dammens funktion, men som normalt faller utanför begreppet dammsäkerhet. Det ges även kommentarer till vissa risker som endast har en indirekt påverkan på driften av anläggningen, men som har stor betydelse inom exempelvis vattenkraften. Avslutningsvis ges en reflektion kring kunskapsbehov för att underlätta framtida riskbedömningar.

Relaterad läsning

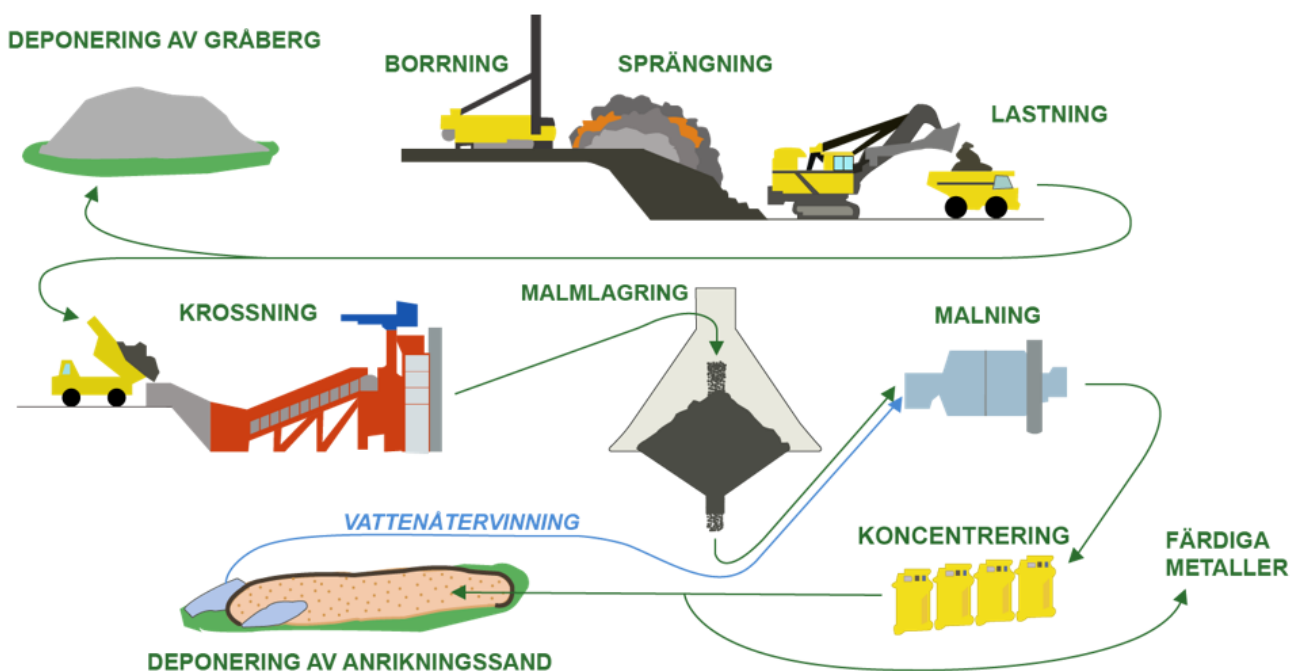
För en mer generell diskussion om hantering av klimatförändringars påverkan på gruvverksamhet – dock utan ingående detaljer kring gruvdammanläggningar – har The Mining Association of Canada publicerat en vägledning (2021): *Guide on Climate Change Adaptation for the Mining Sector*.

Gruvdammanläggningar

Anrikningssand är en restprodukt från gruvprocessen som uppstår vid bearbetning av bruten malm. I takt med att behovet och produktionen av mineral tilltagit har även mängden anrikningssand som behöver omhändertas ökat. Denna trend har resulterat i konstruktion av allt större gruvdammanläggningar vilket medfört ökade konsekvenser vid potentiella dammhaveri (Finke Morrison & Lammers, 2022).

Vad är syftet med en gruvdammanläggning?

Materialet som bryts i gruvor delas generellt upp i malm eller gråberg. Gråberget läggs vanligtvis på upplag medan malmen efter krossning och koncentring transporteras till ett anrikningsverk. Det som blir över efter anrikningsprocessen kallas för anrikningssand och behöver omhändertas. Endast en del av den utvunna malmen resulterar i den önskade råvaran, resterande blir anrikningssand. Ett exempel på hur det kan se ut illustreras i Figur 1. Anrikningssanden utgörs oftast av berg malt till "fin sand" (partikelstorlek motsvarande sand och silt).



Figur 1. Exempel: Förenklad principbild över en anrikningsprocess.

Det vanligaste sättet att ta hand om anrikningssanden är genom deponi i en sk. gruvdammanläggning. Anrikningssanden transporteras ofta genom pumpning som en slurry, dvs utspädd i det vatten som används i processen ut på deponin.

Hur fungerar en gruvdammanläggning – grundläggande principer?

Väl i gruvdammanläggningen deponeras anrikningssanden antingen över eller under vatten. Generellt sedimenterar de grövre fraktionerna av anrikningssanden nära deponeringspunkten, medan de finare fraktionerna följer med vattnet längre in i magasinet där de sedan sedimenterar. Den del av anrikningssanden som sedimenterar ovan vatten bildar vad som kallas för en "beach" från utsläppspunkten. Vattnet från slurryn samlas som en vattenspegel i magasinets lågpunkt och leds sedan till ett separat klarningsmagasin. Normalt återtas vattnet till processen (Snow, 2022a).

Gruvdammanläggningens livscykel

Gruvdammanläggningens livscykel kan delas in i tre faser. En planeringsfas, flertalet drift- och konstruktionsfaser följt av en efterbehandlingsfas. Detta illustreras i Figur 2.



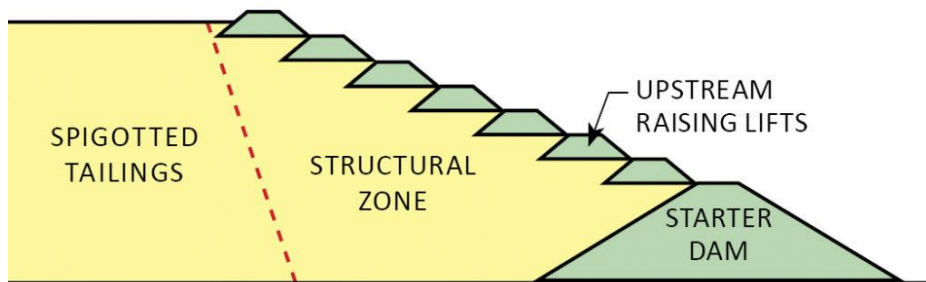
Figur 2. Gruvdammanläggningens livscykel (SveMin, 2021).

Under planeringsfasen genomförs en lokaliseringsstudie och en första plan för utformning, karakterisering och efterbehandling upprättas. I samband med den första projekteringen är topografin i området en av de första aspekterna som beaktas.

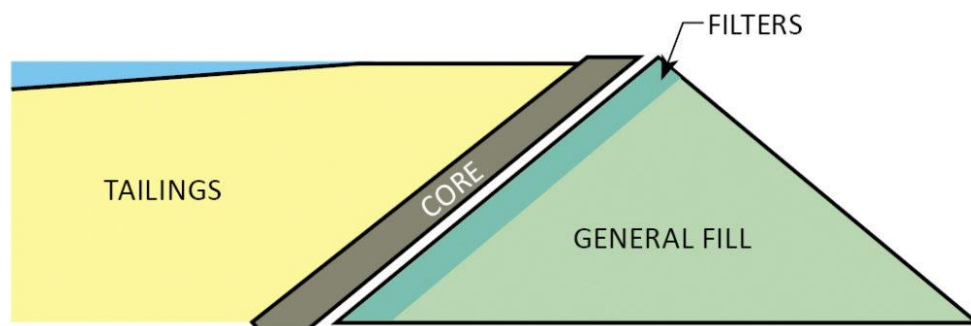
Dammarna i sig byggs ofta av naturliga material (jord och/eller krossmaterial) eller av processade material (anrikningssand och/eller gråberg) och höjs sedan etappvis med de tidigare nämnda materialen (Snow, 2022a). Detta medför att dammarna genomgår cykliska faser med återkommande konstruktion. Val av material beror bland annat på vilket konstruktionsmetod som används vid höjningarna. De tre grundprinciperna för höjning är inåt-, utåt- eller uppåtdamm, dessa illustreras i Figur 3, Figur 4 och Figur 5. En annan viktig aspekt att ta hänsyn till är vattenhantering, vilket utgör en kritisk faktor för både stabiliteten hos gruvdammanläggningens omgivande dammvallar samt anläggningens miljöpåverkan (Gabora & Hoekstra, 2022a).

Vid avslutad drift av en gruvdammanläggning ska det finnas en slutlig efterbehandlingsplan. Syftet med efterbehandlingen är att minimera de långsiktiga effekterna av gruvdammanläggningen.

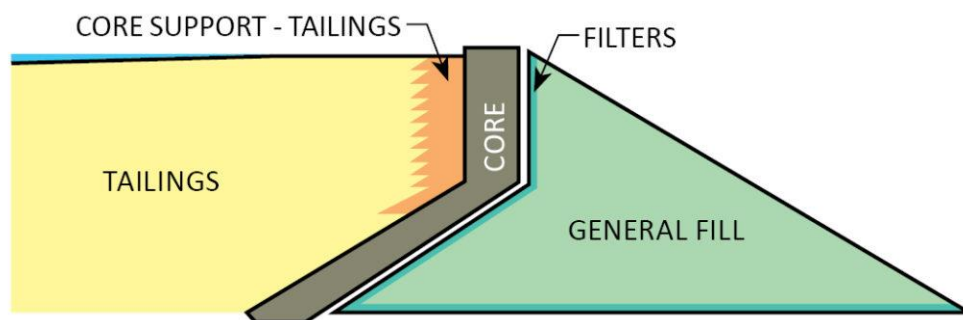
Anläggningen lämnar efter sig en fysisk påverkan på miljön i form av magasin, dammvallar samt infrastruktur i form av exempelvis rörledningar från deponering, byggnader och vägar, men även en potentiell påverkan på grundvattnet i området. Det som inte ingår i efterbehandlingsplanen tas bort varefter anläggningen bearbetas för att uppnå planerad utformning, i många fall att smälta in med omgivande miljö. Samtidigt vidtas åtgärder för att säkerställa långsiktig stabilitet och vattenhantering samt eventuella åtgärder för att minimera risker för läckage och lakning (Andrews, et al., 2022).



Figur 3. Höjning med inåttdamm (Mcleod & Bjelkevik, 2017)



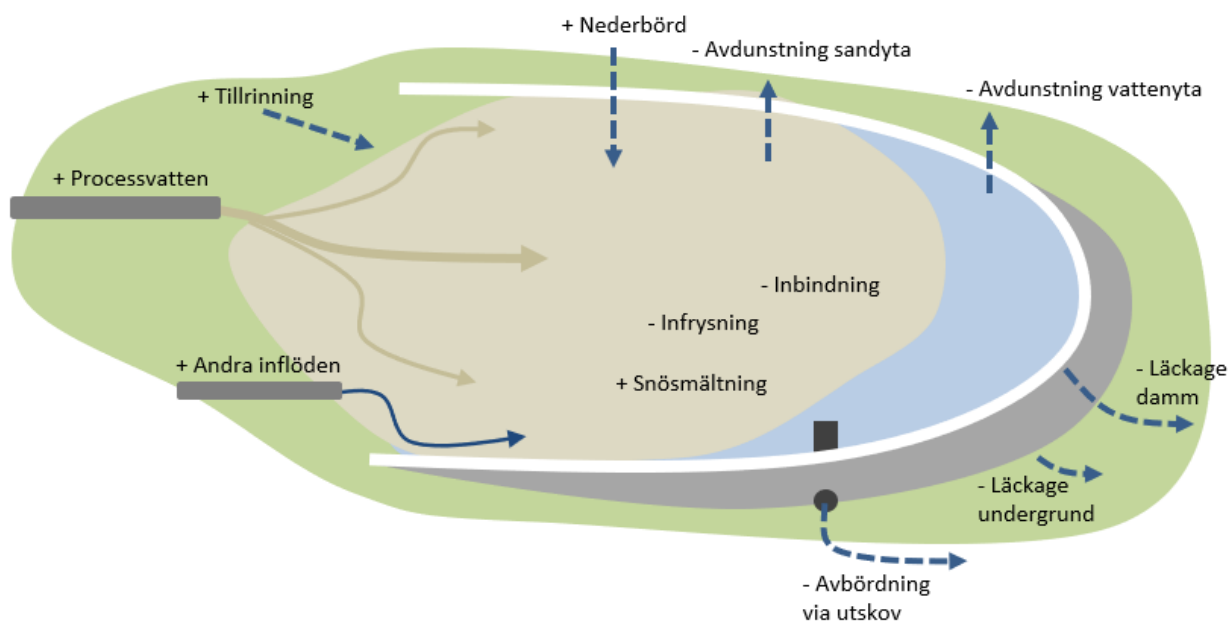
Figur 4. Höjning med utåttdamm (Mcleod & Bjelkevik, 2017)



Figur 5. Höjning med uppåttdamm (Mcleod & Bjelkevik, 2017)

Vatten vid en gruvdammanläggning

Vattenbalansen vid en gruvdammanläggning utgörs av flera olika faktorer, ett exempel på detta illustreras i Figur 6. Inflöden består av exempelvis tillrinning, processvatten och upptining medan exempel på systemförluster är inbindning, bräddning, läckage och infrysning. Dessa faktorer och fler beskrivs mer utförligt nedan.



Figur 6. Konceptuell vattenbalans – exempel på tillskott och förluster vid en gruvdammanläggning.

Inflöden

Inkommande vatten till sandmagasinet består av flera delar – exempel listas nedan. För varje inflöde ges även en kommentar gällande huruvida storleken på flödet är beroende av klimatet.

Nederbörd och tillrinning

Nederbörden påverkar vattenbalansen vid en gruvdammanläggning på två sätt. Dels via direkt nederbörd, dels via tillrinning från tillrinningsområdet. Direkt nederbörd utgörs av nederbörd som faller på magasinets yta, och nederbörd inom tillrinningsområdet utgörs av tillrinning från områden utanför magasinet som rinner in i detta. Omfattningen av det senare beror på tillrinningsområdets storlek och markens vattenmättnadsgrad.

Mängden nederbörd och tillrinning är direkt kopplad till klimatet.

Snösmältning

Upptining sker under våren då fruset vatten tinar. Frysning och upptining påverkar vattenbalansen kortsiktigt, men har ingen effekt sett över hela året eftersom förlusten i form av infrysning sedan återfås i form av upptining. Däremot ställer förskjutningen krav på systemets buffrings- och/eller avbördningsförmåga under våren, för att klara hanteringen av mängden vatten från upptiningen.

Omfattningen av infrysning och snösmältning är direkt kopplad till klimatet.

Processvatten

Eftersom deponeringen av anrikningssand konventionellt sker i form av en slurry, tillkommer det en stor mängd processvatten utöver anrikningssanden i samband med deponeringen. Denna mängd styrs ofta av processens behov: lämplig fastgodshalten i slurryn och mängden anrikningssand som produceras. Detta inflöde balanseras normalt av ett motsvarande uttag av processvatten.

Mängden processvatten är inte klimatberoende.

Länshållning

Ofta tillförs även andra vattenflöden till magasinet som kommer från verksamheten, men inte är kopplade till deponeringen av anrikningssand. Ett vanligt exempel är länshållningsvatten, från dagbrott, underjordsgruva eller andra områden som önskas hållas torrlagda. Dessa tillskott är ofta nettotillskott och kan vara stora i relation till den totala volymen i systemet.

Storleken på dessa vatteninflöden har en direkt koppling till klimatet då det avser länshållning av nederbörd, snösmältning och grundvatten.

Förluster och utflöden

Förluster och utgående vatten från sandmagasinet (t.ex. systemförluster, återtag och avbördning) består av flera delar – exempel listas nedan. För varje delflöde ges även en kommentar gällande huruvida storleken på flödet är beroende av klimatet.

Avdunstning

En av förlusterna är avdunstning. Avdunstningen sker både från sandytan och från den fria vattenspegeln i magasinet.

Storleken av avdunstningen är direkt beroende av klimatet.

Läckage genom damm

Läckage genom de omgivande dammvallarna utgör potentiellt en stor del av systemförlusterna (beroende på dammarnas konstruktion), men i många fall återförs detta vatten till systemet genom att läckagevatten samlas upp och leds till nedströms beläget magasin alternativt återpumpas. Läckaget beror på vattennivå i magasinet och dammens konstruktion och är en faktor som övervakas.

Storleken på läckaget påverkas inte markant av direkta klimatfaktorer, utan istället främst av regleringen i magasinet (som exempel kan förvisso en förhöjd vattennivå i samband med ett extremflöde temporärt ger ett ökat läckage, men det är normalt endast ett marginellt tillskott under en kort period).

Läckage genom undergrund

Utöver läckaget genom dammarna tillkommer ett läckage genom undergrunden. Läckaget genom undergrunden påverkas till störst del av dammens grundläggning samt vattennivån i magasinet och är därmed inte tydligt kopplat till klimatet.

Inbindning

En del av vattnet i magasinet binds in i den deponerade anrikningssandens porer. Den vattenmättade porvolymen i den deponerade sanden kan ofta utgöra en stor del av den volym

anrikningssanden upptar. Eftersom denna mängd antas utgöra en permanent förlust av fritt vatten räknas inbindning som en systemförlust när det gäller vattenbalansen.

Inbindning av vatten i anrikningssandens porvolym är ej beroende av klimatet så länge det tillförs vatten till magasinet. Klimatpåverkan, exempelvis genom påverkan på vattenmättnadsgraden i den deponerade anrikningssanden, är liten jämfört med totalvolymen.

Infrysning

Infrysning avser hur stor mängd vatten som fryser vintertid (och sedan åter blir tillgängligt som fritt vatten vid snösmältningen). Det infrusna vattnet blir bara en tillfällig förlust i systemet då det återfås under våren. Denna förlust är dock i vissa fall stor och måste hanteras genom att säkerställa en betydande vattenbuffert inför vintern.

Mängden infruset vatten styrs av deponeringen och därtill klimatet (primärt kyla, men även vindförhållanden).

Avbördning

Överskottsvatten från sandmagasinet avbördas normalt via ett utskov till ett klarningsmagasin. Klarningsmagasinet utgör volym för extra uppehållstid (för partiklar och sediment) samt vattenbuffert till processen.

Avbördningen är direkt beroende av klimatet då större delen av nederbörden normalt sett behöver bräddas ut ur systemet.

Extremflöden och utskov

Normalt fås ett betydande överskott av vatten vid svenska gruvdammanläggningar, det vill säga att summan av inflöden är markant större än summan av förluster.

Vid de flesta svenska gruvdammanläggningar är det dimensionerande flödet framräknat med den metod som i benämns beräkningsmetod 1 (tidigare benämnt klass I-flöde). Jämförelser med frekvensanalys indikerar att flöden som beräknats på detta sätt i genomsnitt motsvarar en händelse med en återkomsttid som överstiger 10 000 år (Svk, Energiföretagen, SveMin, 2022).

Utskovsanordningar

Svensk gruvindustri är influerad av vattenkraftsindustrins ansats för dammbyggnad, vilket är särskilt tydligt avseende utskovskonstruktioner. Vid de flesta svenska gruvdammanläggningar består utskoven traditionellt av en lösning med en betongkonstruktion som intagsdel, med en överfallströskel eller lucka, där vattnet leds in och sedan förs vidare via en öppen kanal eller en sluten ledning.

Denna lösning medför att:

- ◆ Vattenspegeln måste vara belägen nära magasinets periferi (nära en damm eller naturlig mark som omger magasinet), så att utskovet kan leda vattnet ut ur magasinet utan att det uppstår behov av orimligt långa ledningar från vattenspegel till utskov.
- ◆ Avbördningskapaciteten är direkt kopplad till vattennivån i magasinet. För ett kraftigt tillflöde stiger nivån i magasinet och då ökar också avbördningskapaciteten i magasinet.

Utskoven dimensioneras så att dimensionerande flöde kan avbördas utan att utgöra en risk för dammsäkerheten, vilket normalt innebär att utskovskapaciteten överstiger dimensionerande flöde antingen vid dämningströskel eller vid en definierad överdämningströskel.

En internationellt vanligt förekommande alternativ ansats är att placera vattenspegeln i magasinets centrala delar, på betydande avstånd från omgivande dammar (en minsta beachlängd med storleksordning flera hundra meter är vanlig). Då sandytan lutar ger en sådan lösning en lågt belägen vattenspegel, jämfört med omgivande dammkrön. Detta skapar en buffert som vid extrema tillflöden kan nyttjas genom att vattenspegeln kan tillåtas stiga utan att detta utgör en betydande belastning på dammarna. I gengäld kan kapaciteten för utskovet sänkas då det inte är nödvändigt att momentant kunna avbörda högsta tänkbara tillrinning, utan delar av denna kan buffras i magasinet.

Avbördning av extremflöden

Viktig att notera vid betraktelse av gruvdammanläggningar och traditionella svenska avbördningsanordningar (fast intagsdel som leder vatten via ledning eller kanal) är att storleken på det dimensionerande flödet oftast inte är en kritisk faktor. Då avrinningsområden till en gruvdammanläggning är små (jämfört med vad som är gällande inom vattenkraften) blir även extremflöden relativt små. Med andra ord, om en vattenväg fram till utskovet och bort från utskovet kan säkerställas, är det normalt inte ett problem att skapa en tillräckligt bred tröskel i själva utskovet för att uppnå eftersökt avbördningskapacitet. Svårigheter med denna typ av utskov vid gruvdammanläggningar är i stället oftast kopplade till framledning av vatten (i konflikt med deponering av anrikningssand och önskemål om torr beach nära dammarna) samt genomföringar genom dammar (i den mån naturlig mark inte finns att tillgå). Därtill kommer behovet av återkommande dammhöjningar och att utskoven antingen måste anläggas för att klara många meter höjning av sandyta och omkringliggande dammar eller flyttas med i varje höjning. Båda alternativen har sina utmaningar både för drift och anläggande under konstruktionens livslängd.

Vattenhantering vid efterbehandling

Efterbehandling avser det sista steget av stängningen av en gruvdammanläggning, där denna förbereds för att lämnas och därefter förväntas utgöra säker förvaring av anrikningssanden under en mycket lång tid (1000 år eller mer). Det finns tre huvudprinciper för efterbehandling, där anrikningssanden antingen:

- 🟡 kan tillåtas vara torr
- 🟡 måste vara åtminstone vattenmättad
- 🟡 måste vara helt vattentäckt

Efterbehandling kräver att ett flertal faktorer beaktas. Utöver att säkerställa anläggningens stabilitet tillkommer frågor kopplade till exempelvis vattenhantering, erosion, lokal flora och fauna, biologisk mångfald mm. Då anläggningen inte längre är aktiv behöver den kunna motstå så väl tillfälliga variationer i väder som långsiktiga förändringar av klimatet (Andrews, et al., 2022).

Hur förändras vattenbalansen under efterbehandlingsskedet?

Vid efterbehandling upphör tillförsel av processvatten vilket ändrar förutsättningarna för vattenbalansen. Även länshållningsvatten utgår.

Beroende på kravställningen på efterbehandlingen, dvs. om anrikningssanden kan vara torr alternativt måste hållas vattenmättad eller vattentäckt, ställs olika krav på vattenbalansen. Att notera är de betydande antalet parametrar i vattenbalansen som påverkas av klimatet samt den långa driftstiden som gäller för efterbehandlingen (1000 år eller mer).

Klimatpåverkan

I flöjande avsnitt ges en utblick kring förväntad påverkan på flöden som påverkar dammsäkerhet, drift och efterbehandling.

Förväntad påverkan på högflöden

Extremflöden, dvs flöden med återkomsttid mellan 100 och 10 000 år, förväntas öka, exempelvis konstateras följande:

- ◆ Det förväntas kraftigare nederbördssekvenser och skyfall som sträcker sig över längre perioder. En följd av detta blir ökade flöden och avrinning av ytvatten (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018).
- ◆ Extrem dygnsnederbörd förväntas öka kraftigt. I en studie av SGI analyserades klimatförändringens påverkan på extrem korttidsnederbörd under perioden fram till 2071. Den största ökningen är ca. 40 % i västra Sverige. Resultatet för olika varaktigheter av nederbörd med exempelvis 10-års återkomst illustreras i rapport från SGI (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018).
- ◆ Den maximala dygnsnederbörden varje år kommer att öka med 20–30 % i många delar av landet, med den största ökningen i Norrlands inland. Även antalet dagar med kraftig nederbörd (mer än 10 mm) kommer att öka. Den största ökningen kommer att ske under sommaren (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018).

Klimatpåverkan under drift

Den aktiva driftperioden för en gruvdammanläggning kan vara lång. Flera svenska aktiva anläggningar har varit i drift i mer än 40 år. Driftsituationen för anläggningar med långa driftperioder kommer att påverkas av klimatförändringar. Viktiga aspekter för att minimera riskerna till följd av detta är planering och beredskap för ovanliga väderförhållanden. I följande avsnitt ges exempel på driftsförutsättningar som kommer att påverkas.

Vattenbalans

En kontinuerlig driftsfråga är vattenbalansen, som har stor betydelse för dammsäkerheten och gruvverksamheten som helhet (tillgång till processvatten hela året samt kontrollerad avbördning för begränsad påverkan på nedströms recipient). Flera av de faktorer som påverkar vattenbalansen kommer genomgå en kontinuerlig förändring under de kommande årtiondena, exempelvis konstateras följande:

- ◆ Årsnederbörden kommer att öka. Störst blir förändringen i norra Sverige (30-35 %), särskilt under vintrarna. Detta då mildare vintrar medför nederbörd i form av regn i stället för snö (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018).
- ◆ Varmare vintrar kommer även att påverka snösmältningen. Klimatförändringarna uppskattas på sikt kunna leda till att vårfloden skjuts 2–4 veckor tidigare, samt att den minskar något i storlek för hela Sverige förutom längst i norr (SMHI, Förändrade vattenförhållanden, 2022).
- ◆ Årsmedeltemperaturen ökar. Största förändringen kommer att ske i norra Sverige. Ökningen av medeltemperatur sker framför allt under vintrarna, men även en mindre ökning förväntas ske under somrarna. På grund av detta förväntas tiden med snötäcke minska (SMHI, Snötäckets utbredning och varaktighet, 2018). I södra Sverige förväntas det i framtiden vara

ovanligt med snötäcke. En annan effekt av ökade temperaturer är ökad avdunstning av yttligt vatten (SMHI, Torck, 2020).

Dammning

En annan potentiellt problematisk fråga vid gruvdammanläggningar är damning, dvs. att torr anrikningssand blåser i väg från magasinsytan. De faktorer som påverkar damningen är främst fukthalten hos den ytliga anrikningssanden, kringliggande ytors geometri och vinden. Antalet dagar varje år med låg markfuktighet förväntas öka. Beräkningarna för markfuktighet tar hänsyn till förändringar av nederbörd, temperatur, snötäcke, tillrinning och avdunstning (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018). Däremot förväntas den längsta torrperioden varje år att minska (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018).

När det gäller vind har inte SMHI kunnat förutsäga några generella förändringar på grund av de komplicerade förhållanden som styr uppkomsten av vind (SMHI, Vind, 2019b). Den maximala byvinden varje år förväntas däremot att minska med drygt 1 % i norra Sverige samtidigt som den ökar med detsamma i södra Sverige.

Sammanvägt är det svårt att förutsäga hur potentiella problem med damning vid gruvdammanläggningar förväntas påverkas av klimatförändringarna, dvs. huruvida den sammanvägda effekten av förändringarna blir positiv eller negativ.

Säsong för anläggningsarbeten

För flera gruvdammanläggningar i norra Sverige är den begränsade perioden då dammbyggnadsarbeten är praktiskt genomförbara en kritisk faktor. För vissa material (mest påtagligt för morän avsett för täta zoner) krävs torra perioder efter tjällossningen för att anläggande ska vara möjligt. Mer nederbörd kan försvåra anläggningsarbeten och skulle därmed potentiellt kunna innebära att den praktiska tillgängliga tiden för dammbyggnadsarbeten blir kortare även om temperaturen ökar.

Tjäldjup

Varmare temperaturer kommer att påverka tjäldjupet. För pågående arbeten, tex, deponering och dammhöjning kommer denna aspekt sannolikt mestadels vara positiv då förhöjd temperatur bidrar till minskad risk för djupgående tjälskador. För fall med inbyggd permafrost kan däremot en upptining av permafrosten innebära ökade portryck och därav reducerad hållfasthet i materialet, vilket kan påverka stabiliteten negativt.

Indirekt driftpåverkan – extrema väderhändelser

Utöver direkt klimatpåverkan på anläggningen medför även extrema klimathändelser en indirekt påverkan på möjligheten att säkerställa driften – exempel på en sådana händelser är stormar, översvämningar eller stora snömängder som kan medföra:

- 🔸 Begränsad framkomlighet till gruvområdet.
- 🔸 Begränsad framkomlighet till och inom gruvdammanläggningen.
- 🔸 Strömavbrott.
- 🔸 Skada på annan infrastruktur (exempelvis för kommunikation och övervakning).

Ökad frekvensen av extrema väderhändelser innebär att ovanstående problem potentiellt kommer att aktualiseras oftare.

Klimatpåverkan vid efterbehandling

Som redan nämnts påverkas vattenbalansen av klimatet. En fungerande vattenbalans är avgörande för att uppnå eftersökta resultat vid efterbehandlingen. Detta gäller särskilt vid krav på vattenmättad eller vattentäckning.

Utöver påverkan på vattenbalansen finns även ytterligare faktorer av betydelse för efterbehandlingen som kommer att påverkas av klimatförändringar, exempelvis:

- Vegetation: Vegetationsperiodens längd kommer att öka i hela landet som följd av den förväntade temperaturökningen (Lundström, Dehlbom, Löfroth, & Vesterberg, 2018). Vegetationsperioden definieras som den period under året då det är varmt nog för växter att växa, över 5 °C enligt SMHI. Vegetationsperiodens förväntas öka med 40–100 dagar, den större ökningen sker i södra Sverige.

Växtlighetens kvalitet kommer att påverkas negativt av klimatförändringarna. Vattentillgången förväntas minska på grund av ökad förbrukning hos växter, som följd av en längre växtsäsong (SMHI, Torka, 2020). Uttorkning av växtlighet kan påverka den stabiliserande verkan som rötterna har på de ytliga lagren samt det skydd mot erosion som växterna (SMHI, Ras och skred, 2019a).

En fortsatt ökning av skogsbränder kan eventuellt påverka vegetationen på magasinerna negativt, i det fall att en skogsbrand utbryter i närheten.

- Erosion: Ökad och kraftigare nederbörd leder till en ökad risk för erosion på beacher och dammslänter.
- Vittring: Ökade temperaturer och minskad markfuktighet kan leda till ökad vittring.
- Torka: Ökade temperaturer och minskad markfuktighet kan leda till uppsprickning av jordmaterial och tätskikt.

Slutsatser: Klimatförändringar och dammsäkerhet

Som en slutsats, utifrån redovisad utblick kring klimatförändringarnas påverkan på dammsäkerhet vid svenska gruvdammanläggningar, kommenteras i detta avsnitt dammsäkerhetsrisker, övriga driftsrisker samt kunskapsbehov för bättre riskbedömningar.

Dammsäkerheten – primärt en fråga om extremflöden

Gällande dammsäkerhet, i betydelsen säkerhet mot ett dammbrott eller annan betydande skada på gruvdammanläggningen som kan leda till okontrollerad utströmning av anrikningssand och vatten, konstateras att det är extremflöden som är det mest betydande hotet. Förändringar i extrema flöden kommer medföra ökade belastningar på gruvdammanläggningar.

En gynnsam faktor i detta avseende är att avrinningsområden för gruvdammanläggningar är relativt små (jämfört med exempelvis för vattenkraft) och att det sällan är ett stort problem att förbereda för en något högre avbördningskapacitet. Med andra ord förväntas denna anpassning inte vara svår att åstadkomma.

Till detta konstateras också att det, klimatförändringar eller ej, redan föreligger ett behov att återkommande bygga om flera av utskoven i och med att dammarna höjs. Det innebär att det för många gruvdammanläggningar kommer att finnas möjlighet till löpande anpassning av utskovskapaciteten vid behov.

Extrema väderhändelser och indirekt påverkan på driften

Vad händer om exempelvis en väderhändelse leder till strömavbrott och blockerar transporter på allmänna vägar?

För att sätta frågeställningen i ett större sammanhang konstateras att vattenkraften har utmaningar med utspridda dammanläggningar som inte alltid är bemannade, där resurser i form av maskiner (vid behov av brådskande åtgärder) kan vara begränsade samt där även mindre extrema flöden kan vara så stora (stora tillrinningsområden) att de måste hanteras genom öppning av exempelvis utskovsluckor.

I gengäld konstateras för gruvdammanläggningar att anläggningar i drift är bemannade, att dessa regelbundet kontrolleras av personal (manuella säkerhetsronder utförs på dammarna) samt att det normalt finns en betydande maskinpark att tillgå på plats inom gruvområdet. Därtill är extremflöden för gruvdammanläggningar markant mindre (begränsade tillrinningsområden), vilket i flera fall har gjort det möjligt att ta fram avbördningsanordningar som klarar relativt extrema flödessituationer utan behov av aktiv reglering (exempelvis via statiska nödtrösklar och överströmningsbara luckor).

Begränsad åtkomst, strömbortfall och skada på annan infrastruktur är således mindre problematiskt för gruvdammanläggningar än exempelvis för vissa vattenkraftsanläggningar. Normalt finns tillräckliga resurser för att genomföra åtgärder redan tillgängliga på anläggningen. Vanligen ges det även relativt gott om tid innan någon aktiv åtgärd krävs för att hantera exempelvis ett extremt flöde (ibland krävs det inte alls – avbördningsen är säkerställd genom passiva lösningar).

För gruvindustrin fås normalt inte heller några betydande negativa synergieffekter, i form av att en extrem väderhändelse påverkar flera anläggningar samtidigt och således samtidigt belastar en central underhållsorganisation. Gruvorna fungerar i stället vanligtvis som enskilda underhållenheter utan betydande delning av resurser.

Läckage

En annan dammrelaterad risk, som dock normalt faller utanför begreppet dammsäkerhetsrisk, är risken för att dammens funktion inte möter drifts- eller efterbehandlingskraven för att undvika skadligt läckage (dvs urlakning av toxiska ämnen). I detta avseende kommer klimatförändringar innebära en påverkan på efterbehandlade gruvdammanläggningar, särskilt i de fall där vattenmättad eller vattentäckning är kritisk för att uppnå önskat resultat. Tidsperspektivet för efterbehandling (1000 år eller mer) medför en större svårighet gällande klimatmässiga prognoser.

Vattenmättnadsgrad

Inom ramen för denna diskussion bör det också påtalas att det har framförts teorier om att klimatförändringar och därtill vattenmättnadsgrad i anrikningssand kan kopplas till förutsättningar som påverkat några av de senare årens större gruvdammsolyckor i andra delar av världen. Dessa resonemang förutsätter att designen är beroende av antingen torra perioder eller att vattenvolymer ackumuleras i systemet över tid vid våta förhållanden. Utan att gå djupare i detalj i dessa resonemang konstateras att vattenmättnadsgrad i anrikningssanden på svenska anläggningarna sällan är relaterad till nederbörd, utan till deponeringen, driftnivå och avbördning. Med andra ord, svenska anläggningar är dimensionerande för att kontinuerligt hantera stora mängder vatten och tillfälliga våtar kommer därmed inte påverka dammsäkerheten (utan hanteras genom mer avbördning, vilket ger bibehållna nivåer i systemet).

Kunskapsbehov

I linje med beskrivningen av risker ovan är det två kunskapsområden som ses som viktiga, avseende klimatförändringars påverkan på gruvdammanläggningar i Sverige:

- 🟡 Förändrade dimensionerande flöden
- 🟡 Långsiktiga förutsättningar för vattenbalanser

Kunskapsbehov extremflöden

Gällande kunskapsbehov för riskbedömning relaterat till extremflöden konstateras att det vore gynnsamt med:

- 🟡 Ökad förståelse gällande framtida förväntningar på dimensionerande flöden.
- 🟡 Beaktande av att det för gruvdammanläggningar ofta rör anläggningar med mycket små nederbördsområden (jämfört med normala nederbördsområden inom vattenkraft, som varit storleksmässig utgångspunkt vid framtagande av flödesriktlinjer).
- 🟡 Beaktande av att buffertkapaciteten i vissa fall är begränsad, varvid dygnsmedelflöde inte alltid medför tillräckligt god tidsupplöning.

Därtill tillkommer frågeställningar om lämplig kravställning för extrema flöden i ett efterbehandlingsperspektiv, det vill säga bortom 1000 år.

Kunskapsbehov vattenbalanser

Gällande långsiktiga förutsättningar för vattenbalanser konstateras att vattensystemen är av sådan komplex natur att detta inte går att peka ut någon enskild faktor, utöver att den totala nederbörden sannolikt har störst betydelse. En generell ökad förståelse för framtida klimat kommer att gynna modeller för vattenbalanser, men dessa kommer vara förknippade med osäkerheter som behöver hanteras i systemutformningen, vilket innebär att god flexibilitet bör eftersträvas för gruvdammanläggningarna.

Referenser

- Andrews, J., Slingerland, N., Crouse, P., Williams, D. E., Henderson, M., Morrison Finke, K., & McKenna, G. (2022). Chapter 16. Closure Planning and Landform Design. In *Tailings Management Handbook*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration Inc.
- Finke Morrison, K., & Lammers, H. (2022). Chapter 1. What Are Tailings? In *Tailings Management Handbook*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration Inc.
- Gabora, M., & Hoekstra, D. (2022a). Chapter 2. Influences of Water Management. In *Tailings Management Handbook*. Society for Mining, Metallurgy & Explorations Inc.
- Lundström, K., Dehlbom, B., Löfroth, H., & Vesterberg, B. (2018). *Klimatlasters effekter på naturlig mark och geokonstruktioner – geotekniska aspekter på klimatförändringen*. Statens geotekniska institut, SGI: Linköping, 2018-04-16.
- McLeod, H., & Bjelkevik, A. (2017). *Best Practices for Tailings Dam Design, 2017-09-07 --* <https://www.klohn.com/blog/best-practices-for-tailings-dam-design/> --. KCB.
- Olsson, J., & Foster, K. (2013). *Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige*. SMHI.
- Sjövist, E., Axén Mårtensson, J., Berggren Clausen, S., Berglöv, G., Björck, E., Dahné, J., . . . Södling, J. (2015). *Klimatscenarier för Sverige: Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier*. SMHI.
- SMHI. (2018). *Snötäckets utbredning och varaktighet*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/snotackets-utbredning-och-varaktighet-1.6323> (Hämtad 2022-11-14).
- SMHI. (2019a). *Ras och skred*. Myndighetsnätverket för klimatanpassning: <https://www.klimatanpassning.se/hur-klimatet-forandras/klimat effekter/ras-och-skred-1.149419> (Hämtad 2022-11-14).
- SMHI. (2019b). *Vind*. Myndighetsnätverket för klimatanpassning: <https://www.klimatanpassning.se/hur-klimatet-forandras/klimat effekter/vind-1.21290> (Hämtad 2022-11-14).
- SMHI. (2020). *Torka*. Myndighetsnätverket för klimatanpassning: <https://www.klimatanpassning.se/hur-klimatet-forandras/klimat effekter/torka-1.21291> (Hämtad 2022-11-14).
- SMHI. (2022). *Förändrade vattenförhållanden*. Myndighetsnätverket för klimatanpassning: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat effekter-i-sjoar-och-vattendrag> (Hämtad 2022-11-14).
- Snow, R. E. (2022a). Chapter 4. Overview of Tailings Management. In *Tailings Management Handbook*. Society for Mining, Metallurgy & Explorations Inc.
- Strandberg, G., Barring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., & Kjellström, E. (2014). *CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4*. SMHI.
- SveMin. (2021). *GruvRIDAS 2021 - Gruvbranschens riktlinjer för dammsäkerhet*.
- Svk, Energiföretagen, SveMin. (2022). *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*.