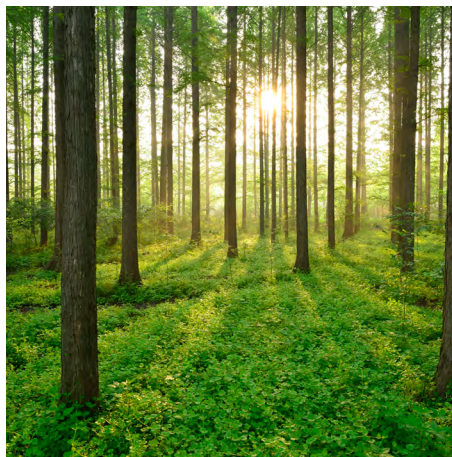
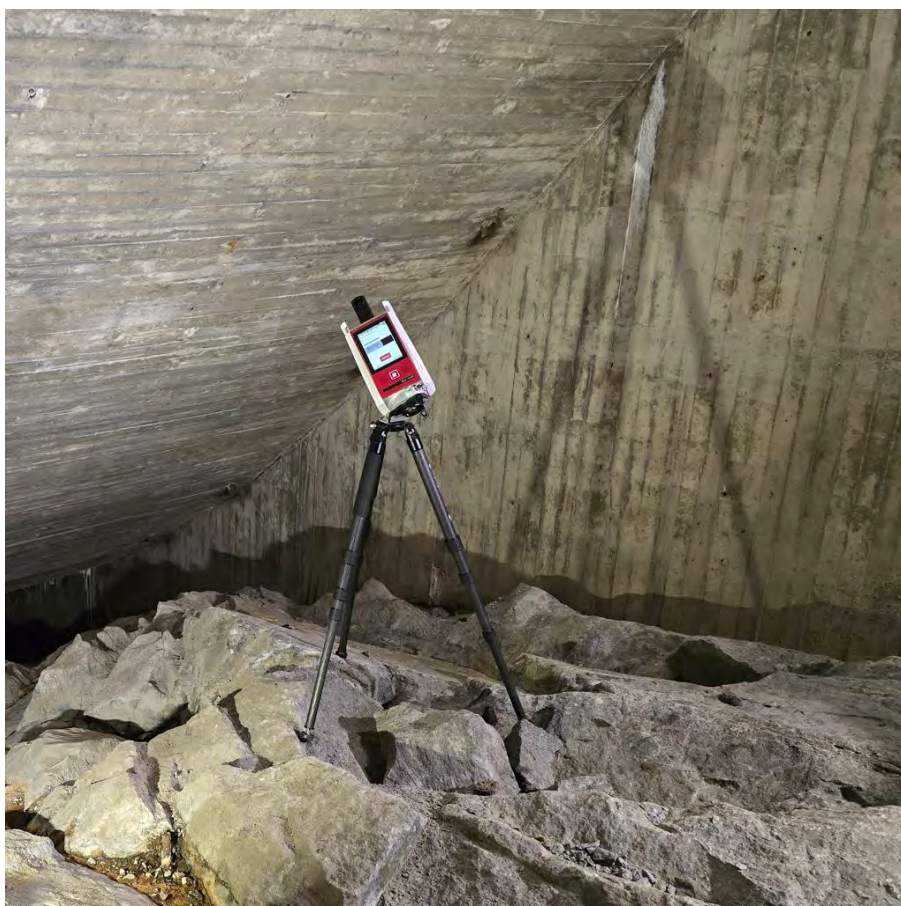
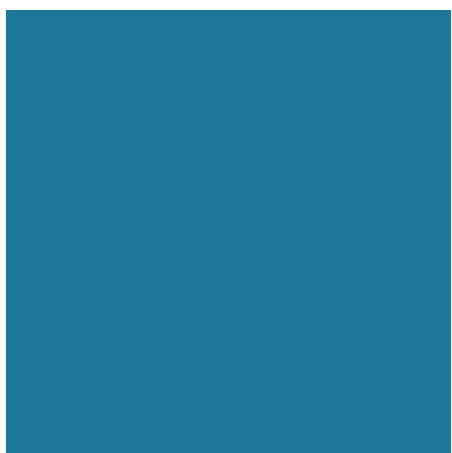


ERFARENHETER FRÅN RELATIONSINMÄTNING AV NÅGRA BETONGDAMMARS GRUNDLÄGGNINGSYTA

RAPPORT 2026:1203



VATTENKRAFTENS
BERGFRÅGOR



Erfarenheter från relationsinmätning av några betongdammars grundläggningsyta

OSCAR PERSSON OCH ANDERS LÖFROTH

ISBN 978-91-89917-46-0 | © Energiforsk juni 2026

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Grundläggningen av en damm utgör en viktig del för att säkra dess bärförmåga, stabilitet, täthet och beständighet. Idag saknas ofta relationsritningar för dammars grundläggning och i dessa fall används i stället konstruktionsritningar från byggtiden som grund för utvärderingar av bland annat dammkonstruktionernas stabilitet.

Det här projektet har undersökt i vilken utsträckning det kan förekomma avvikelser mellan konstruktionsritningar och faktiska höjder på grundläggningsytan. Resultatet från detta projekt ämnar bidra till dammägares tekniska förvaltning och till konsulter som arbetar med att kontrollera betongdammars stabilitet.

Uppdraget har genomförts inom programmet Vattenkraftens bergfrågor, som fokuserar på att stärka och bredda den forskning och utveckling som finns om bergtekniska frågor inom vattenkraftsområdet i Sverige. Programmet koordineras av Energiforsk och finansieras av Vattenfall Vattenkraft AB, Fortum Sverige AB, Sydkraft Hydropower AB, Statkraft Sverige AB, Skellefteå Kraft AB, Holmen Energi AB, Jämtkraft AB, Tekniska verken i Linköping AB, Mälarenergi Vattenkraft AB, Karlstads Energi AB, Sollefteåforsens AB och Jönköping Energi AB.

Författare till rapporten är Oscar Persson och Anders Löfroth från Norconsult Sverige AB. Referensgruppen bestod av Christian Bernstone, Vattenfall, Magnus Svensson, Fortum, Kjell Nilsson, Sydkraft Hydropower, Niklas Widenberg, Vattenregleringsföretagen, Monica Engman, Statkraft Sverige, och Mats Persson, Vattenfall.

Rapportförfattarna ansvarar för alla resultat och slutsatser i rapporten.

Bilden på framsidan tillhandahålls av Norconsult Sverige AB.

Isabelle Lalander, Energiforsk

Stockholm, juni 2026

Sammanfattning

I denna rapport analyseras hur väl de bergnivåer som redovisats på konstruktionsritningar för två betongdammar från 1950-talet överensstämmer med det faktiska bergläget, baserat på moderna laserskanningar.

Underlaget som finns tillgängligt inför stabilitetsutredningar är normalt handlingar från byggtiden. Då historiska inmätningar utfördes med manuella metoder och i lokala koordinatsystem illustrerades ofta en idealiserad bild av bergets läge på äldre ritningar. Vid jämförelse av äldre ritningar med modern laserskanning visar resultaten skillnader i både höjd och geometri.

För Damm 1 uppmättes avvikelser, men även skillnader mellan ritningsunderlag kunde identifieras med hjälp av jämförelse mot laserskanning. Damm 2 visar mindre men fortfarande tydliga skillnader, där bergytan generellt ligger högre än vad underlaget anger, trots att vissa ritningar uppges visa inmätt bergläge.

Skillnaderna kan kopplas till äldre mätmetoder, bristande dokumentation samt osäkerheter i koordinatsystem och ritningsunderlag. Laserskanning bedöms därför vara ett betydelsefullt verktyg för att fastställa korrekt geometri inför stabilitetsutredningar.

En stabilitetsutredning som baseras på osäkra underlag kan ge ett felaktigt resultat, vilket i sin tur riskerar att leda till kostsamma stabiliserande åtgärder som i själva verket inte alltid är nödvändiga.

Rekommendationen från denna studie är att samtliga dammar laserskannas inför en stabilitetsutredning.

Laserskanning bör etableras som standardiserad metod inför stabilitetsberäkningar, då den signifikant reducerar osäkerheter i geometriska indata samt ökar precisionen i de numeriska analyserna. Detta bedöms förbättra både säkerhetsmarginaler och robustheten i de slutliga stabilitetsbedömningarna.

Nyckelord

Inmätning, laserskanning, punktmoln, grundläggning, stabilitet

Summary

This report analyzes how well the rock levels presented on construction drawings for two concrete dams built in the 1950s correspond to the actual bedrock surface, based on modern laser scanning data.

The documentation normally available for stability assessments consists of records from the construction period. Since historical surveys were performed using manual methods and local coordinate systems, older drawings often illustrate an idealized representation of the bedrock's position. When comparing these drawings with modern laser scans, the results show discrepancies in both elevation and geometry.

For Dam 1, deviations were observed, and discrepancies between different sets of drawings were also identified through comparison with laser scanning. Dam 2 exhibits smaller but still clearly discernible differences, where the rock surface generally lies at a higher level than indicated in the documentation, despite the fact that some drawings are stated to represent surveyed rock levels.

These discrepancies can be attributed to older measurement methods, insufficient documentation, and uncertainties related to coordinate systems and drawing references. Laser scanning is therefore considered an important tool for establishing accurate geometry prior to stability assessments.

A stability assessment based on uncertain input data may yield incorrect results, which in turn could lead to costly stabilizing measures that may not actually be necessary.

The recommendation of this study is that all dams should be laser scanned prior to conducting stability assessments.

Laser scanning should be established as a standardized method for stability calculations, as it significantly reduces uncertainties in geometric input data and increases the precision of numerical analyses. This is expected to improve both safety margins and the robustness of the final stability evaluations.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	8
1.3	Avgränsningar	8
1.4	Genomförande	8
2	Historik - Inmätningar inom vattenkraften	10
2.1	Tidiga inmätningsskanninger och dokumentation	10
2.2	Digitaliseringens början: EDM och totalstationer 1960–2000	12
2.3	Modern geodetisk infrastruktur: GNSS, SWEREF 99 och laserskanning - 2000-Nutid	13
2.4	Lokala koordinatsystem och höjdsystem vid dammar	13
2.5	Relevans för jämförelse mellan laserskanning och äldre ritningar	15
3	Objekt för skanning	18
3.1	Damm 1	18
3.2	Damm 2	18
4	Genomförande	19
4.1	Utrustning	19
4.2	Etablering av koordinatsystem	20
4.3	Genomförande i fält	20
4.4	Kvalitetssäkring	21
4.5	Databearbetning	22
5	Jämförelse laserskanning och ritning	23
5.1	Damm 1	23
5.2	Damm 2	28
6	Slutsats	33
7	Referenser	35

1 Inledning

1.1 BAKGRUND

Grundläggningen utgör en av de mest kritiska delarna i en betongdamm, då kontakten mellan dammkroppen och berggrunden direkt påverkar konstruktionens bärförmåga, stabilitet, täthet och långsiktiga beständighet. Gränssnittet mellan damm och berg involverar flera teknikdiscipliner, och utformningen av grundläggningen har historiskt varierat beroende på tillgänglig kunskap, mätmetoder och byggpraxis¹.

Utvecklingen inom bergbyggnad och geoteknik tog fart först efter 1950-talet, då maskintekniken förbättrades och manuella arbetsmetoder successivt övergavs. Under 1950-talet etablerades bergmekanik och ingenjörsgologi som egna teknikområden, och mot slutet av decenniet började systematiska geologiska förundersökningar genomföras, bland annat med diamantbörning och geofysiska metoder. Under 1960- och 70-talen blev geologisk expertis en självklar del av projekteringen, och bergkarteringar blev allt vanligare².

Detta innebär att dammar byggda före 1960-talet ofta saknar det geologiska underlag som senare blev standard. I många fall överläts utformningen av den faktiska grundläggningsytan till entreprenören, trots att konstruktionsritningarna innehöll höjdangivelser. Tillgång till relationsritningar kan saknas efter byggskedet, vilket innebär att dagens stabilitetsutredningar i stor utsträckning baseras på ursprungliga konstruktionsritningar från byggtiden³.

Eftersom dammens stabilitet är direkt beroende av dess geometri, inklusive grundläggningsytans höjd och form, kan avvikelser mellan ritning och verkligt utförande påverka exempelvis egentygnd, upptryck, vattenlast och andra laster som verkar på konstruktionen och dammens stabilitet⁴. Det är därför angeläget att undersöka i vilken utsträckning sådana avvikelser förekommer för äldre dammar.

¹ Johansson, F. Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

² S. Bergqvist, P. Lund och P.-E. Söder, "Kartläggning av bergförstärkningsmetoder i vattenkraftindustrins berganläggningar," Energiforsk, Stockholm, 2022.

³ S. Bergqvist, P. Lund och P.-E. Söder, "Kartläggning av bergförstärkningsmetoder i vattenkraftindustrins berganläggningar," Energiforsk, Stockholm, 2022.

⁴ Johansson, F. Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

1.2 SYFTE

Syftet med rapporten är att genom stickprovskontroller undersöka om det finns systematiska eller betydande avvikelser mellan konstruktionsritningars höjdangivelser och den faktiska grundläggningsytan för äldre betongdammars. Resultaten ska:

- Bidra till branschens kunskap om hur äldre ritningar bör tolkas.
- Belysa behovet av relationsinmätningar vid framtida stabilitetsberäkningar.
- Stödja konsulter och sakkunniga i bedömningar av dammars stabilitet.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Projektet avgränsas enligt följande:

- Endast betongdammars byggda före 1960-talet ingår i denna studie.
- Två dammar kommer att undersökas beroende på åtkomst och lokala förutsättningar.
- Endast grundläggningsytans höjd och geometri studeras, ingen förnyad stabilitetsutredning genomförs i denna studie med hänsyn till den inmätta grundläggningsytan för de två utvalda betongdammarna.
- Endast de dammar som har inspektionsgångar eller annan dokumenterad åtkomst till bergytan inkluderas i studien.
- All insamlad data kommer att anonymiseras.

Projektet omfattar inte geotekniska undersökningar, provtagning eller förstärkningsförslag.

1.4 GENOMFÖRANDE

En sammanställning genomförs av historiska utsättnings- och inmätningstekniker, utvecklingen av bergbyggnad och geologiska förundersökningar samt etablering och användning av lokala koordinatsystem.

Genomgången ska ge en teknisk och historisk kontext till varför avvikelser mellan grundläggningsyta på ritning jämfört med verklig grundläggningsyta kan förekomma.

För två utvalda dammar genomförs:

- Inmätning av bergytans faktiska läge med laserskanner.
- Etablering av polygongtåg från domfix eller annan referenspunkt.
- Transformation till relevant höjd- och koordinatsystem.
- Jämförelse med konstruktionsritningar från byggtiden.

Eventuella avvikelser analyseras med avseende på:

- Höjdskillnader.
- Geometriska avvikelser.

Resultaten sätts i relation till:

- Eventuell påverkan vid en stabilitetsberäkning.
- Behovet av relationsinmätningar i framtida stabilitetsberäkningar.

Anläggningarna är anonymiserade och plushöjder har maskerats, och kommer i rapporten benämnas Damm 1 och Damm 2.

2 Historik - Inmätningar inom vattenkraften

Mätning och dokumentation av bergytor inför byggandet av betongdamm, har genomgått en omfattande teknisk utveckling under de senaste hundra åren⁵. För att förstå skillnaderna mellan äldre ritningar och moderna laserskanningar är det nödvändigt att studera hur mätmetoder, koordinatsystem och dokumentationsrutiner har förändrats över tid. Historiskt har dammbyggnad präglats av manuella mätmetoder, lokala koordinatsystem och förenklade bergmodeller, vilket kan vara en utmaning vid tolkning av äldre dammdokumentation. RIDAS beskriver att anläggningsinformation för äldre dammar kan vara ofullständig eller varierande till följd av anläggningarnas ålder och historik⁶.

I kontrast till detta bygger dagens arbetssätt på nationella referenssystem, digitala instrument och högupplösta 3D-modeller, vilket enligt Lantmäteriet möjliggör en enhetlig och långsiktigt stabil koordinathantering⁷. Denna utveckling påverkar hur äldre ritningar kan jämföras med moderna mätdata och vilka osäkerheter som måste hanteras i analysen.

2.1 TIDIGA INMÄTNINGSMETODER OCH DOKUMENTATION

1900 – 1930

Under den tidiga vattenkraftsepoken utfördes mätning av bergytor generellt med enkla optiska instrument som teodoliter (äldre mätinstrument), avvägningsinstrument och stålband. Arbetet var i hög grad manuellt och beroende av mätarens erfarenhet och förmåga att tolka terrängen. Fixpunkter etablerades lokalt i anslutning till dammläget, och dessa utgjorde grunden för utsättningen. Koordinatsystemen var nästan alltid lokala och saknade koppling till nationella referenssystem.

Bergytans geometri dokumenterades genom:

- Punktvis avvägning med flera meters mellanrum.
- Handritade sektioner.
- Visuellt tolkning av sprickor och ojämnheter.
- Manuell interpolering mellan sektioner.

⁵ S. Bergqvist, P. Lund och P.-E. Söder, "Kartläggning av bergförstärkningsmetoder i vattenkraftindustrins berganläggningar," Energiforsk, Stockholm, 2022.

⁶ Energiföretagen Sverige. RIDAS – Riktlinjer för dammsäkerhet. Stockholm: Energiföretagen Sverige, 2025.

⁷ Lantmäteriet. SWEREF 99 – Det nationella referenssystemet. Tillgänglig via:

<https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Tredimensionella-system/SWEREF-99/>

Detta innebar att ritningarna ofta representerade en idealiserad och förenklad bild av verkligheten. Småskaliga variationer, sprickor och urtag fångades sällan, och ritningarnas noggrannhet varierade beroende på terräng, väderförhållanden och mätpersonalens erfarenhet⁸.



Figur 2-1: Fältarbete tidigt 1900-tal. Källa: SMHI

1930 – 1960

Under mellankrigstiden och efterkrigstiden blev mätningarna mer strukturerade. Fixpunkter etablerades mer systematiskt, och avvägning av bergytor utfördes tätare än tidigare. Lodning i borrhål och schakt användes för att bestämma bergnivåer, och resultaten ritades som profilsektioner. Samtidigt utvecklades bergmekanik och ingenjörsgologi som teknikområden, vilket förbättrade förståelsen för berggrundens egenskaper⁹.

Trots förbättringarna var dokumentationen fortfarande beroende av manuella tolkningar. Bergytor ritades för hand och interpolerades mellan sektioner, vilket innebar att även om noggrannheten ökade, var detaljrikedomen fortfarande begränsad¹⁰.

⁸ Johansson, F. Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

⁹ S. Bergqvist, P. Lund och P.-E. Söder, "Kartläggning av bergförstärkningsmetoder i vattenkraftindustrins berganläggningar," Energiforsk, Stockholm, 2022.

Från att det nationella referenssystemet (plansystem) RT 38 blev tillgängligt – kopplades en del dammar till ett gemensamt geografiskt system. Då RT 38 nätet var begränsat med anslutningspunkter, förekom lokalt etablerade referensnät längs med älvarna med koppling mot RT 38.

Lokala koordinatsystem år 1930 var däremot normen, då dammarna ofta låg långt ifrån samhällen utan koppling till referensnäten.

Nationella höjdsystemet RH00, kopplade ofta älvarnas gemensamma höjd till samma 0-plan. Mätkampanjer utfördes normalt sett i respektive flod, som hade koppling/stöd mot RH00, men de utgick normalt från en enskild punkt i stället för koppling mellan flera, då punkterna var glesa och få¹¹.

Perioden kännetecknas av:

- Fler fixpunkter men fortfarande lokala system.
- Förbättrad höjdmätning men låg detaljupplösning.
- Fortsatt handritade sektioner.
- Begränsad dokumentation av mätmetoder.

2.2 DIGITALISERINGENS BÖRJAN: EDM OCH TOTALSTATIONER 1960–2000

Under 1960- och 1970-talen introducerades elektroniska avståndsmätare (EDM), vilket innebar ett stort steg framåt i noggrannhet. Under 1980-talet slog totalstationer igenom, vilket kombinerade EDM och teodolit i ett instrument. Detta möjliggjorde millimeternoggrannhet i plan och höjd, digital lagring av mätdata och tätare inmätning av bergytor¹².

Nationella referenssystemet RT 90 (1990) ersatte RT 38 med flera utgångspunkter, lägre mätosäkerhet och bättre spridning i landet. Detta nationella referenssystem finns i flera projektionszoner, men "standardszonen" RT 90 2.5 gon V täcker största delen av Sverige och förblir därav en av de vanligaste använda zonerna för dammbyggnationer under denna epok.

¹⁰ Johansson, F. Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

¹¹ Förteckning över Sveriges vattenfall," SMHI, [Online]. Available: <https://www.smhi.se/publikationer-fran-smhi/sok-publikationer/1911-01-04-forteckning-over-sveriges-vattenfall>

¹² Lantmäteriet. HMK – GNSS baserad detaljmätning 2021. Gävle: Lantmäteriet, 2021.

Denna period kännetecknas av:

- Övergång från analog till digital mätning.
- Tätare inmätning av bergytor.
- Digital lagring av mätdata.
- Fortsatt användning av lokala koordinatsystem.
- Början på CAD-baserad dokumentation.

2.3 MODERN GEODETISK INFRASTRUKTUR: GNSS, SWEREF 99 OCH LASERSKANNING - 2000-NUTID

Införandet av SWEPOS (nationellt nätverk av referensstationer) och etableringen av SWEREF 99 som nationellt referenssystem har revolutionerat mätningstekniken. Lantmäteriet beskriver SWEREF 99 som ett stabilt och långsiktigt hållbart system som möjliggör Global Navigation Satellite Systems-baserad (GNSS) utsättning med hög precision och enhetlig koordinathantering över hela landet¹³.

I dagens dammprojekt används generellt:

- SWEREF 99 för plan.
- Vattendomsfix, med koppling till anslutande dammanläggningar.
- Totalstationer och GNSS i kombination.
- Laserskanning och fotogrammetri för dokumentation.

Laserskanning har idag blivit mer eller mindre standard vid dokumentation av bergytor och befintliga dammar. Tekniken ger punktmoln med millimeter- till centimeterupplösning och fångar hela bergytans verkliga geometri, inklusive sprickor, urgröpningar och andra oregelbundenheter¹⁴. Det leder till att moderna mätmetoder ger en detaljnivå som överstiger äldre dokumentation.

2.4 LOKALA KOORDINATSYSTEM OCH HÖJDSYSTEM VID DAMMAR

Trots den omfattande moderniseringen av geodetiska metoder, under de senaste decennierna, är lokala koordinatsystem fortfarande en central del av dokumentationen för många svenska dammar. Detta beror främst på att

¹³ Lantmäteriet. SWEREF 99 – Det nationella referenssystemet. Tillgänglig via:
<https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Tredimensionella-system/SWEREF-99/>

¹⁴ Lantmäteriet. HMK – Terrester laserskanning 2021. Gävle: Lantmäteriet, 2021.

majoriteten av landets vattenkraftsanläggningar byggdes innan nationella referenssystem som SWEREF 99 och RH2000 etablerades. Varje anläggning utvecklade därför sitt eget koordinatsystem, ofta anpassat efter terrängen, dammens geometri och de mätmetoder som fanns tillgängliga vid tiden.

Lokala plansystem

De lokala plansystemen varierar kraftigt mellan anläggningar. De kan skilja sig i:

- Origo (normalt placerat vid dammlinjen eller en närliggande fixpunkt).
- Rotationsriktning (till exempel längs dammens längdriktning).
- Koordinatvärden (ibland mycket små, ibland mycket stora).

Lokala höjdsystem

Höjdsystemen vid dammar är ännu mer känsliga än plansystemen. Till skillnad från planlägen får höjdsystemet inte ändras, eftersom det är juridiskt fastställt i gällande vattendom. Dämningsgränser, tappningsnivåer och säkerhetsmarginaler är alla definierade i det lokala höjdsystemet. Att byta höjdsystem skulle därför kräva en omprövning av vattendomen, vilket är både tidskrävande och juridiskt komplext.

Det innebär att:

- Moderna mätningar i RH2000 måste transformeras till det lokala höjdsystemet.
- Äldre höjder inte får omräknas till RH2000 i dammrelaterade analyser.

Höjdsystemets tillförlitlighet är avgörande för dammsäkerheten, och felaktig hantering kan få betydande konsekvenser för både drift och tillstånd.

Konsekvenser för dagens arbete

Den fortsatta användningen av lokala system innebär att moderna mätningar måste anpassas till historiska förutsättningar. Detta påverkar:

- Utsättning.
- Inmätning.
- Deformationstolkning.
- Jämförelse mellan ritning och verklighet.

- Projektering av förstärkningsåtgärder.

RIDAS betonar att tillförlitlig anläggningsinformation och korrekt beskrivning av dammens geometri är en grundläggande förutsättning för dammsäkerhetsutvärdering. Brister eller osäkerheter i geometriskt underlag ska hanteras genom kompletterande undersökningar, eftersom sådana osäkerheter påverkar möjligheten att bedöma dammens stabilitet och säkerhet¹⁵.

2.5 RELEVANS FÖR JÄMFÖRELSE MELLAN LASERSKANNING OCH ÄLDRE RITNINGAR

Jämförelsen mellan moderna laserskanningar och äldre ritningar är en metod som blivit allt vanligare i dammsäkerhetsarbetet. Den ger möjlighet att identifiera avvikelser mellan projekterad grundläggningsyta och verklig geometri, vilket är särskilt viktigt vid bedömning av dammens grundläggning och kontakt mot berg¹⁶. Samtidigt innebär skillnaderna i mätmetoder, koordinatsystem och dokumentationskvalitet att analysen måste genomföras med stor försiktighet.

Skillnader i koordinatsystem

Äldre ritningar är ofta upprättade i lokala koordinatsystem som saknar dokumenterad koppling till nationella referenssystem. Moderna laserskanningar kan däremot georefereras mot kända referenspunkter, till och med i realtid, exempelvis i SWEREF 99 och RH2000. Detta innebär att en transformation måste genomföras för att sammanföra datamängderna. Transformationens kvalitet beror på:

- Antalet gemensamma fixpunkter.
- Fixpunkternas kvalitet.
- Ritningarnas noggrannhet.
- Eventuella deformationer i anläggningen.

Lantmäteriet betonar att transformationer mellan lokala och nationella system kan introducera betydande osäkerheter om underlaget är bristfälligt¹⁷.

¹⁵ Energiföretagen Sverige. RIDAS – Riktlinjer för dammsäkerhet. Stockholm: Energiföretagen Sverige, 2025.

¹⁶ Johansson, F. Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

¹⁷ Lantmäteriet. SWEREF 99 – Det nationella referenssystemet. Tillgänglig via:

<https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Tredimensionella-system/SWEREF-99/>

Skillnader i geometrisk detaljnivå

Äldre ritningar visar ofta en idealiserad bergyta. Sektionerna är glest placerade, och mellanliggande geometri är interpolerad. Sprickor, ojämnheter och urtag är ofta schematiskt redovisade eller helt utelämnade och äldre bergdokumentation kan generellt sakna den detaljnivå som krävs för moderna geotekniska analyser.

Laserskanning ger däremot:

- Hög punktdensitet.
- Verklig geometri.
- Möjlighet att identifiera småskaliga variationer.
- Detaljerad modellering av sprickor och oregelbundenheter.

Det är därför naturligt att laserskanningar ofta visar avvikelser jämfört med dokumentation från byggtiden.

Skillnader i mätosäkerhet

Äldre mätmetoder hade betydligt större osäkerheter än dagens instrument. Manuella metoder som teodolitmätning och avvägning gav ofta systematiska fel som inte upptäcktes förrän digitala metoder infördes¹⁸. Detta innebär att avvikelser mellan ritning och skanning inte nödvändigtvis är fel i ritningen, de kan vara en konsekvens av metodens begränsningar.

Skillnader i dokumentationskvalitet

RIDAS framhåller att dokumentationsnivån varierar mellan äldre dammar¹⁹. Vissa ritningar är detaljerade och välgjorda, medan andra är schematiska och saknar information om mätmetoder, toleranser och koordinatsystem. Detta påverkar direkt hur tillförlitlig en jämförelse kan vara.

Sammanfattande konsekvenser

Jämförelsen mellan laserskanning och äldre ritningar är ett kraftfullt verktyg, men kräver:

- Noggrann koordinathantering.
- Korrekt hantering av höjdsystem.
- Förståelse för historiska mätmetoder.

¹⁸ Lantmäteriet. HMK – GNSS baserad detaljmätning 2021. Gävle: Lantmäteriet, 2021.

¹⁹ Energiföretagen Sverige. RIDAS – Riktlinjer för dammsäkerhet. Stockholm: Energiföretagen Sverige, 2025.

- Analys av ritningarnas kvalitet.
- Bedömning av transformationens osäkerhet.

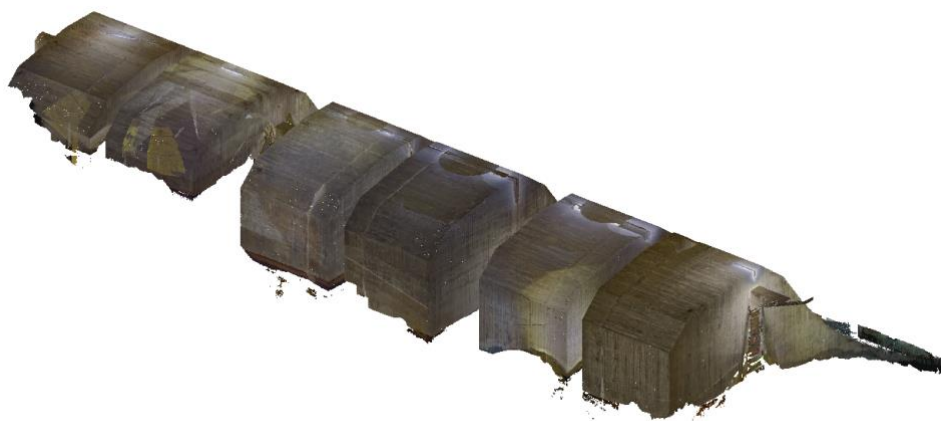
När dessa faktorer hanteras korrekt kan jämförelsen ge värdefulla insikter om dammens verkliga geometri och eventuella behov av förstärkningsåtgärder²⁰.

²⁰ Johansson, F. Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

3 Objekt för skanning

3.1 DAMM 1

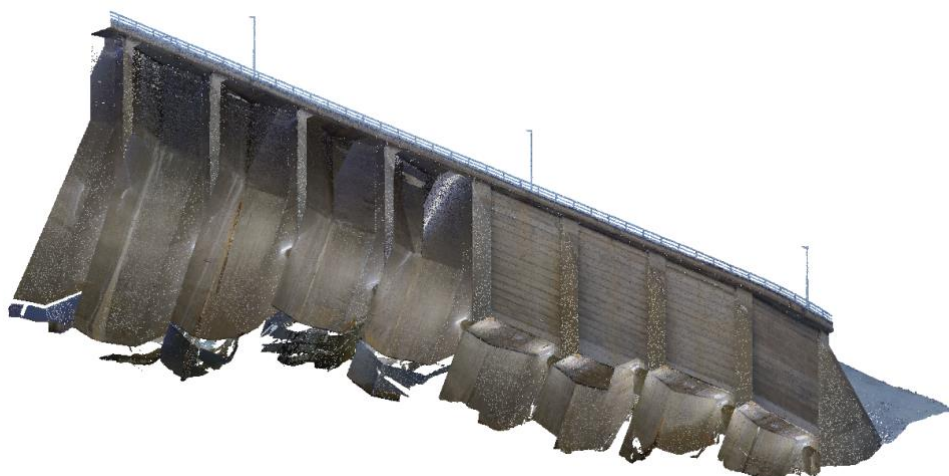
Damm 1 är en kraftstation belägen vid en av våra större älvar i norra Sverige. Anläggningen togs i drift i mitten av 1950-talet. För Damm 1 har inspektionsgången, under intaget laserskannats, se Figur 3-1.



Figur 3-1: Skärmlapp på inspektionsgången från skanningen av Damm 1. Källa: Norconsult (2026)

3.2 DAMM 2

Damm 2 är en kraftstation i samma älvsystem och togs i drift i slutet av 1950-talet. Jämfört med Damm 1 så har Damm 2 en högre fallhöjd och större betongdamm, och det är inspektionsgången under lamelldammen som skannats, se Figur 3-2.



Figur 3-2: Skärmlapp på inspektionsgången från skanningen av Damm 2. Källa: Norconsult (2026)

4 Genomförande

4.1 UTRUSTNING

Laserskanning

- Typ av laserskanner: Riegl VZ-600i.
- Noggrannhet: 5mm längdnoggrannhet med 3mm precision.
- Extern 360-kamera med HDR-färgsättning.
- Mjukvara för registrering och efterbearbetning: Riscan Pro 2.23.
- Typ av retroreflektorer: Rothbucher 145mm.



Figur 4-1: Riegl VZ-600i. Källa: www.riegl.com

Totalstation / GNSS

- Typ av totalstation: Topcon GT-1001.
- Typ av prismor: Miniprismor -16,9mm, cirkelprisma -40 och tvångcentrering Sokkia.
- Typ av GNSS: Topcon HiperHR.
- Typ av mjukvara: SBG GeoPad, SBG GEO 2026.

4.2 ETABLERING AV KOORDINATSYSTEM

Vid damm 1 etablerades utrustningen lokalt med kombination av retroreflektorer. Höjden utgår från en del av kraftstationens golvytor som utgångspunkt.

Vid damm 2 utfördes en stommätning på dammens krön och nedströmssida med en totalstation och ett satsmättningsprogram. Denna mätning kopplades mot dammens huvudfix och har utgjort höjden för projektet. På dammens krön etablerades magnetfästen, prismakrabbor och expanderbultar som prismor och GNSS-antenn kunde bytas emellan på. På dammens nedströmssida etablerades 6 st fixpunkter med god geometrisk spridning. Dessa utformades så att prismor och retroreflektorer var utbytbara, och har därefter utgjort referenspunkter för laserskanningens georeferering. Varje prisma i stomnätet har mätts in minst tre gånger genom tvångscentrering, där totalstation och prismor har skiftat plats mellan stationsparen. Detta förfarande har tillämpats för att minimera centreringsfel och uppnå ett högt kontrollbart nät.

GNSS-punkterna på dammens krön har utgjort positioneringen och orienteringen av dammen. Punkterna mättes in 3 gånger i 180-sekunder per gång.

På dammen finns kontrollpunkter i höjd som inkluderades och kunde verifieras mot.

Efter beräknat stomnät vid efterbehandlingen, beräknades enskild station mot nätet. Samtliga stationer hade 0,0,0 mm xyz i etablering, med en station som hade 1,1,1 mm xyz.

4.3 GENOMFÖRANDE I FÄLT

Vid damm 2 utgör sex stationer stommätningen, med tre stationer på dammkrönet och tre på nedströms sida. Samtliga stationer observerade på två prismor med tvångscentrering som stationen senare skiftade plats mot, samt mot 8 stycken miniprismor. Respektive station mättes med 4–6 helsatser för att minimera mätfel (ett sätta att kollimera bort instrumentets mätfel). Antalet helsatser anpassades under arbetets gång för att uppnå hög kontrollbarhet och säkerställa att spridningen (toleransen) mellan satserna förblev mycket liten.

Enligt uppdragsupplägget etablerades referenspunkterna intill dörranslutningar in i dammen. Dessa punkter utgör förutsättningarna för laserskanning som utförts utomhus och inuti dammkroppen med cloud-to-cloud, som innebär att överlappande geometri i punktmolnen används för att passa ihop mätningarna, vilket kompletterar de fysiska

referenspunkterna och säkerställer en sammanhängande modell av hela dammanläggningen.

Laserskannern monterades upp och ned vid en handfull stationer för att skanna berget vi begränsad tillgänglighet.

4.4 KVALITETSSÄKRING

Stommätningen utgör god förutsättning där det statistiskt har anpassats mot GNSS-punkterna vid nätutjämning i plan. Höjdmässigt observerar även det mest avlägsna prisma huvudfixen, vilket gör att kontrollbarheten blir höjdmässigt mycket god.

Laserskanningen georefererades oberoende mot några fixpunkter där slutningsfelet var marginellt (tecken på god geometri och registrering genom dammen), sedan användes referenspunkterna för att knyta och justera ihop alla stationer till ett homogent punktmoln mot stommätningens koordinater.

Avvikelserna mellan punktmoln och stommätning redovisas i meter som kvalitetstal i Tabell 4-1. De noterade max och min skillnaderna härrör främst från stationer där infallsvinkeln (träffbild) mot retroreflektorn varit ogynnsam.

Tabell 4-1: Avvikelse mellan laserskanningen registrering mot referenspunkterna.

	dX [m]	dY [m]	dZ [m]	dist. [m]
Minimum deviation	-0.0151	-0.0109	-0.0055	0.0017
Maximum deviation	0.0038	0.0075	0.0052	0.0187
Mean deviation	-0.0004	0.0004	0.0001	0.0049
Standard deviation	0.0038	0.0033	0.0026	---
Median abs. dev. (std)	0.0041	0.0029	0.0028	---

I Tabell 4-2 redovisas varje enskild observation från respektive skannstation. Tabellen visar avvikelserna i XYZ mellan skannat punktmoln och inmätt referenspunkt, angivet i meter. Detta är ett mått att redovisa hur mycket det framställda punktmolnet skiljer sig mot stommätningens koordinater.

Tabell 4-2: Stationsobservationer avvikelser mot referenspunkter

Referenced Observation Point					
dX [m]	dY [m]	dZ [m]			
-0.0031	-0.0011	-0.0010	0.0035	0.0004	-0.0018
0.0036	0.0075	-0.0008	-0.0009	-0.0008	-0.0014
0.0008	0.0022	0.0027	-0.0017	0.0043	-0.0010
-0.0019	0.0037	0.0041	0.0028	0.0018	-0.0004
-0.0151	-0.0109	0.0017	0.0029	-0.0004	-0.0006
-0.0027	0.0028	0.0049	0.0023	0.0020	-0.0002
-0.0032	0.0003	0.0018	0.0005	0.0001	0.0016
-0.0030	0.0015	0.0015	0.0018	-0.0030	-0.0019
-0.0032	0.0019	-0.0015	0.0031	-0.0026	-0.0024
-0.0022	0.0028	-0.0034	0.0033	-0.0021	-0.0029
-0.0011	0.0007	-0.0022	0.0029	0.0031	0.0038
-0.0001	-0.0006	0.0023	0.0038	0.0013	0.0010
-0.0010	-0.0013	0.0017	0.0001	-0.0030	0.0052
-0.0082	0.0018	-0.0055	-0.0009	-0.0050	0.0039
-0.0027	0.0028	-0.0031	0.0027	-0.0032	0.0007
-0.0018	0.0013	-0.0037	0.0031	-0.0012	-0.0000
			0.0037	0.0060	-0.0002

4.5 DATABEARBETNING

Laserskanningen registreras, rensas från brus (glest placerade punkter utanför fokusområdet) och glesas ut i 10 mm upplösning per punkt och exporteras till .las-format, vilket är ett standardiserat filformat för punktmolnsdata.

Punktmolnen bearbetas till rätt filformat via ReCap 2026 för att möjliggöra import till 3D-programmet Revit 2025. I programmet placerades sektioner vid de sektioner som skulle kontrolleras. Detta genererar en tydlig linje från skanningen som visar berg-, mark- och betongkonturer. Konturerna används därefter för att placera den aktuella ritningen på korrekt position i förhållande till betongkonturerna. Slutligen görs en konturöverföring där bergläget från skanningen ritas in på ritningen. Resultatet redovisas i kapitel 5.

5 Jämförelse laserskanning och ritning

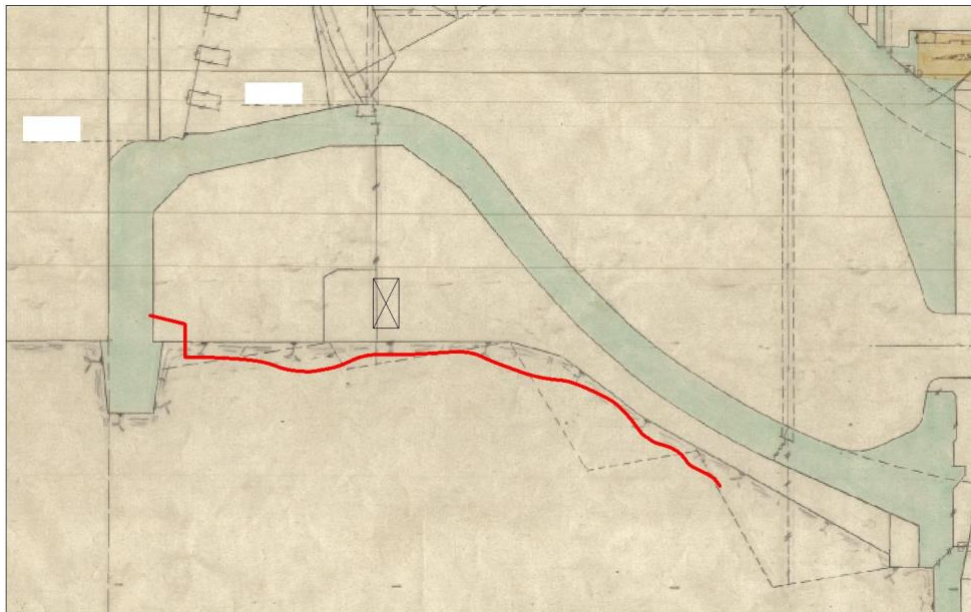
5.1 DAMM 1

För Damm 1 har inspektionsgången under intagen till kraftstationen laserskannats. Det är tre intag med en stödjande mittvägg under respektive intag, se tvärsektion Figur 5-4 för orientering.

Röd linje motsvarar bergkontur från skanning. Svart rektangel med kryss redovisar inspektionsgångens läge från laserskanning.

Sektion 1

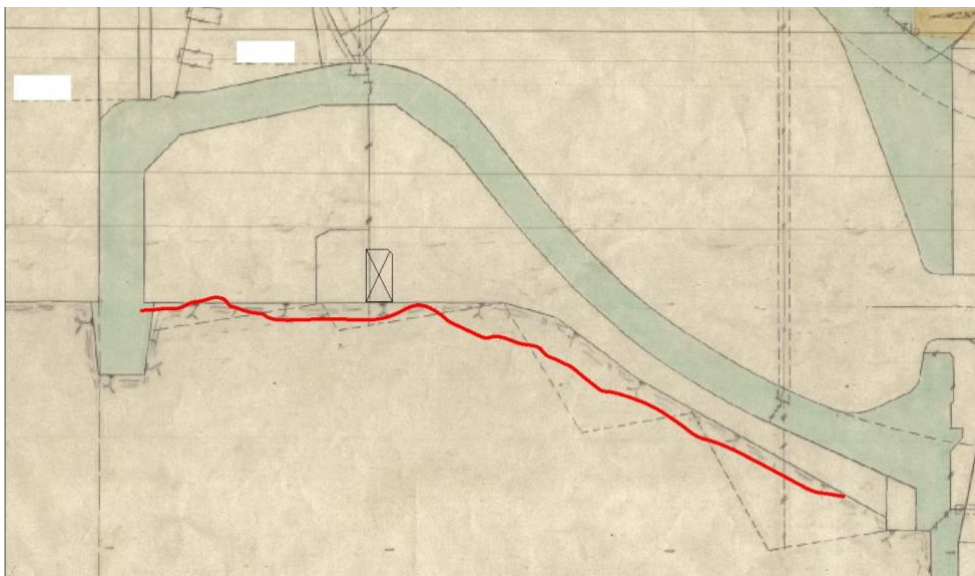
I Sektion 1, placerad intill pelare 4, Figur 5-1, framträder mindre differenser mellan ritning och skanning. Bergläget från skanning ligger cirka 0,5 m djupare än vad sektionen visar på ritning. Vi ser även kontur av ett betongfundament längst uppströms, som enligt uppgift har utförts vid ett senare skede.



Figur 5-1: Damm 1 – Pelare 4. Röd linje motsvarar bergkontur från skanning. Svart rektangel med kryss redovisar inspektionsgångens läge från laserskanning.

Sektion 2

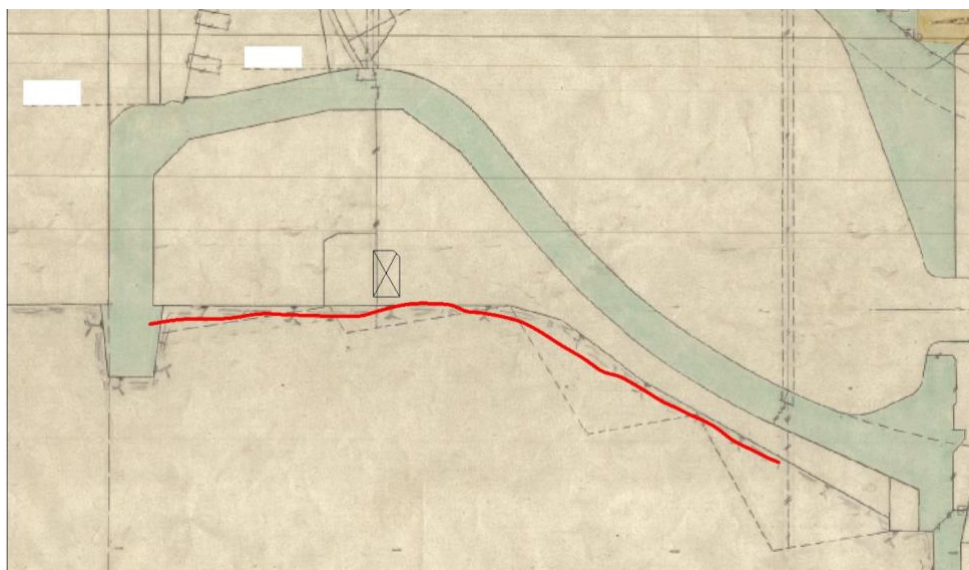
I Sektion 2 som är placerad intill pelare 5, Figur 5-2 ser vi mindre differenser, likt föregående sektion. Bergläget är cirka 0,4 m djupare vid inspektionsgången samt relativt plant med några enstaka förhöjningar.



Figur 5-2: Damm 1 - Pelare 5. Röd linje motsvarar bergkontur från skanning. Svart rektangel med kryss redovisar inspektionsgångens läge från laserskanning.

Sektion 3

I Figur 5-3 som är placerad vid pelare 6, ser vi det bergläge från skanning som stämmer mest överens med ritning där bergläget är cirka 0,3m djupare jämfört med ritning. Berget är plant utan några större förhöjningar.



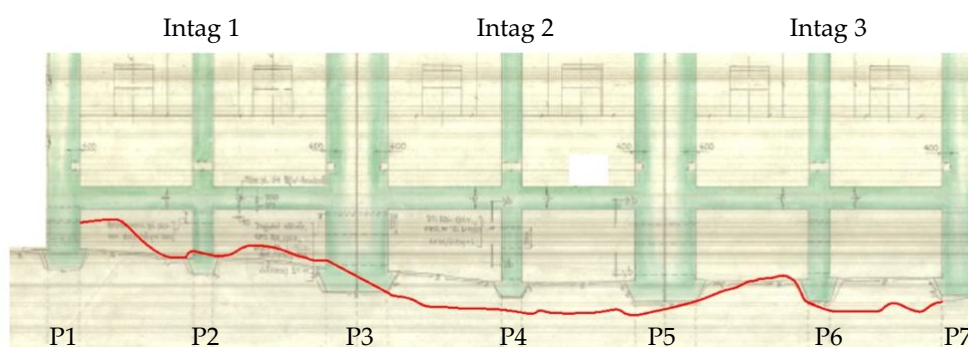
Figur 5-3: Damm 1 – Pelare 6. Röd linje motsvarar bergkontur från skanning. Svart rektangel med kryss redovisar inspektionsgångens läge från laserskanning.

Tvärsektion

Vid jämförelse av laserskanning mot tillhandahållen tvärsektion visar sig skillnader som inte observeras vid jämförelse mot längdsektionerna.

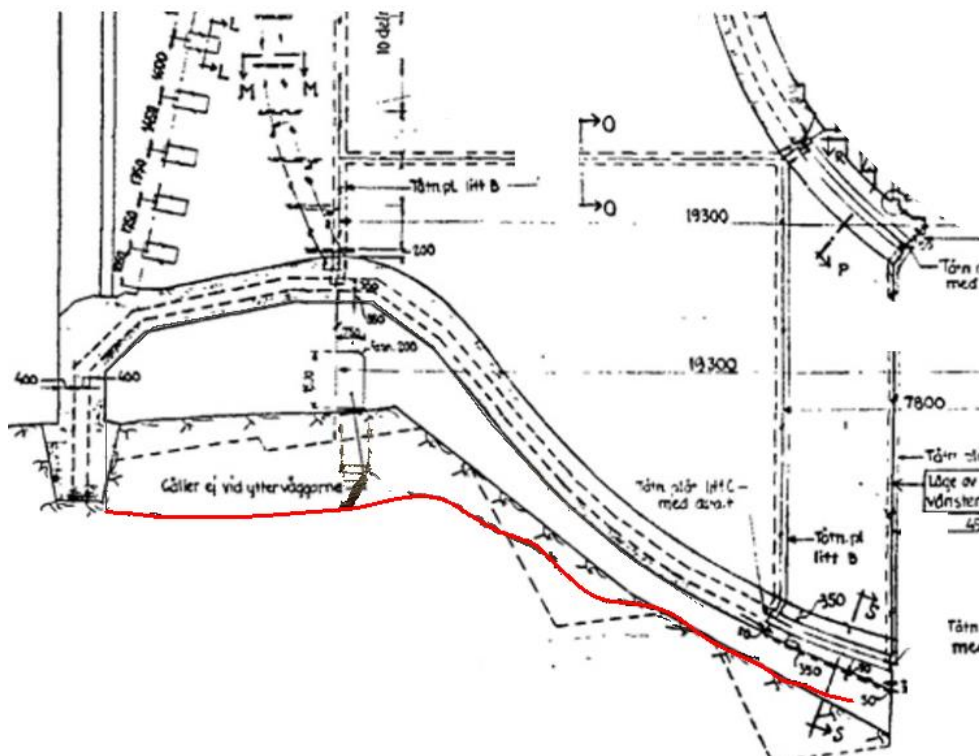
Tvärsektionen visar att berget lutar svagt från intag 1 ner mot intag 2 för att sedan fortsätta plant mot intag 3. Pelarnas grundläggning redovisas cirka 1,1 m högre upp på tvärsektionen jämfört med längdsektionen.

Laserskanningen visar däremot en kraftigare lutning ner mot intag 2 jämfört mot ritningen. Laserskanningen visar även att berget ligger cirka 1,6 m lägre vid intag 2 än vad ritningen visar.



Figur 5-4: Tvärsektion. Röd linje motsvarar bergkontur från skanning.

Sektion B-B, som enligt en planritning, är en sektion vid intag 2, placerad mellan P4 och P5, se Figur 5-4 för orientering. Vid jämförelse skiljer sig dels geometrin från Figur 5-1, där uppströmsdelen av betong är belägen cirka 2,1 m längre ner jämfört mot Figur 5-5. Det framträder även skillnader på cirka 2,6 m mellan bergläget från laserskanningen och angivet bergläge på ritning, se Figur 5-5.



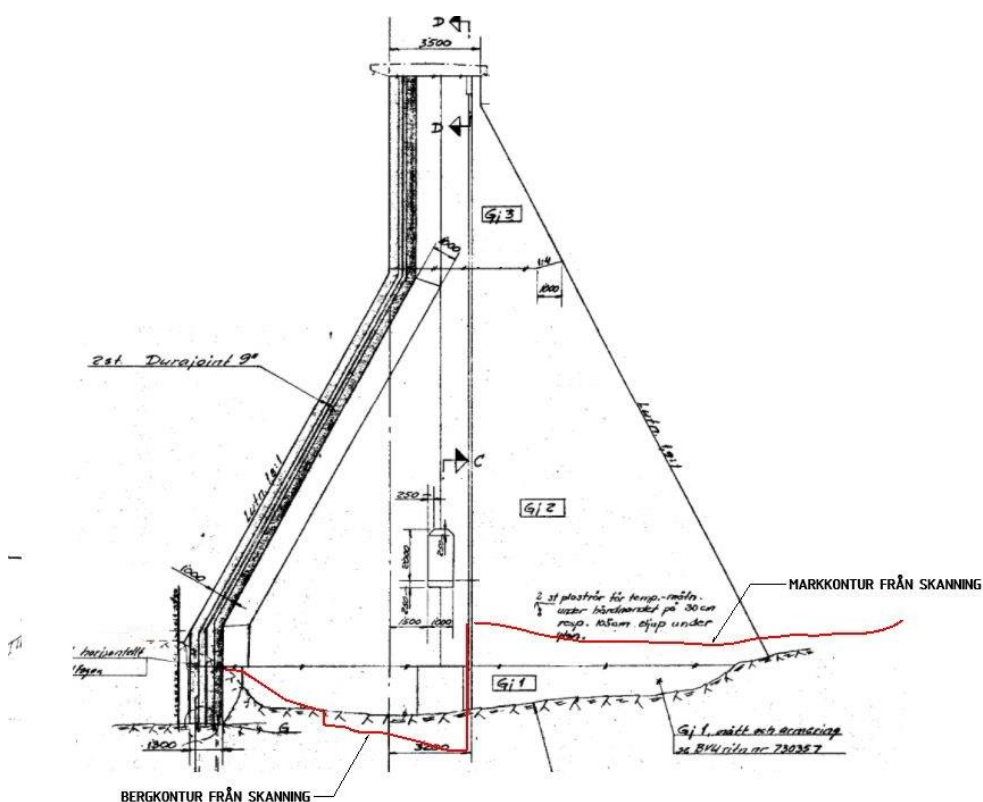
Figur 5-5: Sektion B-B – Intag 2. Röd linje motsvarar bergkontur från skanning.

[illegible]

27

Lamell 3

Vid sektion för Lamell 3, Figur 5-8, börjar både skanning och redovisad bergkontur från ritning på samma nivå för att sedan svagt falla innan linjerna möter varandra. Därefter visar skanningen på en djupare nivå än vad ritning visar och där berget fortsatt faller fram till klimatväggen där höjdskillnaden är ca 1,6m. Ritningen visar däremot att berget börjar stiga från mitten av inspektionsgångens läge.

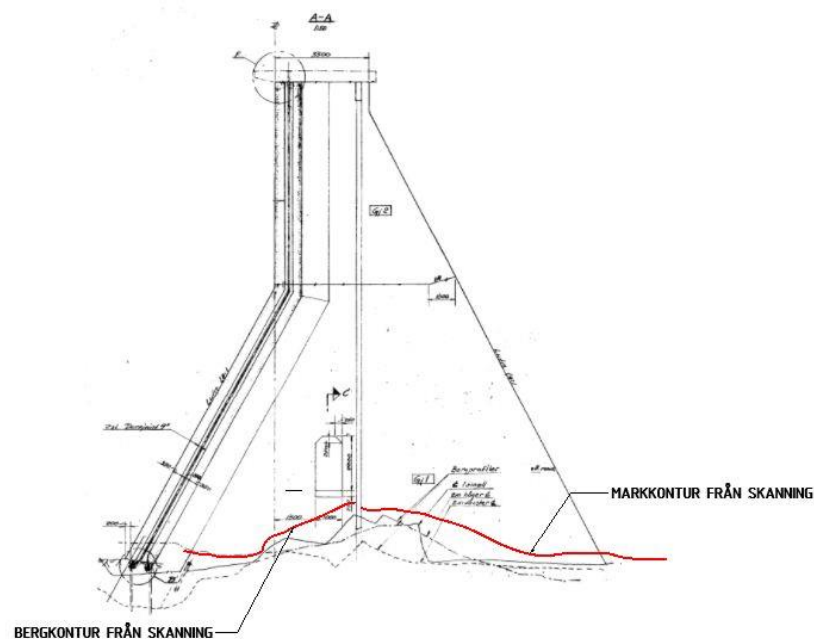


Figur 5-8: Damm 2 - Lamell 3. Röd linje motsvarar berg-/markkontur från skanning.

Lamell 7

Sektionen för lamell 7, Figur 5-9, anger på ritning "bergprofiler efter rensning" och tre linjer som motsvarar vänster sida, centrum samt höger sida. Viss likhet i bergprofil kan observeras, dock med en avvikelse i höjddled, där ritningen anger ett lägre bergläge än vad skanningen visar.

L7

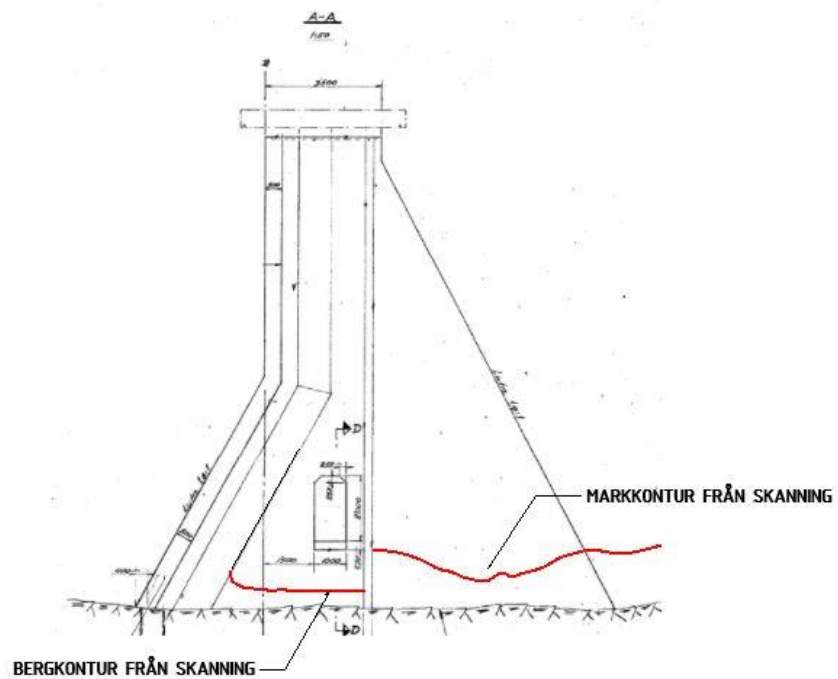


Figur 5-9: Damm 2 - Lamell 7. Röd linje motsvarar berg-/markkontur från skanning.

Lamell 10

Sektionen för lamell 10, Figur 5-10 har likt sektionen för lamell 7, Figur 5-9, likheter med bergprofil från ritning jämfört med skanning. Skanningen ligger däremot ca 0,5 m högre än ritning.

L10



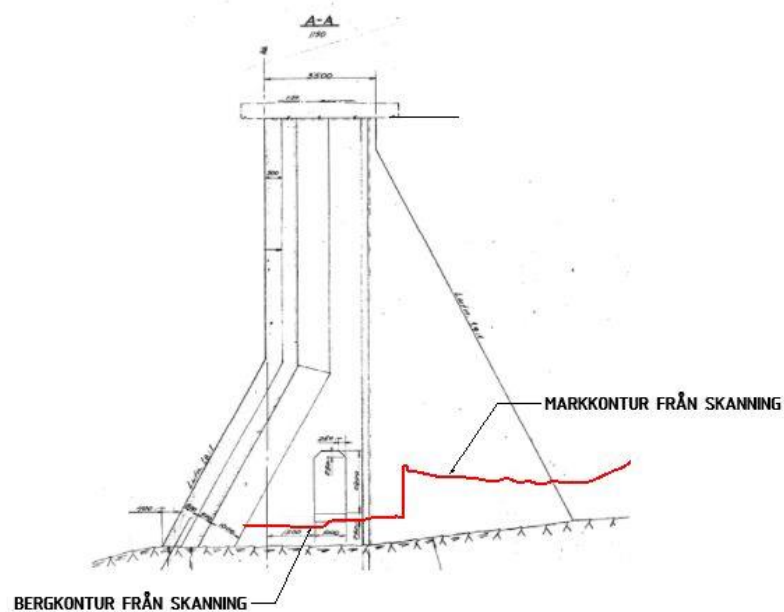
Figur 5-10: Damm 2 - Lamell 10. Röd linje motsvarar berg-/markkontur från skanning.

Lamell 11

Även sektionen för lamell 11, Figur 5-11, visar en bergprofil som stämmer överens med skanning men likt lamell 7 och 10 så visar skanningen att berget ligger högre, ca 0,7m.

Vid lamell 11 finns en trapp för nedstigning, varpå bergläget nedströms klimatväggen även visas på sektionen.

L11



Figur 5-11: Damm 2 - Lamell 11. Röd linje motsvarar berg-/markkontur från skanning.

6 Slutsats

I de två inmätningar av verklig bergyta som har utförts inom ramen för denna rapport visar båda på avvikelser från de tillhandahållna underlagen från byggskedet. Författarnas erfarenhet är att en laserskanning ofta visar en annan bild än vad ursprungliga ritningar visar av en konstruktion.

Det rekommenderas således att utföra en inmätning på anläggningar inför en stabilitetsutredning. En inmätning av en anläggning ger inte bara en värdefull bild av bergläget, men också en bekräftelse av konstruktionernas riktighet i relation till handlingar. Det är avgörande att stabilitetsberäkningar baseras på korrekta och tillförlitliga underlag för att möjliggöra en rättvisande och robust bedömning av resultaten. Resultatet blir därmed inte lika osäkert som när det baseras enbart på äldre underlag från byggtiden.

Att mäta in en verklig bergyta med laserskanning ger därmed inte enbart ett bra underlag för stabilitetsutredningar, men också för eventuella kommande åtgärder som rör konstruktionerna.

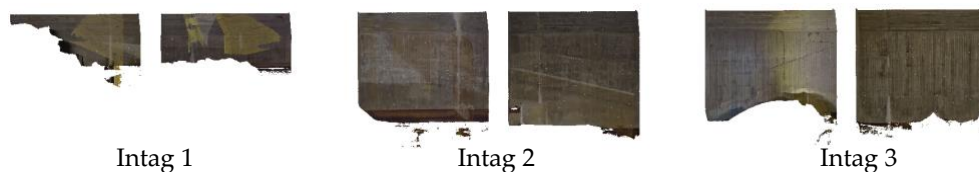
En jämförelse mellan skanning och ritning bör dock genomföras med försiktighet. En skanning gör inte skillnad på om ytan är betong, jord, grus eller berg. Fotodokumentation är en viktig del i att komplettera en skanning om inte möjligheter att vara med under fältarbetet finns.

Damm 1

Jämförelsen mellan Damm 1 och skanning visar på flera avvikelser. Det vänstra utskovet vilar på ett lokalt uppstickande bergparti som intaget gjutits ovanpå. Vid ett uppströmssnitt i skanningen, Figur 6-1, framträder skillnaderna tydligare.

Figuren visar hur bergytan ligger högre vid det intag 1, faller ner mot intag 2 för att sedan löpa relativt plant mot intag 3. Vid det högra intaget framträder ett uppstickande bergparti vid uppströmskanten.

Figur 5-4 visar att berget faller ner mot intag 2, men laserskanningen visar att lutningen är kraftigare än vad ritningen anger samt att berget ligger högre upp vid intag 1.



Figur 6-1: Skämklipp på sektion uppströms intagen vid Damm 1 från skanning. Källa: Norconsult (2026)

Det finns även variationer på bergläget i ritningsunderlaget, vilket förstärks när bergläget från ritning jämförs mot bergläget från laserskanning. Bergläget som anges för intag 2 på sektion B-B, Figur 5-5, stämmer mer överens med intag 1 än för intag 2, där snittet enligt ritning är placerat.

Damm 2

Jämförelsen mellan Damm 2 och skanningen visar även den på avvikelser. Berglägets höjd varierar längs med dammen, vilket också ritningsunderlaget visar. Det finns text på en ritning som anger "uppmätt efter rensning" varpå det förutsätts att en uppmätning har skett och förts in på ritning, antingen som revidering på bygghandling eller till relationshandling.

Då bergläget varierar längs med dammlinjen är det inte helt orimligt att anta att inmätningen inte utfördes exakt där respektive lamell slutligen blev placerad. Dåtidens begränsningar samt uppföljning av bergläget efter byggets färdigställande kan vara en faktor till avvikelserna.

När texten "bergkontur enligt uppmätning" framträder på en ritning, ger det ett intryck av att redovisat bergläge är helt korrekt och tillförlitligt. Men skanningen visar att när en damm i slutet av 1950-talet uppvisar skillnader finns det utrymme för att ifrågasätta redovisade bergprofiler, även på ritningar med text "enligt uppmätning".



Figur 6-2: Skämklipp på sektion uppströms Damm 2 från skanning. Källa: Norconsult (2026)

7 Referenser

Energiföretagen Sverige. *RIDAS – Riktlinjer för dammsäkerhet*. Stockholm: Energiföretagen Sverige, 2025.

Johansson, F. *Stabilitetsanalyser av stora konstruktioner grundlagda på berg*. BeFo Rapport 74. Stockholm: BeFo, 2006.

Lantmäteriet. *HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021*. Gävle: Lantmäteriet, 2021.

Lantmäteriet. *HMK – Terrester laserskanning 2021*. Gävle: Lantmäteriet, 2021.

Lantmäteriet. *SWEREF 99 – Det nationella referenssystemet*. Tillgänglig via: <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Tredimensionella-system/SWEREF-99/>

S. Bergqvist, P. Lund och P.-E. Söder. *Kartläggning av bergförstärkningsmetoder i vattenkraftindustrins berganläggningar*. Rapport 2022:909 Stockholm: Energiforsk, 2022.

SMHI. *Förteckning över Sveriges vattenfall*. Tillgänglig via: <https://www.smhi.se/publikationer-fran-smhi/sok-publikationer/1911-01-04-forteckning-over-sveriges-vattenfall>

ERFARENHETER FRÅN RELATIONSINMÄTNING AV NÅGRA BETONGDAMMARS GRUNDLÄGGNINGSYTA

Den här rapporten jämför avvikelser som kan finnas mellan äldre handlingar och verkligt utförande med hjälp av laserskanning. Inför stabilitetsberäkningar nyttjas ofta äldre handlingar och bedömningar görs utifrån den geometrin som aktuell handling beskriver.

Rapporten visar att historiska inmätningar inte alltid utfördes korrekt varpå en laserskanning ger en viktig verifikation av aktuellt bergläge. Genom att utföra stabilitetsberäkningar med korrekt underlag kan mer säkra beräkningar utföras och leder i sin tur till mer kostnadseffektiva åtgärder i de fall det behövs.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.



Energiforsk