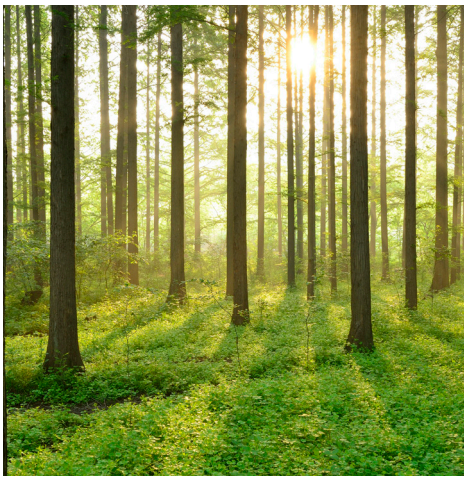
STENMURVERKSDAMMAR – UPPBYGGNAD, GRUNDLÄGGNING OCH POTENTIELLA FELMODER

RAPPORT 2021:832



DAMMSÄKERHET

Energiforsk

Stenmurverksdammar - Uppbyggnad, grundläggning och potentiella felmoder

ANDERS ENQVIST
MARIE WESTBERG WILDE

ISBN 978-91-7673-832-0 | © Energiforsk dec 2021

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

Förord

I denna rapport har information om uppbyggnad och funktion av stenmurverksdammar sammanställts. Rapporten kan användas som underlag vid dammsäkerhetsarbeten och förvaltning av stenmurverksdammar.

Projektet har genomförts av AFRY med Anders Enqvist och Marie Westberg Wilde som utförare. Projektets referensgrupp har bestått av Andreas Rick (Uniper), Linda Ormann (Fortum), Johanna Feldtman (Statkraft), Mats Persson (Vattenfall) och Daniel Sjöstedt (Skellefteå kraft).

Författarna till rapporten vill tacka Åke Engström och referensgruppen som bidragit med underlag, goda råd och synpunkter på arbetet.

Projektet har genomförts inom Energiforsks dammsäkerhetstekniska utvecklingsprogram med medverkan från industrin och Svenska kraftnät. Författarna ansvarar för rapportens innehåll.

Sammanfattning

Stenmurverksdammar är relativt vanligt förekommande i Sverige. Deras uppbyggnad och grundläggning är ofta okänd och bedömning av dammarnas säkerhet är därför komplicerad att göra. Syftet med detta arbete är att underlätta förvaltningen av stenmurverksdammar och att ge underlag för framtida dammsäkerhetsarbeten genom att öka kunskap och förståelse för uppbyggnad och funktion hos denna typ av dammar.

Projektet har inkluderat en avgränsad arkivgenomgång med efterföljande beskrivning av olika typer av stenmurverksdammar samt grundläggningsmetoder. Utifrån dammarnas konstruktion, grundläggning och beståndsdelar har potentiella felmoder identifierats. Rapporten avslutar med en översiktlig beskrivning av undersöknings- och övervakningsmetoder som bedömts lämpliga utifrån dammkonstruktionen och dess potentiella felmoder. Rapporten ska ses som en första ansats till att sammanställa underlag om stenmurverksdammar.

Av bakgrundsarbetet har det framkommit ett flertal olika typer av stenmurverksdammar och grundläggningsmetoder. Dessa skiljer sig relativt mycket åt konstruktionsmässigt. Av underlaget kan det konstateras att det fanns en god kunskap om problematiken kring uppbyggnad och förvaltning av dammar lång tid tillbaka.

Övergripande är de potentiella felmoderna likartade med dem som finns för betongdammar och fyllningsdammar, men de är också beroende av hur dammen är utformad. Vissa stenmurverksdammar kan i stort sett analyseras som en betongdamm, medan andra beter sig mer som en fyllningsdamm och andra är ett mellanting. Beständighet kopplar till felmoder både för täthet och stabilitet.

I nuläget finns ingen tydlig riktlinje i RIDAS för hur stabilitet ska analyseras för stenmurverksdammar, annat än för de som fungerar som en betongdamm. Stenmurverksdammar kan ha en bättre förmåga än betongdammar att omfördela laster, samtidigt som de också kan vara mer känsliga för koncentrerade laster. Vid stabilitetsanalyser enligt riktlinjer för betongdammar kommer stenmurverksdammar i många fall beaktas ha otillräcklig stabilitet.

Eftersom de potentiella felmoderna kopplar till konstruktion och grundläggning är det viktigt att säkerställa dammens uppbyggnad för att kunna bedöma vilka av dem som är relevanta. Hur dammen påverkas av olika nedbrytningsmekanismer och nedsatt täthet samt hur den fungerar statiskt beror på hur den är utformad. Kontinuerligt underhåll är centralt för att säkerställa dammens funktion över tid.

Konventionella och inarbetade undersöknings- och övervakningsmetoder för fyllnings- och betongdammar bedöms kunna användas även för stenmur-verksdammar. Rörelsemätning och läckagemätning bedöms vara de övervakningsmetoder som primärt bör användas.

Nyckelord: Stenmurverksdamm, murverksdamm, murdamm, stendamm, skalmursdamm, bruksdamm, rustbädd

Summary

Masonry dams are relatively common in Sweden. Structure and foundation design is often unknown and the dam safety assessment is therefore complicated. The purpose of this project is to facilitate management of masonry dams and provide information for future dam safety work by increasing knowledge and understanding of the structural composition and function of this type of dams.

The project has consisted of a limited survey of literature and archives in order to describe different types of masonry dams and foundation techniques. Based on the structural composition, foundation and material of the dam, potential failure modes has been identified. Finally an overview of investigation methods and surveillance methods that may be appropriate depending on the structure of the dam and failure modes is given. The report should be regarded as a first attempt to compile data of masonry dams.

From the survey several different types of masonry dams and foundation techniques were identified. The difference in structural composition is large between different types. It has also been noted that already in the 18th century there was good knowledge of problems related to design, foundation engineering and maintenance.

The potential failure modes are similar to those for concrete and embankment dams, but they differ depending on how the dam is built and constructed. Some masonry dams can be analyzed as a concrete dams, while others behave like embankment dams and some behave like a mixture of the two. Failure modes relate to water tightness, stability and durability.

Today there is no clear guideline in RIDAS on how to analyze stability of masonry dams, unless they function similar to a concrete dam. The ability to redistribute loads can be expected to be better for masonry dams than for concrete dams, but masonry dams are more sensitive to concentrated loads. When stability of masonry dams is analyzed in a similar manner as for concrete dams, the stability will often be lower than recommended.

In order to determine which potential failure modes are relevant, it is important to determine the structural composition and foundation type. The effect of different deterioration mechanisms, reduced water tightness and the static behavior is dependent on the design. Continuous maintenance is necessary to ensure the function of the dam over time.

Conventional and well known methods for concrete and embankment dams can be used for investigation and surveillance for masonry dams. Monitoring of movement and monitoring of leakage are considered the most appropriate surveillance methods.

Innehåll

1 Inledning 8

1.1 Syfte 8

1.2 Metodik 8

1.3 Innehåll 9

1.4 Omfattning och avgränsningar 9

2 Nomenklatur 11

3 Stenmurverksdammar 17

3.1 Allmänt 17

3.2 Uppbyggnad 19

3.2.1 Murdammar med sten i bruk 20

3.2.2 Murdammar med tätande uppströmssida och dränerande dammkropp 21

3.2.3 Damm bestående av dubbelsidig mur med central tätning 28

3.3 Grundläggning 32

3.3.1 Jordgrundläggning 33

3.3.2 Berggrundläggning 35

3.3.3 Rustbädd 37

3.4 Beståndsdelar 38

3.4.1 Mursten 39

3.4.2 Brukstyper 40

3.4.3 Tätjord 43

3.4.4 Behovet av underhåll 43

4 Potentiella felmoder 44

4.1 Allmänt 44

4.2 Täthet 45

4.2.1 Orsaker till bristande täthet i dammkroppen 45

4.2.2 Felmoder kopplade till bristande täthet i dammkroppen 45

4.2.3 Orsaker till bristande täthet i grundläggningen 46

4.2.4 Felmoder kopplade till bristande täthet i grundläggning 46

4.2.5 Sammanställning av orsaker till bristande täthet och möjlig påverkan på stenmurverksdammar beroende på uppbyggnad 47

4.3 Stabilitet 49

4.3.1 Historisk tillbakablick 49

4.3.2 Rekommendationer enligt NVE och diskussioner kring dessa 49

4.3.3 Stabilitet för stödmurskonstruktioner 53

4.3.4 Laster som påverkar stenmurverksdammar 56

4.3.5 Felmoder relaterat till stabilitet av stenmurverk 56

4.3.6 Felmoder kopplade till stabilitet i grundläggning 58

4.4 Beständighet 59

4.4.1 Felaktigt utförande av bruk 59
4.4.2 Igensatta dränage 60
4.4.3 Frostskador 60
4.4.4 Urlakning 60
4.4.5 Yttre erosion 61
4.4.6 Islast 61
4.4.7 Tjäle 61
4.4.8 Träd på dammen 62
4.4.9 Vittring och uppsprickning 62
4.4.10 Rötskador 62
4.4.11 Förmultning 62
4.4.12 Förändring av grundvattenytan 63
4.4.13 Orsaker till bristande beständighet hos dammkroppen 63
4.4.14 Felmoder kopplade till bristande beständighet hos dammkroppen 64
4.4.15 Orsaker till bristande beständighet hos grundläggningen 64
4.4.16 Felmoder kopplade till bristande beständighet i grundläggningen 65
4.4.17 Sammanställning av orsaker till bristande beständighet och möjlig påverkan på stenmurverksdammar beroende på uppbyggnad 65

5 Undersökningsmetoder 67
5.1 Okulär kontroll 67
5.2 Undervattensinspektion 68
5.3 Provgropsgrävning 68
5.4 Provtagning 69
5.5 Borrning 69
5.6 Geofysiska mätmetoder 69

6 Övervakningsmetoder 70
6.1 Okulär kontroll 70
6.2 Undervattensinspektion 71
6.3 Rörelsemätning (deformationsmätning) 71
6.4 Läckagemätning 72
6.5 Portrycksmätning 72
6.6 Tilläggsmätningar 72

7 Diskussion och slutsatser 73

8 Rekommendationer 75

9 Referenser 76

Bilaga 1. Exempel på stenmurverksdammar.

Bilaga 2. Uppbyggnad och felmoder för stödmurar.

1 Inledning

Det finns många stenmurverksdammar i Sverige. Deras uppbyggnad och grundläggning är ofta okänd och bedömning av dammarnas säkerhet är därför komplicerad att göra. Denna rapport syftar till att sammanställa information om uppbyggnadssätt och grundläggningsmetoder, samt att definiera potentiella felmoder och ge översiktlig information om olika undersöknings- och övervakningsmetoder. Arbetet har baserats på underlag från dammägare samt litteraturgenomgång.

Stenmurverksammar är relativt vanligt förekommande i Sverige. De ingår ofta i mindre anläggningar och ägs inte sällan av dammägare med begränsade kunskaper inom dammbyggnadsteknik. Många av stenmurverksdammarna har vid konsekvensutredning hänförts till en dammsäkerhetsklass enligt Miljöbalken. Detta innebär att dammägaren ska ha ett säkerhetsledningssystem, att helhetsbedömning av dammens säkerhet ska göras, samt att dammägaren årligen ska skicka en dammsäkerhetsrapport till länsstyrelsen med information om egenkontroll, åtgärdsbehov/planerade åtgärder, samt väsentliga händelser.

Vanligt förekommande avvikelser i samband med tillståndskontroller på stenmurverksdammar är läckage, bristfälliga fogar, förflyttningar av murstenar, mosspåväxt, träd som växt på eller nära dammen, etc. Information om stenmurverksdammarnas konstruktion och grundläggning är ofta är sparsam, samtidigt som nuvarande tillämpningsvägledning är kortfattad (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019). Detta gör att avvikelsernas påverkan på dammsäkerheten emellanåt är svår att bedöma. Ofta är det nödvändigt att göra mycket konservativa antaganden vilket kan resultera i ett stort åtgärdsbehov. Bristen på information gör det även svårt att göra rätt val kring åtgärder och kan innebära att kostsamma undersökningar blir nödvändiga. Samtidigt har många stenmurverksdammar uppfyllt sin dämmande funktion under lång tid. Med goda kunskaper om deras uppbyggnadssätt och funktion torde det därmed vara möjligt att inrikta underhållsinsatser och åtgärder så att de även fortsättningsvis kan fungera som avsett.

1.1 SYFTE

Syftet med detta arbete är att underlätta förvaltningen av stenmurverksdammar och att ge underlag för framtida dammsäkerhetsarbeten genom att öka kunskap och förståelse för uppbyggnad och funktion hos denna typ av dammar.

1.2 METODIK

Rapporten bygger på genomgång av underlag, sammanställning av underlag och diskussioner inom projektgruppen.

Underlag har inhämtats genom att ett antal dammägare bidragit med material och exempel. Ägarna till de exempel som redovisas i rapporten har givit godkännande.

Underlag har också inhämtats från litteratur och diverse söktjänster med digitaliserat material. Bland det digitaliserade materialet har ingått äldre handlingar med tydliga beskrivningar av hur specifika dammar konstruerats samt också någon generell handling med beskrivningar av olika dammtyper.

Begränsad genomgång har även gjorts av material med koppling till stenmurverk så som stenmurar, murverkshus och stödmurar av stenmurverk.

För arbetet med potentiella felmoder har författarna diskuterat utifrån dammarnas dämmande funktion och identifierat felmoder avseende täthet, stabilitet och beständighet för ingående material.

Utifrån de identifierade felmoderna har författarna gjort en bedömning av lämpliga tillvägagångssätt för att undersöka stenmurverksdammar samt också vilka metoder som kan vara lämpliga för att övervaka stenmurverksdammar.

1.3 INNEHÅLL

Rapporten innehåller följande delar:

Nomenklatur. Här görs ett försök att definiera viktiga ord och begrepp kopplade till stenmurverksdammar. Förklaringar på ord är hämtade från ett flertal referenser.

Stenmurverksdammar. Här ges beskrivningar av uppbyggnad av stenmurverksdammar, grundläggning samt beståndsdelar.

Potentiella felmoder. Här görs ett försök att definiera de felmoder som stenmurverksdammar av olika typ kan uppvisa.

Undersökningsmetoder. Här beskrivs övergripande hur undersökningar av stenmurverksdammar kan göras för att definiera deras uppbyggnad.

Övervakningsmetoder. Här beskrivs övergripande olika övervakningsmetoder som kan vara lämpliga för olika typer av stenmurverksdammar.

Bilaga 1. Exempel på olika dammtyper. Här visas exempel på många av de uppbyggnadssätt som beskrivs i rapporten.

Bilaga 2. Kortfattad beskrivning av stödmurar av stenmurverk. Här beskrivs uppbyggnadssätt och felmoder för stödmurar, något som sedan används i beskrivning av potentiella felmoder.

1.4 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR

Rapporten är baserad på det underlag som har kunnat insamlas inom ramen för projektet. Arkivgenomgången har varit begränsad och det finns troligen mycket mer material i olika arkiv, internationella handlingar, samt litteratur och rapporter som ej kunnat genomsökas. Sannolikt finns också material hos dammägare som ej blivit tillfrågade alternativt inte har kunnat delge information.

Det finns därmed risk att visst underlag ges för stor betydelse i rapporten samt att relevant underlag ej framkommit. Det kan således finnas andra typer av konstruktioner eller lokala anpassningar som är intressanta och relevanta för

ämnet, men som ej beskrivits. Vidare noteras att delar av underlaget är skrivet på svårläst gammalsvenska och att misstolkningar därför inte kan uteslutas. Även i material skrivet på norska och engelska finns risk för misstolkningar.

Rapporten ska inte ses som en komplett sammanställning utan som en första ansats i att sammanställa underlag för stenmurverksdammarnas uppbyggnad, grundläggning och beståndsdelar samt också ett inledande arbete med att diskutera potentiella felmoder, undersöknings- och övervakningsmetoder.

Mycket begränsat underlag har noterats/identifierats om bakomliggande orsaker till stenmurverksdammars haveri. Rapporten beskriver således ej sannolikhet för haveri eller statistik kopplat till potentiella felmoder.

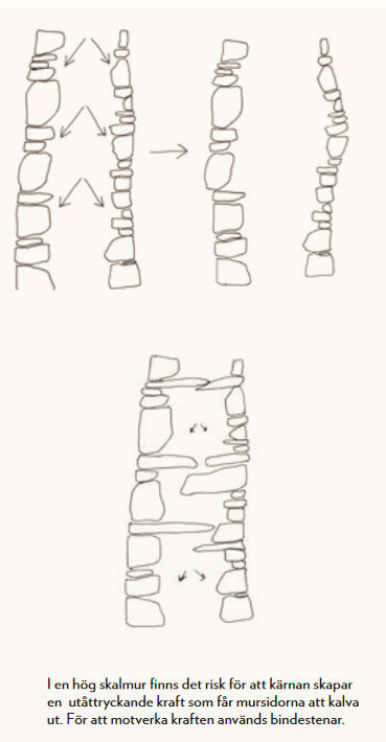
Inom projektet har inga fältarbeten eller faktiska försök utförts.

Inom projektet ingår inte stensatta betongdammar eller stensatta sumpar eller ledmurar. Begränsat fokus har lagts på utskovsdammar med pelare av stenmurverk.

2 Nomenklatur

Vid underlagsgenomgången har ett flertal ord och benämningar identifierats som ej är vanligt förekommande i dagens litteratur och riktlinjer. I syfte att förenkla för läsaren har därför denna nomenklatur upprättats. Nomenklaturen gör inget anspråk på att vara fullständig, men vanligt förekommande ord och benämningar har inkluderats. Många äldre benämningar förekommer och i syfte att ge läsaren tolkningshjälp har nyare referenser inkluderats där så varit möjligt. I vissa fall inkluderas även författarnas tolkning, vilket då framgår i kursiv text.

Bindesten – Bindestenarna går antingen rakt igenom muren och skapar kontakt mellan de två murarna alternativt binder bindestenarna ihop med murkärnan (Figur 2.1). Bindestenarna motverkar kärnans utåt-tryckande kraft som kan leda till att muren kalvar ut. Bindestenar är särskilt viktiga för höga skalmurar. I en mur som ska tåla rörelser bör det finnas många bindestenar (Lilja, 2015).



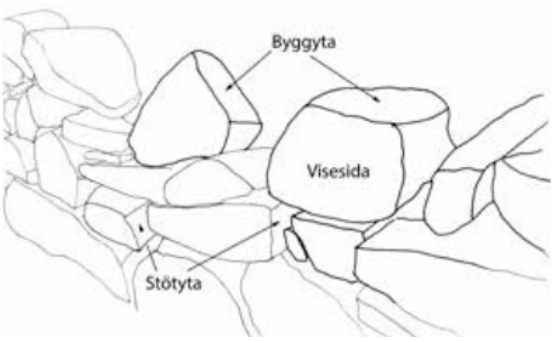
Figur 2.1 Exempel på bindestenarnas funktion (Lilja, 2015).

Bruksmur – Bruksmurar avser naturstensmurar där stenarna är sammanfogade med bruk, vanligtvis av kalkbruk. Stenarna bestod vanligtvis av gnejs eller granit, men även sandsten och kalksten förekom. Bruksmurar utgörs ofta av blandmurar, då man använde det som fanns tillgängligt. Bruksmurar är således ofta uppförda med en blandning av tegel och natursten (Humble, 1990).

Bränntorv – (*äldre benämning: Bränn-torf*) Torv som brinner bra och vanligtvis användes för eldning eller kolning, men också som tätning i dammar. Torven togs

upp i skivor om ca 1 kvadratfot och ca 4-5 tums tjocklek. Torven fick sedan ej torka för att behålla sina tätande egenskaper (Dalman, 1764).

Byggyta – Den ytan av murstenen som utsätts för last ovanifrån, se Figur 2.2 (Lilja, 2015).



Figur 2.2 Stötyta, byggyta och visesida av ett stenmurverk (Lilja, 2015)

Cement – Cementum, betyder sådant murbruk, som hårdnar under vatten och nyttjas til vattutäta cisterner, källarhvalf, slussbyggnader, med mera (Rinman, 1788). *Med cement avsågs ett hydrauliskt bindemedel som användes i den vattentätande delen av murverket.* Observera att dagens definition av cement är en annan.

Dammspik – Spik av mycket grova dimensioner (13-18 tums längd) (Svenska Akademien, 1893).

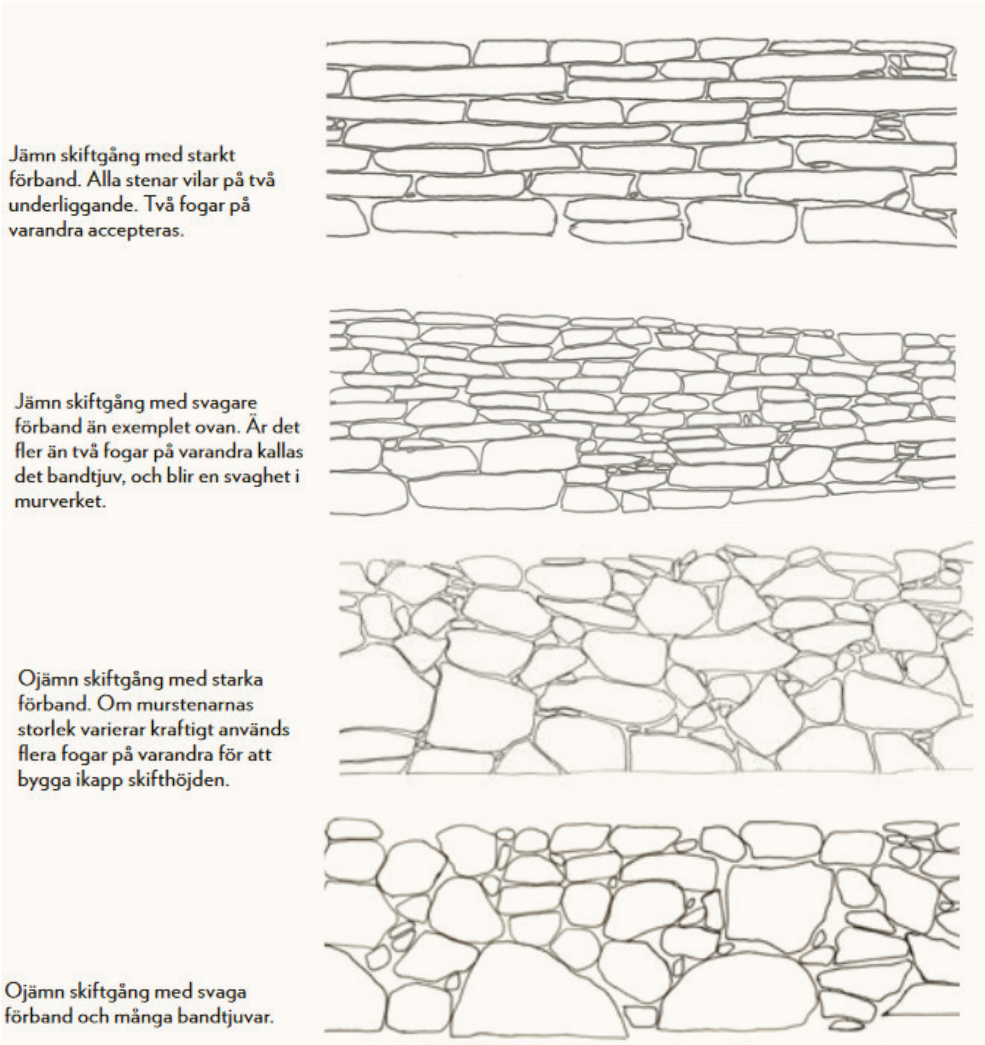
Dymling – eller dymmel. En träplugg som används för att sammanfoga material, ex trästycken. Användes emellanåt också för benämning av järndubb som sammanfogade ex. stenar (Svenska Akademien, 1893).

Dyartad torv (Svenska Akademien, 1893).

Fog – Med fog avses det mellanrum som finns mellan murstenarna. Fogarna kan vara öppna (sakna fogfyllning) eller bestå av fogfyllning så som bruk (kalkbruk, cementbruk m.m).

Fullmur – Fullmurar bestående av genomgående tegelsten och bruk utfördes från 1650-talet och framåt (Humble, 1990).

Förband – Murstenarna muras i förband (omlott) för att få muren stark och hållbar. Syftet med förbanden är att fördela vikten i murverket på så stor yta som möjligt, låsa fast alla stenar genom det tryck som bildas och att fördela rörelser så att inte enskilda stenar eller delar av muren rör sig (Lilja, 2015).



Figur 2.3 Ojämn och jämn skiffergång med svaga och starka förband (Lilja, 2015).

Hålldamm - Damm som är byggd för uppdämning av ett vattendrag med avsikten att hålla kvar och vid behov släppa fram vattnet (Svenska Akademien, 1893).

Jäslera – finkornig och leraktig jordart som kvarhåller så mycket vatten att den vid tjälning starkt sväller och vid upptinande bildar en halvflytande massa (Svenska Akademien, 1893). Motsvarar dagens benämning av jordarten silt (Beskow, 1951).

Kallmur – En kallmur består av natursten som saknar bruk i fogarna. Stenarna är travade på varandra i någon form av förband. Stenarna kan ha naturlig form eller vara tuktade (kanthuggna). Kallmurar har ofta använts under och en bit ovanför grundvattenytan, vilket förhindrat kapillär uppsugning av vatten genom bruk (Humble, 1990).

Kilstenar – har funktionen att låsa en mur. Kilarna sätts i bakkant på murstenen och syns ej utifrån. Efter kilningen ska murstenen ej rubbas vid belastning ovanifrån. Andra vanliga benämningar är skol, lus, flis och skärv (Lilja, 2015).

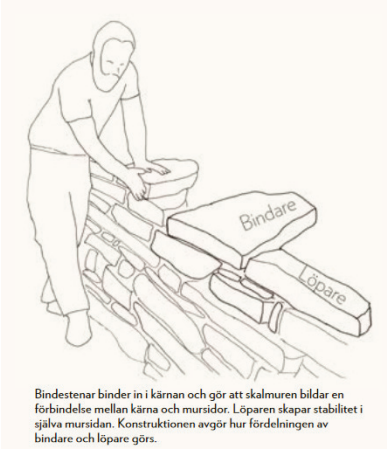
Klappersten – mindre stenar som avrundats genom erosion/nötning i vatten. Förekommer ex. vid kuster, flodstränder, sjöbottnar och rullstensåsar (Svenska Akademien, 1893).

Kramla –Vinkelkramla är ett järn böjt i två räta vinklar som används för att sammanfoga bjälkar eller att sammanhålla stenar i skikt m.m. (Svenska Akademien, 1893).

Liggyta – Undersidan murstenen kallas ibland för liggyta istället för byggyta (Lilja, 2015).

Laxstjärt – Metodik använd vid timring eller fogning. En huggen tapp i ex. en stock som är avsedd att infällas i en urtagning av en annan stock. Formen av tappen och urtagningen liknar en laxstjärt (Svenska Akademien, 1893).

Löpare – Löparstenar är de murstenar som har sin längsta sida längs med murens längdriktning (Figur 2.1). Dessa är viktiga för att fördela vikt och rörelser i muren (Lilja, 2015).



Figur 2.4. Uppbyggnad av mur med bindare och löpare (Lilja, 2015).

Mossning – Tätning med mossa (Svenska Akademien, 1893). Av litteraturgenomgången var björnmossa vanligt förekommande vid mossning av dammar.

Murkärna – kallas det material som ligger innanför murarna i en skalmur (Lilja, 2015).

Pinning – Emellanåt tätas fogarna med ex. kilar, skärv eller småsten efter att muren har färdigställts. Detta kallas för pinning på engelska och vissa menar att det har en låsande funktion i murverket och ger en stabiliserande effekt. Det råder oenighet om detta tillför muren någon funktion förutom att murens utseende ändras (Lilja, 2015).

Pinnmo – Eller pinmo är en folklig benämning av en moränjord där ”pin” syftar till hårdheten och mo till den vanligaste vegetationstypen. Morän/pinnmo är månggraderat och avsatt under en glaciär eller inlandsis (Beskow, 1951). *Med moderna benämningar bedöms pinnmo vara detsamma som bottenmorän.*

Av (Rinman, 1789) beskrivs pinnmo vara en mycket fast och hårt sammansatt jordart, bestående till den största delen av en rödlätt fältspatssand blandad med fin mo och lite lera. Pinnmo förhåller sig hård både i torrt och vått och kan svårligen grävas med spade, utan måste med järnspett uppbrytas. Pinnmo återfinns ofta i vissa låglänta kullar på åkerfält och tycktes vara uppkommen vid översvämningar genom slamning ifrån lera, medföljande smått grus och kullersten. Den är lämplig som grund till byggnader och i synnerhet till fyllning av dammar i det avseende att vara hård och tät under vatten.

Rustbädd – En konstruktion som användes vid grundläggning för att förbättra grundens egenskaper. Bland annat förekommer risbäddar, faskinbäddar, timmerbäddar, plankbäddar (Svenska väginstitutet Stockholm, 1925).

Rösberg – starkt uppsprucket eller söndervittrat berg (Svenska Akademien, 1893).

Skiftgång – Skiftgången är beroende av hur stenmaterialet ser ut. Är stenarna runda väljs ofta en ojämn skiftgång vilket kan möjliggöra låsning av stenarna. Är stenarna platta kan en jämn skiftgång användas. Exempel på olika skiftgång visas i Figur 2.3.

Skalmur – En skalmur, ibland kallad kärnmur, är en dubbelsidig mur som normalt är utfylld med överblivet byggnadsmaterial (sten, bruksrester etc.) ihopbundet med kalkbruk (Humble, 1990).

Skolsten – mindre sten eller skärv som används för att erhålla god anliggning eller tätning i murfogar. Större skol kallas ibland för stup, synnerligen om den är triangelformad (Svenska väginstitutet Stockholm, 1925).

Skärning – om vattenström o. d. erodera jorden under något (Svenska Akademien, 1893). *Underskärning innebär erosion eller inre erosion i grunden. Skärning kan vara inre erosion i dammkroppen.*

Spickelera - Lera som vid torkning blir hård och gärna spricker (Svenska Akademien, 1893).

Stötfog – vertikal fog i murverk (Svenska väginstitutet Stockholm, 1925).

Stötyta – Den sidan av murstenen som ligger an horisontellt mot andra murstenar, se Figur 2.2. Murstenens ändar ska ligga helt mot varandra och förhindra att murstenen ej vrids ur sitt läge (Lilja, 2015).

Tjuvförband – Om alltför många fogar kommer i linje med varandra kallas detta för tjuvförband och ger försvagningar i murverket, se Figur 2.3 (Lilja, 2015).

Utknut – En korsknut (Svenska Akademien, 1893). *En timmerknut där stockarna överlappar varandra vid hörnen och sticker ut.*

Vattu-klinkert – kallas en tegeltyp som har egenskapen att vara härdig både emot luft och vatten och har god beständighet för att användas under vatten eller luft såsom slussbyggnader, källarvalv och skorstenar (Rinman, 1789).

Visesida – den sidan av murstenen som är utåt, se Figur 2.2 (Lilja, 2015).

Örjord – Är en sand- eller mojord, blandad med små klappersten som vanligen utnyttjas i dammar eller till örning på vägar. Den tjänligaste örjorden för dammar, eller fyllning mot vattensidan, är den som vanligen finns i back-kullar som naturligt hårt har packats och måste med spett uppbrytas. Örjorden är fri från svartmylla och gräsrötter, men blandad med pinnmo, som utgör det förnämligaste grundämne (Rinman, 1789). *Örjord bedöms vara synonymt med bottenmorän eller hårt packad morän och är troligen ofta detsamma som pinnmo.*

3 Stenmurverksdammar

I detta avsnitt ges beskrivningar av uppbyggnad av stenmurverks-dammar, grundläggning samt beståndsdelar. Beskrivningarna baseras på genomgång av litteratur samt erhållna exempel på dammar.

3.1 ALLMÄNT

Stenmurverkskonstruktioner av olika typer har uppförts under mycket lång tid. Som exempel kan nämnas gärdesgårdar och murar, murverkshus och stödmurar, se tex (Lilja, 2015). Ofta uppförs de som skalmurar med två murade sidor och en kärna av sten eller jord. Byggandet av stenmurverksdammar har sin tradition i det hantverkskunnandet. Byggnadssättet för stenmurverksdammar kan förväntas vara likartat som för exempelvis stödmurar.

Stenmurverksdammar är en äldre dammkonstruktionstyp och förekom i stor utsträckning innan betong- och fyllningsdammar blev vanliga. Stenmurverks-dammar har i Sverige förekommit under flera århundraden och var vanliga vid bland annat bruk, kvarnar, sågar, flottning och senare också vid vattenkraft.

Murverksdammar utgör ca 4 % av Sveriges dammbestånd (av dammar med en höjd över 5 m och/eller som vid ett dammhaveri skulle kunna frisläppa en vattenvolym (eller en blandning av vatten och annat material) om minst 100 000 m^3, dvs för vilka en konsekvensutredning ska utföras) (Svenska kraftnät, 2019).

Eftersom stenmurverksdammar har uppförts under en lång period, för varierande ändamål och av olika byggherrar finns en stor variation i deras utformning.

(Rinman, 1794) beskriver att vid uppförandet av dammar lämnades stort ansvar till byggherren och byggmästarens utredning om ex. grundläggning, berg- och stenrensning, undanröjande av hinder samt anslutning av dammar mot stränder/mark. vilket krävde analys av flera olika problemställningar.

Av (Rinman, 1794) framgår att murade dammar av huggen sten är till utseende de vackraste så väl som till styrka och täthet de mest pålitliga. Dammarna fordrar minst åtgång av trävirke men var trots det kostsamma för privata ägare. Därav nyttjas stenmurverksdammar vid slussverk som anlades på allmänhetens bekostnad. Där timmervirke var kostsamt och stenslag och andra material för murning fanns att tillgå samt där stenhuggarkonsten hade kommit igång anges ovanstående byggnadssätt vara överkomligt. Det kunde räcka med att huggen sten endast användes till uppströmsmuren medan nedströmsmuren däremot kunde uppföras av vanlig sprängd gråsten med gott kalkbruk.

I Figur 3.1 beskrivs uppbyggnad av några olika dammtyper från 1700-talet (Rinman, 1794).

§. 12.

Dammars olika Byggnads-ſätt.

Vid nya dambyggnaders verkſtällande är redan anmärkt, at mångfaldiga olika belägenheter fordra äfven ſå många olika öfverläggningar, om både lindrigaſte och bäſta byggnads-ſättet, ſå at et enda förſlag därtil kan vid alla tilfällen icke vara lämpeligit. Til någon hjelpreda därvid kan likväl tjena at här beſkrifva de mäſt brukeliga byggnads-ſätt, hvaraf anledning kan tagas at välja det, ſom vid förefallande omſtändigheter kan vara mäſt lämpeligit. I allmänhet kan anmärkas, at dammar byggas

1:o. Antingen af ſten och träverke tilſammans, då ſtyrkan beror på ſtenmurningen, men tätheten vinnes genom det inbygde träverket (ſe §. 13). Eller

2:o. Af ſprängd gråſten enſamt, med någon ſå tät jordfyllning antingen framför dambröſtet, eller emellan 2:ne updragne murar, at vattnet ej kan genomtränga, eller med beklädning af träverke, plank

I. CAP. §. 13. 19

plank eller timmer emot vattnet framför dambröſtet, ſom vidare kan intagas af §. §. 16, 18 och 20.

3:o. Af huggen ſten, vattutät murad med cement. Se §. 22.

4:o. Enſamt af träverke, dels timrad och förſedd med jord- och ſtenfyllning, dels pålad och befäſtad med jordfyllning, jemte underſtöd af timmerverke, hvarom ſes §. §. 24, 26 och 31.

Närmare förklaring på förenämde byggnings-ſätt kan af följande ritningar, med därhos fogade beſkrifning och anmärkningar, intagas.

Til detta rummet hörer dock icke, at upräkna alla de mycket koſtſamma och vidlöftiga dambyggnads-ſätt och kajdammar, ſom äro påfundne för ſtora dock- och ſluſs-byggnader, för ſegelfart, ſkeppshvarf och fäſtnings-verk, eller för haſvets uteſtängande, til viſſa landtſträckors intagning och uttorkande, m. m. Hufvudämnet, ſom är bergverkens nytta, tyckes ſåledes icke fordra mera än ſådane dammars beſkrifning, ſom egenteligen vid hvarjehanda tilfällen kunna tjena til ſamma ändamåls vinnande, eller til erhållande af beqvämlige vattufall för hvarjehanda machiner och rörlige verks förmånliga drift. Mycket däraf måſte dock lämnas til Byggnings-Herrens och Byggmäſtarens utredning, til exempel om grundgräfning, berg och ſtens borttagande, eller hinders undanrödjande och landtfäſtens intagande, m. m., ſom vid ſnart oräkneliga händelſer fordrar lika många utvägars uptänkande.

Åtſkillige omſtändigheter, ſom i allmänhet vid dambyggnader komma at i akttagas, finnas i ſynnerhet nämde uti anmärkningarne vid det uti §. 13 tecknade dambyggnads-ſättet, jämnfördt med hvad vid de öfrige dambyggnaderne äfven finnes anmärkt.

Figur 3.1 Utdrag från (Rinman, 1794) som visar byggnadssätt av dammar. Observera att vissa s i texten liknar f.

Av (Näslund, 1915) framgår att flottningsdammar utfördes antingen av grusbankar (med eller utan kärna), av stenfyllda träkistor, av stenarmar i kallmur eller i cementbruk eller betong. Vilken av dammtyperna som valdes berodde av fordringarna som ställdes på dammen, dammens läge, grundförhållanden, tillgång på material och annat som påverkar tekniskt och ekonomiskt.

Enligt (NVE, 2011) är en murdamm en samlad beteckning för dammar byggda av sten och stenblock som är beroende av egenvikt för att vara stabila. Konstruktionsmässigt är utformningen emellertid mycket varierande. Murdammar omfattar allt

från dammar som beräkningsmässigt är att betrakta som en gravitationsdamm i betong (murdamm med murbruk) till dammar som konstruktionsmässigt har flera likheter med fyllningsdammar (murdammar med central fyllning).

Av (Svenska kraftnät, 2019) beskrivs stenmurverksdammen som en föregångare till betongdammen och vanligtvis uppbyggd av homogena stenblock. Utförandet är i allmänhet som en gravitationsdamm. Vidare beskrivs att det finns stenmurverksdammar, s.k. skalmurverksdammar, som är uppförda med två murar med mellanliggande tätjord. Vidare finns en variant där enbart uppströmsdelen är utförd som stenmurverk medan övriga dammen består av jordfyllning vilka dock betraktas som fyllningsdammar. Det anges också att betongdammar emellanåt är beklädd med stenmurverk, men att dessa ej ska betraktas som stenmurverksdammar. I rapporten definieras stenmurverksdamm som *"damm som huvudsakligen är uppförd av natursten som ordnats och lagts i förband."*

Från ovanstående genomgång är det tydligt att begreppet stenmurverksdamm innefattar en stor mängd olika konstruktionslösningar. I kommande avsnitt ges beskrivning av uppbyggnad och grundläggning av de typer som förefaller finnas (eller har funnits) i Sverige.

Beskrivningarna i efterföljande avsnitt utgår ifrån de exempel som framkommit vid underlagsgenomgången och baseras på foton och beskrivningar av befintliga dammar, beskrivningar i (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) och (NVE, 2011) samt historiska/äldre beskrivningar i bland annat (Näslund, 1915) och (Rinman, 1794).

Som beskrivs av Svenska Kraftnät förekommer att betongdammar är beklädda med stenmurverk. Sådana dammar kan betraktas som betongdammar och har därför inte inkluderats i nedanstående sammanställning.

3.2 UPPBYGGNAD

Stenmurverksdammar finns i flera olika utformningar. I denna rapport har ett flertal olika typer definierats utifrån det underlag som gåtts igenom. Det är dock sannolikt att det kan finnas fler typer och lokala varianter som inte framkommit i underlagsgenomgången. I denna rapport har stenmurverksdammarna indelats i följande typer:

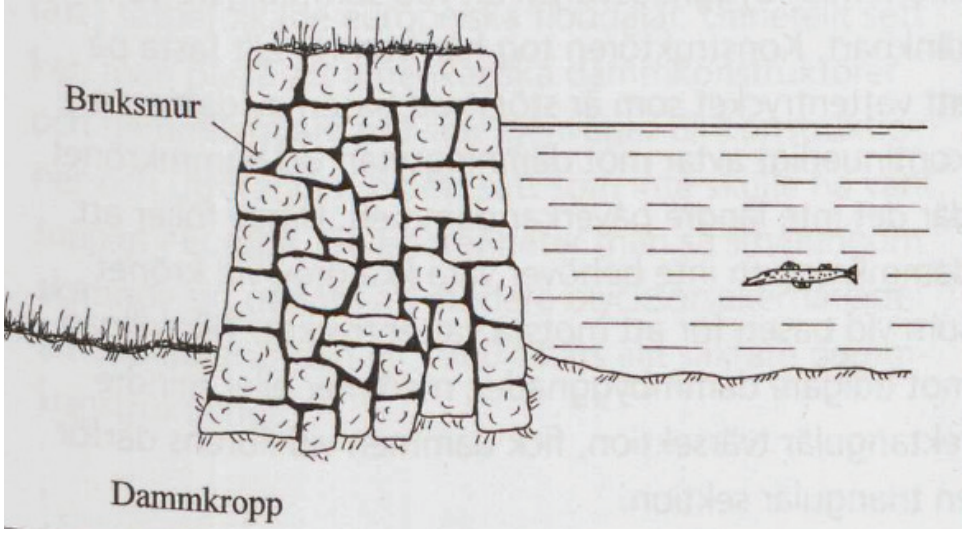
1. Murdammar med sten i bruk. Dammen är i sin helhet bestående av mursten i bruk. Den bedöms beräkningsmässigt kunna behandlas som en monolitisk konstruktion och utformas och dimensioneras enligt principer för betongdammar.
2. Murdammar med tätande uppströmssida och dränerande dammkropp. Den tätande delen kan bestå av:
   a. Tätjord
   b. Bruk
   c. Trätätning
   d. Betongplatta (oftast vid reparation)
   e. Sprutbetong (oftast vid reparation)

3. Damm bestående av dubbelsidig mur med central tätande fyllning bestående av:
   a. Tätjord
   b. Blandat cementbruk och fyllning (ev. även kalkbruk och fyllning)
   c. Träkistor med fyllning av tätjord

En viktig notering som gäller samtliga dammtyper är att ritningar ofta saknas eller är ofullständiga. I många fall visar ritningarna dammens yttre och ger ingen eller begränsad information om dess inre.

3.2.1 Murdammar med sten i bruk

Stenmurverksdammar som består av natursten och med samtliga fogar i murbruk kallas emellanåt för bruksmursdamm. En principiell utformning framgår av (Spade, 1999). Motsvarande murkonstruktion som ej dämmer vatten kallas för bruksmur. Enligt (NVE, 2011) kan konstruktioner där murstenarna i sin helhet är fogade eller förlagda i cementbruk/betong betraktas som gravitationsdammar och beräknas som sådana.



Figur 3.2 Principiell utformning av en i sin helhet fogad damm (bruksmursdamm) (Spade, 1999).

Exempel på denna typ av damm visas i Bilaga 1, se damm 1-8. Figur 3.3 visar en sektion genom dammen från rivning där det tydligt framgår att uppströms och nedströmssidorna består av mycket välordnad sten i likartad storlek, medan innandömet består av mindre ordnade stenar. Stenarna invändigt i dammen kan således mindre välordnade än det som framkommer i Figur 3.2.

Det engelska uttrycket ”rubble dam” eller ”rubble masonry concrete dam” beskriver en liknande konstruktion, varvid ett yttre av välordnad sten byggs och det inre fylls med större sten som placeras i bruk. Som beskrivs i (Greyling, et al., 2019) byggs denna typ av dammar även idag i vissa delar av världen.

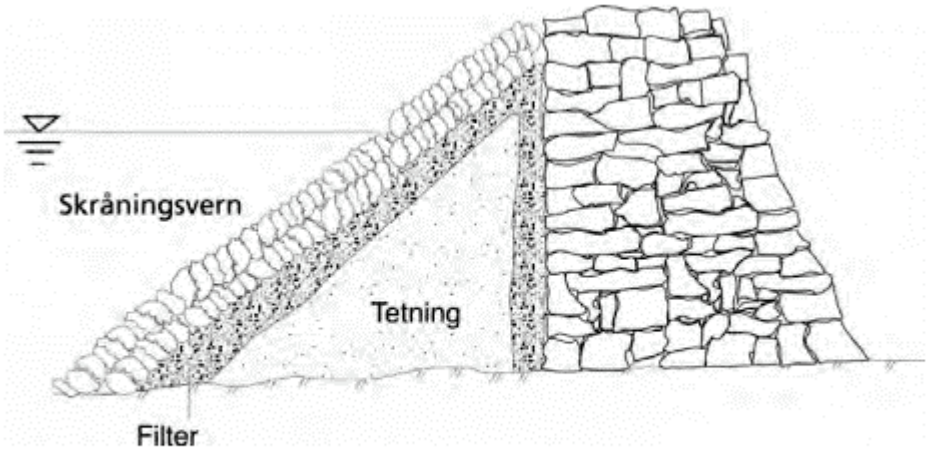
muren är uppritad med ett välordnat inre av huggen sten, men vid rivning framkommer ett inre bestående av oordnad sten i olika storlekar, eller så är det yttre skalet välordnat men det inre bestående av förstärkta jordmassor. Bland exemplen i Bilaga 1 finns flera dammar där det vid rivning visat sig att dammens uppbyggnad inte stämt överens med ritningsunderlaget (se t.ex. damm 3 och 12).

Figur 3.3. Exempel på damm helt igenom fogad, från rivning. Se damm 1 i Bilaga 1.

3.2.2 Murdammar med tätande uppströmssida och dränerande dammkropp

Tätjord som uppströms tätning

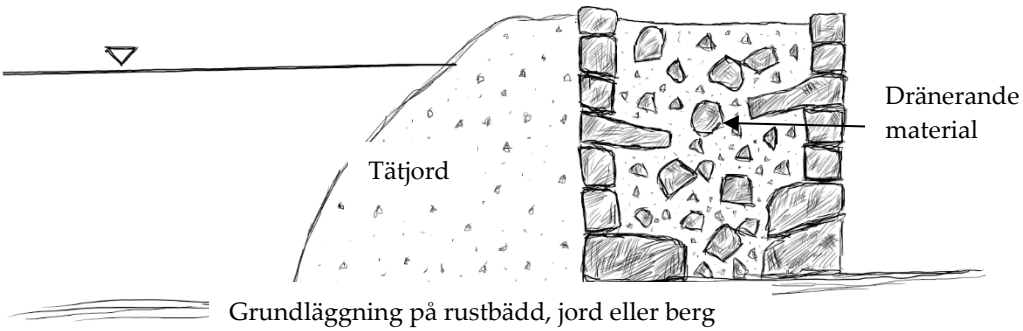
Av (NVE, 2011) framgår en damm med tätning av jord eller torv som omges av filter och skyddas med erosionsskydd mot magasinet (Figur 3.4). Den stabiliserande delen utgörs av en kallmurad stenmurverksdamm. Exempel på denna typ framkommer i Bilaga 1 damm 9 och damm 10.



Figur 1.3 Murdam med oppstrøms tetning av løsmasser (ofte jord/torv eller morene)

Figur 3.4 Stenmurverksdamm med tätning av jord/torv eller morän som skyddas av filter och erosionsskydd samt med stödjande del av murverk (NVE, 2011)

Ett ytterligare exempel är där tätande jord är lagd mot en dubbelsidig kallmur (skalmur) med en kärna bestående av sprängsten. En schematisk skiss visas i Figur 3.5. Exempel på denna typ finns (av rapportförfattarna känt exempel), men exempel har ej medtagits i bilaga 1.

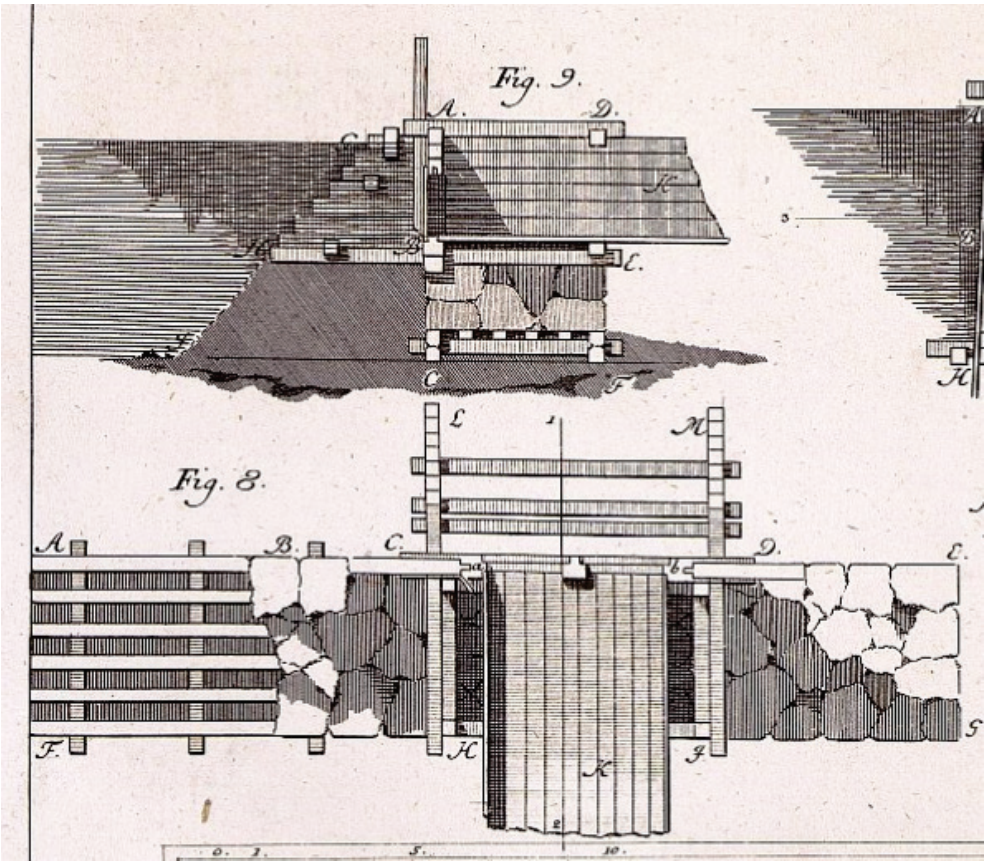


Figur 3.5 Stenmurverksdamm med uppströms tätning av tätjord och dubbelsidig kallmur med kärna av sprängsten.

Ett ytterligare exempel på en stenmurverksdamm som utförts med tätning uppströms stenmurverket framgår av Figur 3.6. Exemplet är taget från (Rinman, 1794) och visar på att denna dammtyp varit känd under lång tid. Här visas även grundläggning på rustbädd, vilket diskuteras vidare i avsnitt 3.3.3. Noteringar om denna konstruktion är bland annat att:

- Föreskrivna damm kan ej uppföras högre än till ca 3 – 3,6 m höjd för underfallshjul.

- Det finns risk att tätjorden sköljs bort om sned inströmning sker mot dammen.
- Vid gråstensmurning av dammar bör stoppning mellan stenarna ske med god björnmossa. Detta var framförallt viktigt för uppströmsmuren. Björnmossan förhindrade att örningen ej fördes in i dammen med läckageflödet (dvs inre erosion).
- I de fall god tillgång fanns på tjänlig örjord, såsom god lera, grus och pinnmo kunde denna typ av dammar vara både beständiga och täta samt minst kostsamma.
- I de fall grunden var tät och pålitlig, exempelvis av grus, sten eller bunden med grov sandör kunde rustbädden vara överflödig.
- I de fall god tillgång fanns på lämpliga kvaderstenar (kantiga) eller hälleartade stenar kunde vejor på var sida om utskovet trappvis uppmuras emot örningen vilket gjorde att timmerväggar ej var nödvändiga. Detta innebar att underhållet för timmerväggarna kunde sparas in. Detta förutsatte att träkonstruktionen kunde anslutas mot stenmurverksdammen samt att dammen försågs med stoppning av björnmossa.

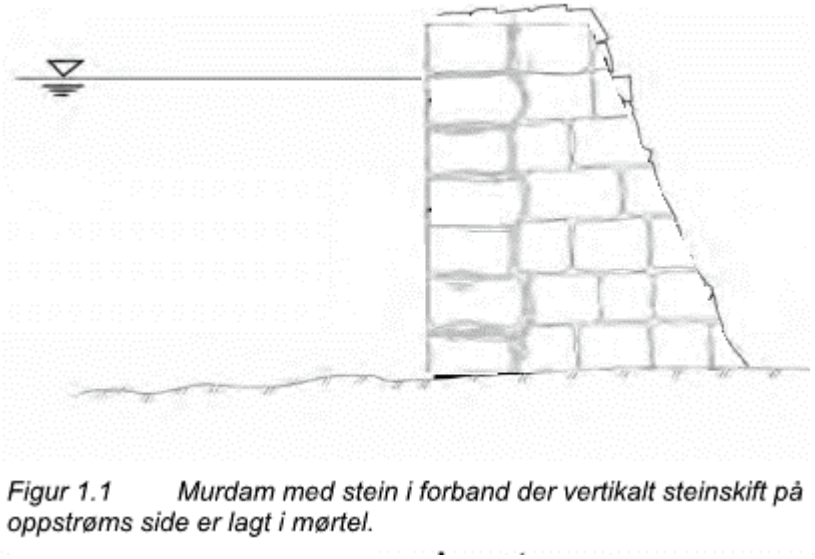


Figur 3.6 Stenmurverksdamm tätad på uppströmssidan. Fig 8 visar plan och Fig 9 visar ett snitt genom utskovet.

Bruk som uppströms tätning

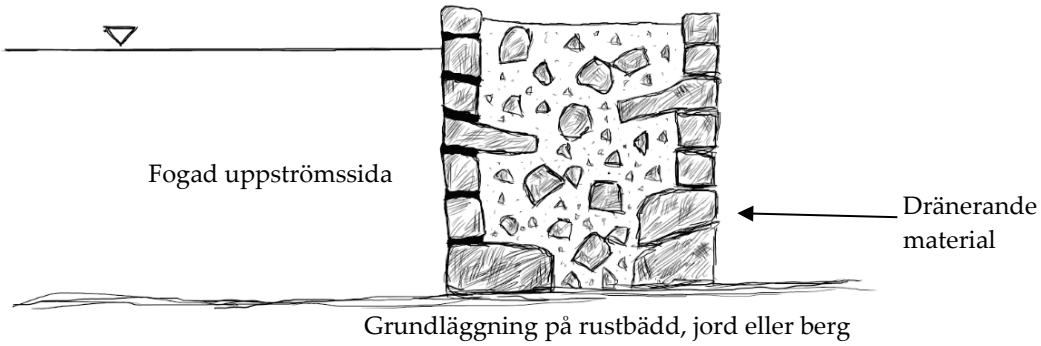
Det finns flera olika varianter av dammar där murverket i sin uppströmsdel är fogad med bruk som därmed utgör dammens täthet.

Av (Spade, 1999) framgår att stenmurverksdammar emellanåt utfördes som en bruksmur i dammens uppströmssida medan resterande delen av dammen utfördes som kallmur. Uppströmssidan kunde tätades med ex. murbruk eller lera. Av Figur 3.7 framgår en norsk stenmurverksdamm där uppströmssidan är utförd med tätning av bruk (NVE, 2011). Inget exempel på detta har framkommit i underlaget, men den beskrivs även av NVE och förekommer därmed troligen även i Sverige.



Figur 3.7 (NVE, 2011) En stenmurverksdamm där uppströmssidan av dammen är tätad med bruk.

Det finns även exempel på dammar med skalmurar där uppströmsmuren är tätad med bruk och där skalmurens kärna består av sprängsten eller annat ej tätande material. En schematisk figur visas i Figur 3.8. Ett exempel på denna typ av konstruktion är damm 11, som beskrivs i Bilaga 1.



Figur 3.8 En stenmurverksdamm med uppströmssida tätad med bruk och invändig kärna av dränerande material.

Av (Rinman, 1794) framgår att dammar emellanåt byggdes med en murad uppströmssida av bränt tegel eller vattu-klinkert och cement medan nedströms-

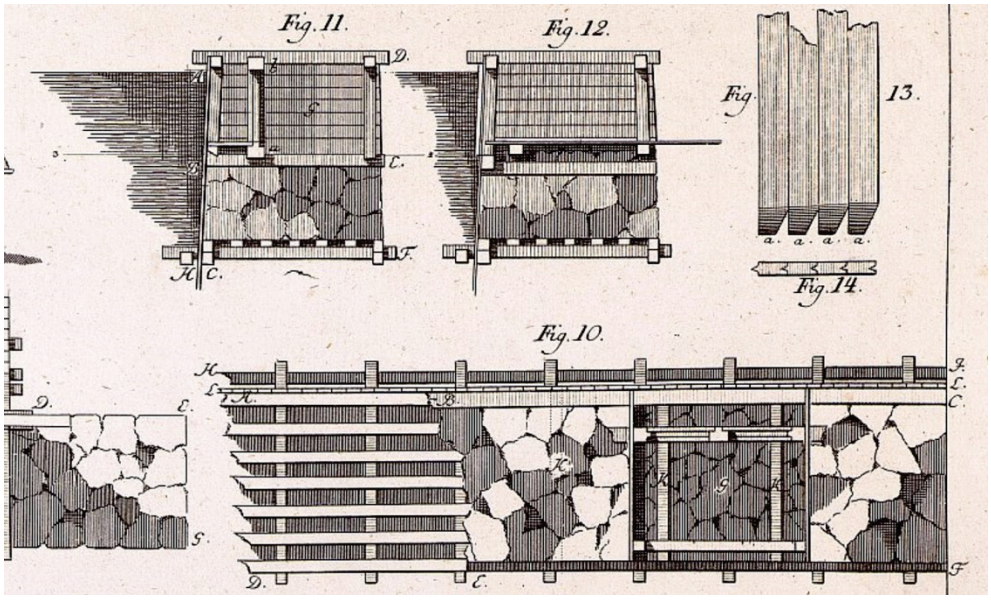
muren uppfördes i vanlig gråsten (lämpligen från gruvvarp). Uppströmsmuren gjordes ca 45-60 cm tjock och förutsatte en stark nedströmsmur med ca 1,8 – 2,4 m tjocklek. Till nedströmsmuren anges att ett murbruk av kalk och sand var pålitligt.

Trätätning som uppströms tätning

Av genomgånget underlag framkommer att lösningar med tätning av trä varit vanligt förekommande. Inga exempel på detta utförande av dammar som är i drift idag ingår i exempelsamlingen, men det kan inte uteslutas att det fortfarande finns konstruktioner som är eller har varit uppförda på detta vis. Beskrivningarna nedan baseras på äldre litteratur.

Spontad plank

En stenmurverksdamm, av sprängd eller letad gråsten, kunde också muras utan så vidlyftig örning som vid beskrivning till Figur 3.9. Istället kunde uppströmssidan bekläs med spåntade plank, varigenom en fullkomlig täthet kunde vinnas. Sådana stendammar kunde uppföras till ca 4,8 -5,4 m höjd för överfall. De spontade planken skulle vara av minst 2,5 tums tjocklek. Då tomrum uppstod av ojämna stenar emellan sponten och muren stoppades dessa med björnmossa.



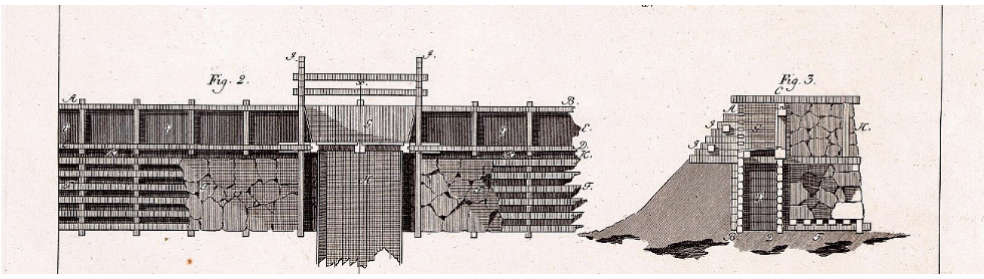
Figur 3.9 Stenmurverksdamm med en tätning av spontad plank uppströms murverket. Fig 10 visar plan utifrån snitt 3-4 i Fig 11. Fig 11 och Fig 12 visar tvärsektioner. Fig 13 och 14 visar spontplankorna.

- Istället för plank kunde också en enkel, väl dragen och mossad timmervägg uppföras med en viss lutning mot uppströmssidan av muren och förbindas med inmurade bandstockar eller timrade tvärväggar.
- På en jämn och fast grund kunde även rustbäddens underbyggnad undvikas, eller endast läggas under den främsta hälften av bröstmuren eftersom den stödjande nedströmsmuren kunde anläggas på fast grund utan rustvirke.

I de fall grunden var så hård och fast att plankorna inte gick att driva ned, kunde en smal grav grävas intill grundstocken. Graven skulle grävas så djup som möjligt och minst till ca 1,8 – 2,4 m djup. Plankorna fördes sedan ned och en seg lera packades i graven runt sponten.

Trädamm med stödjemur av sten

Av (Rinman, 1794) framgår en stenmurverksdammstyp där uppströmssidan består av dubbla timrade väggar försedda med tvärband (dammkistor). Utrymmet fylldes och packades med ör och grus för att förhindra läckage. Väggarna byggdes täta med hjälp av dammspik och uppströmssidan stoppades med björnmossa. Dammens nedströmssida bestod av stenmurverk som grundlagts på rustbädd. Rustbädden var sammanbyggd med dammkistans grundstockar. Utrymmet mellan stenmuren och dammkistan (pga av utknutarna) fylldes med väl tillstampad lera eller blöt dytorv. Vid utskovet utfördes trappvis timrade utbyggnader av utskovsväggarna, sk vejor. Dessa förhindrade fyllningen att transporteras bort genom utskovet. Dammtypen ansågs både tät och stark och kunde uppföras till en ”dräglig kostnad”.



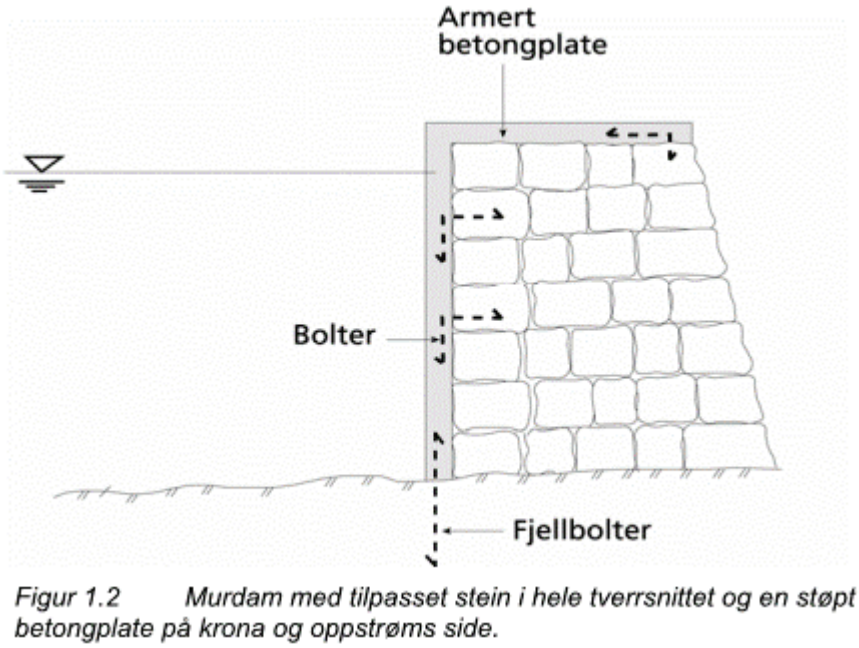
Figur 3.10 Trädamm med stödjemur av sten (Rinman, 1794).

- Dammtypen ansågs kunna nyttjas i strida och breda strömmar förutsatt att trädammen uppfördes så högt att den inte överströmmades, då detta kunde göra att fyllningen kunde bortspolas från kistorna.
- För att förbättra ördammen (dvs jordfyllningen uppströms) kunde ibland dammen kläs in med tjänlig grånsten. Detta innebar att dammen kunde se ut att bestå av enbart sten. Inklädnaden med sten medförde också att timmerkistorna trycktes ihop på ett bättre vis.
- I de fall grunden var väl fast, grus- eller stenbunden, var det ej nödvändigt att anlägga rustbädd under stenmuren som då utgjorde stöd till trädammen. Trädammen kunde då läggas tätt intill stenmuren om tvärväggarna på den sidan förbands med laxstjärtar och ej med utknutar. I sådant fall räckte det att utrymmet mellan tvärväggen och muren utfördes med enbart björnmossa.
- I de fall vattnet kunde erodera örningen, antingen vid utläggning eller efteråt, blev man emellanåt tvungen att anlägga dammar med dubbla väggar där ör- eller tätjorden inpackades.

- Där ojämna sänkor eller gölar förekom i grunden var det nödvändigt att dessa fylldes ut med lämpade kistor för att grundstocken under uppströmsmuren kunde läggas ned i räta linjer.
- Reparation av sådana dammar ansågs relativt enkla eftersom det endast behövde ske på den övre delen av trädammen som emellanåt stod i kontakt med luft. Trävirket som jämt stod under vatten kunde stå lång tid utan att ta skada av röta. För stenmuren ansågs det ej behövas en utvald sprängd sten, förutsatt att den blev väl lagd och starkt uppförd.

Betongplatta (oftast vid reparation)

Av Figur 3.11 framgår en stenmurverksdamm med en gjuten betongplatta på uppströmssidan och krönet. Betongplattan är armerad och förankrad i murverksdammen samt i grundläggningen (NVE, 2011).



Figur 3.11 Stenmurverksdamm med gjuten och armerad betongplatta på uppströmssidan och krönet. Betongplattan är förankrad i stenmurverket och grundläggningen (NVE, 2011)

Sprutbetong (oftast vid reparation)

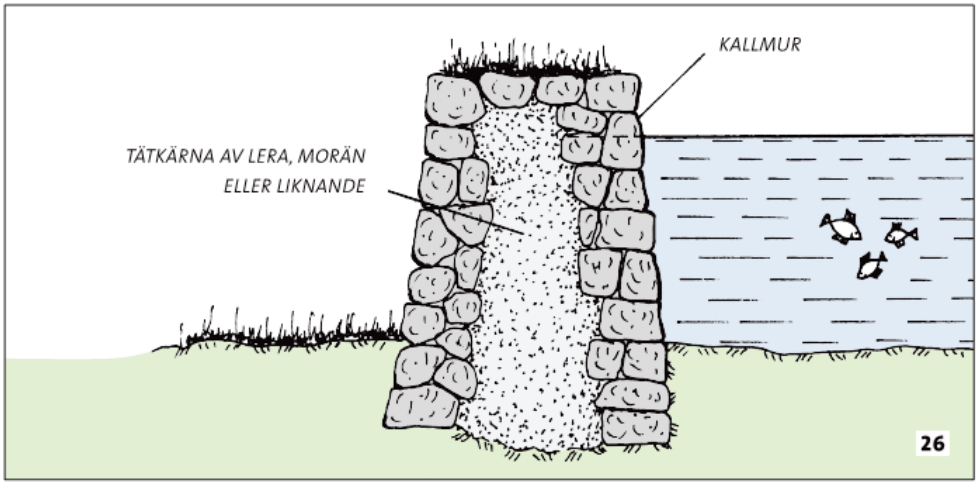
Reparation kan även utföras med sprutbetong. Ett exempel på detta visas i Bilaga 1 Damm 1.

3.2.3 Damm bestående av dubbelsidig mur med central tätning

Tätjord

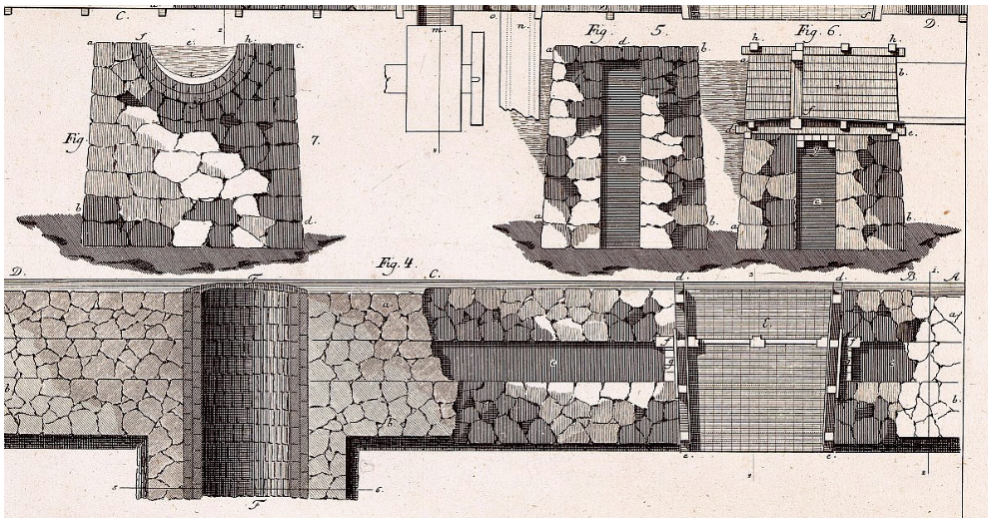
Av (Dicksson & Spade, 2016) framgår att denna typ kallas för skalmursdammar och är en vanligt förekommande dammtyp bland äldre dammar. Dammen består av en dubbelsidig kallmur med tätande fyllning av lera eller morän (Figur 3.12). Ibland förekommer spont av träplank. Dammarna var ofta omkring 2 m höga och förekom vid ex. sågar, kvarnar, vattenkraft och vid flottning. Dammtypen anges kunna motstå överdämning om tätjorden är väl skyddad av ex. sten eller grästorv.

I underlaget har framkommit ett exempel på denna dammtyp, se Damm 13 i Bilaga 1.



Figur 3.12 Skalmursdamm med tätande fyllning av lera eller morän (Dicksson & Spade, 2016).

Figur 3.13. En sådan damm var uppbyggd med ett tätande material bestående av starkt sammanpackad dytorv (eller vanlig blöt bränntorv) mellan två gråstensmurar. Dammens krön täcktes med sten. Mellan utskovets syllar och stolpar tätades murverket med björnmossa. Utskovsväggarna är utförda av spontad plank mot torvfyllningen. Av figuren framgår ett utskov med två dammluckor sammanhuggit av trävirke och plankbeklädnad.



Figur 3.13 Fig. 4 visar plan av dammen. C-D visar dammens övre del som är betäckt med sten. B-C visar ett snitt genom dammen i plan där torvfyllningen (c) framgår. Fig. 5 visar en tvärsektion genom linjen 1-2 på planritningen. Fig. 6 visar en tvärsektion genom utskovet (linje 3-4) på planritningen. Fig. 7 (längst upp till vänster) visar en profil av stenrännan (linje 5-6) på planritningen (Rinman, 1794).

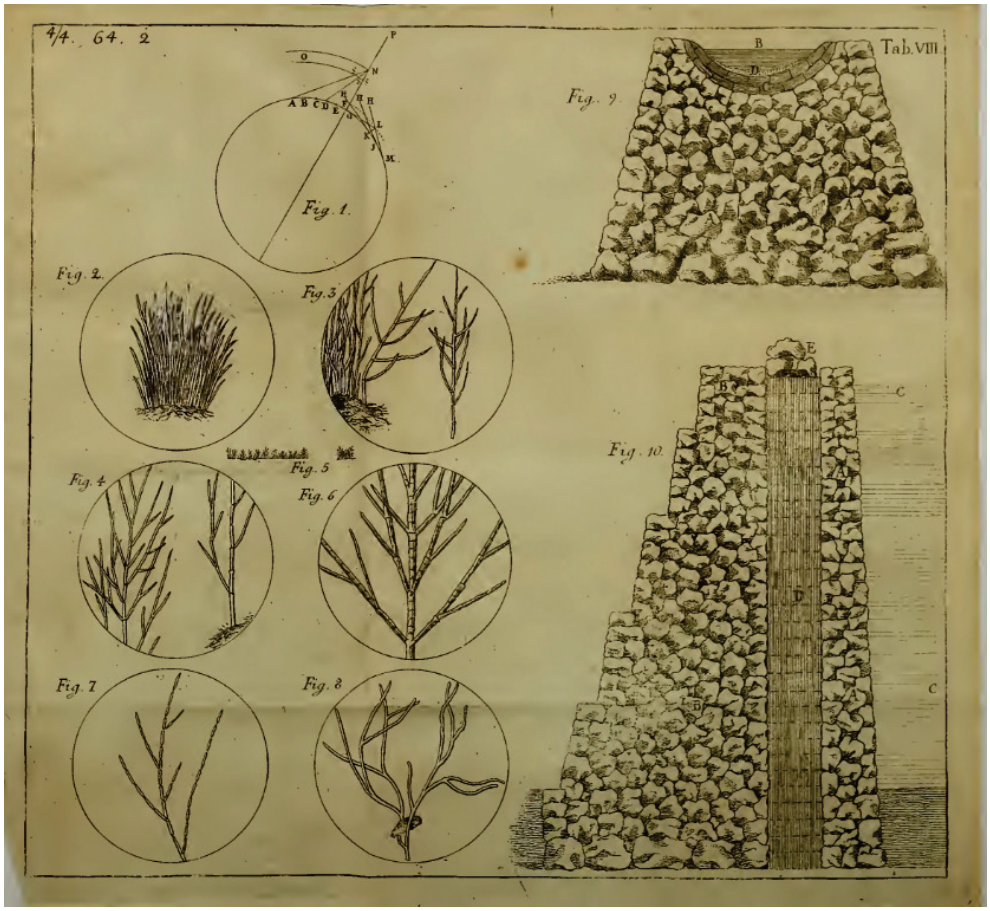
Där lös och osäker grund förekom kunde det vara nödvändigt att, för att undvika underskärning (inre erosion i grunden), uppföra dammen på rustbädd eller på timrade och fyllda kistor.

Vid utskovsbyggnad var det noga att byggmästaren var noggrann och utförde plankningen tät mot torvfyllningen. Än bättre ansågs det att öppningarna murades igen med lämplig sten eller vattu-klinkert och med ett starkt murbruk eller cement.

Dammtypen anges ha varit vanlig vid norska bergverk men att de även förekom i Sverige. Bland annat nämns en hålldamm vid Nyhytte masugn i Norbergs bergslag. Det noteras också att bränntorv kunde användas som fyllning mot uppströmssidan av dammens murverk förutsatt att torven täcktes med en tillräcklig mängd grus som förhindrade att magasinsvattnet sköljde bort eller upplöste torven. Vidare hänvisar (Rinman, 1794) till (Dalman, 1764).

Av (Dalman, 1764) beskrivs att bränntorv nyttjades som tätning mellan två parallella stenmurar. Först tillsågs att grunden var tillräckligt djup och säker. Därefter uppfördes stenmurarna med några alnars mellanrum och torven packades in däremellan. Avslutningsvis lades någon sten uppepå torven för att hålla torven ständigt hårt packad (Figur 3.14). Fördelar som lyfts fram med dammkonstruktionen jämfört med allmänna trä- och stendammar var att man kunde undvika onödig fyllning och örning på vattensidan. Dammen ansågs kunna byggas lika säkert på berg, hålsten eller annan grund. Författaren hade noterat att dammar uppförda till fem famnars djup var tät och utan synliga läckage.

Torven togs upp i skivor om ca 1 kvadratfot och ca 4-5 tums tjocklek. Torven fick sedan ej torka för att behålla sina tätande egenskaper. Torven anges likna den bruna mosstorv som på en del orter i Sverige används till förbränning. Förutsatt att torkning kunde undvikas gick den att förvara.



Figur 3.14 Norsk stenmurverksdamm med tätning av torv (Dalman, 1764).

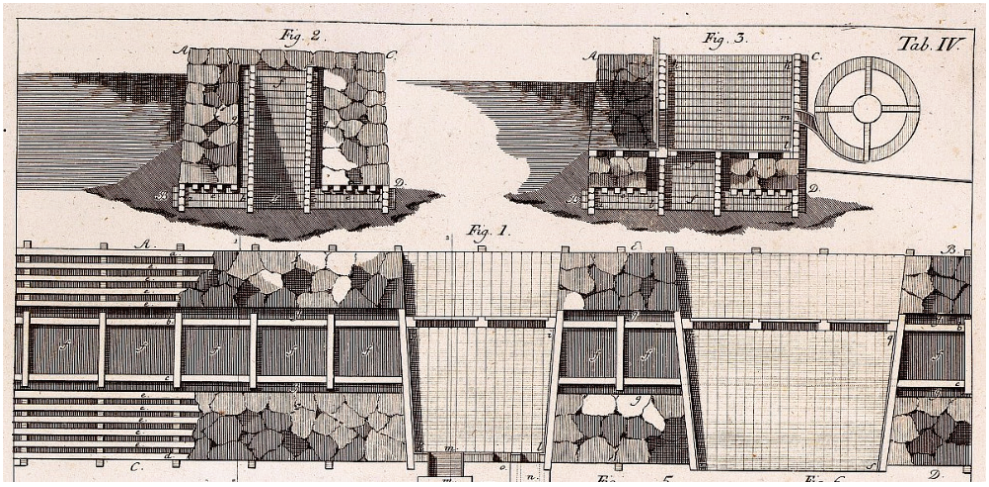
Blandat cementbruk och fyllning

Inmurade väggar och träkistor med fyllning av tätjord

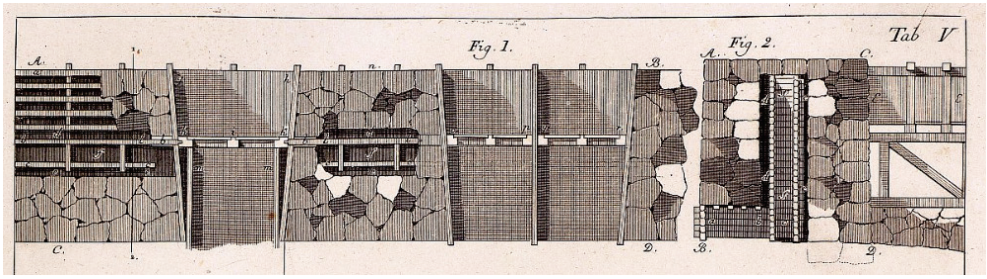
I äldre litteratur framgår att dammens tätande förmåga i stenmurverksdammar kunde bestå av inmurade väggar och träkistor som fyllts med tätande jord. Av Figur 3.15 och Figur 3.16 framgår dammar med motsvarande konstruktion med skillnaden att rustbädd endast lagts under den främre stenmuren i den senare figuren (Rinman, 1794). Av referensen framgår att fyllningen i dammens centralt tätande del bestod av väl sammanpackad seg lera och pinnmo m.m. som kunde

utgöra en pålitlig täthet i synnerhet under den främre muren. Om mellanväggarna utfördes timrade med utknutar fanns ett öppet hålrum mellan stenmurarna och timringen vilket efterhand fylldes med väl sammanpackad dy- och bränntorv. I de fall då mellanväggarna uppfördes med laxknutar kunde muren uppföras tätt intill träväggen.

Bland exemplen i Bilaga 1 har ingen damm av denna typ noterats, men det kan inte uteslutas att det finns sådana dammar som fortsatt är i drift.



Figur 3.15 Stenmurverksdamm med tätande del av grundlagd på rustbädd (Rinman, 1794). Fig. 1 visar plan och Fig. 2 och 3 visar tvärsektioner. Fig. 1 visar dels en öppning med två luckor för vattenhjul (Fig. 3), dels ett utskov/sump med tre luckor. Murar och kistor anges behöva betäckas med plankor för att stå emot vattnets inträngande. Mossning med god björnmossa var viktigt.



Figur 3.16 Stenmurverksdamm grundlagd med rustbädd under den främre muren. Fig. 1 visar plan och Fig. 2 visar en tvärsektion (Rinman, 1794).

Bland annat gjordes följande noteringar till stenmurverksdammstypen i (Rinman, 1794):

- Den råa och mjuka dytorven ansågs enkel att användas till instötning i de öppna rummen. Torven bidrog också till att bevara trävirket från röta vilket konstaterats genom att furustockar funnits i torvmossar och varit oförändrade i över 100 år.
- Över tid kunde de inmurade timmerväggarna som ej ständigt stod under vatten förväntas ruttna. Detta innebar att dammen kunde sjunka in och sätta

sig. I de fall ett läckage därigenom uppkom kunde det övre stenvarvet som betäcker kistorna rivas för att sedan utöka och packa fyllningen intill murarna. Även uppströmsmuren kunde då förbättras genom stoppning med ny björnmossa. För grundtimringen och rustvirket som ständigt stod under vatten ansågs ingen förruttnelse vara att befara (Rinman, 1794).

- Vid utskoven tätades murarna dels igenom utfodring med fogade plank och dels genom att en tät murning utfördes med lämpliga stenar och stoppning med björnmossa. I synnerhet var det viktigt att murningen invid dammbordsstolparna, där timmerväggen framskjuter, murades väl med passande stenar eller med gott hårdbränt tegel och cement av kalk, sand och tegelmjöl i brist av bättre ämnen (Rinman, 1794).
- En seg, styv och ren lera som är fri från mylla och som svårligen blötnar i vatten ansågs vara en god fyllning att klubbas in uppströms grundstocken emot trävirket. Leran betäcktes med gott grus eller ännu hellre en rödlätt pinnmo. Genom att blanda fyllningen med något sönderkrossad hammarslagg ansågs denna fyllning vara den yppersta såväl framför uppströmsmuren som inuti kistorna. (Rinman, 1794).
- Det ansågs bäst att stenmurverksdammarna anlades i en rät linje och i rät vinkel emot vattendragets huvudriktning. Dammarna behövde införas så pass långt in i stränderna att ingen skärning omkring dammanslutningarna kunde befaras. Där stränderna var låga kunde likväl sneda dammarmar användas även om dammarna ansågs vara som starkast ju närmare en linje med huvuddammen de närmade sig. Det var känt att om dammens vinkel var mindre än en och en halv rät vinkel (dvs mindre än 135°) emot huvuddammen kunde ingen fyllning vara bestående. Där stenmurverksdammar behövde anläggas till en betydande längd emot en strid ström ansågs de behöva vara minst lika bred som hög för att med säkerhet stå emot vattentrycket. Det behövdes sällan, nästan aldrig, anläggas dammar i en välvd linje mot vattnets strömriktning, vilket ansågs förorsaka stora olägenheter vid verkställandet av dammen (Rinman, 1794).
- För både sten- och trädammar är en god fyllning emot vattensidan välbehövlig och oftast nödvändig. Vid grundstocken gör en spickelera god verkan framförallt om det kunde instötas kullerstenar och däröver fyllas med ren pinnmo och grus så högt som magasinet når. Slänten skulle ha en lutning av 45° mot uppströmsmuren vilket hjälpte till både dammens täthet och styrka mot vattnet kraft.
- Det var vanligt att förstärka stenmurverksdammarna, särskilt vid hörnen och vid pelarna mellan utskoven, med ankare av platt stångjärn. Stångjärnen var ungefär 2 tum brett och 5/8 tum tjockt. Utskovets beklädning av trävirke skyddade hörnstenarna från stötning och rubbning av isgång m.m.

3.3 GRUNDLÄGGNING

I följande avsnitt beskrivs de grundläggningssätt som noterats i arkivgenomgången. Antagligen har många olika variationer av grundläggning förekommit och anpassats efter lokala förutsättningar. Flertalet av referenserna varifrån nedanstående beskrivningar hämtats är äldre (från slutet av 1700-talet och framåt) vilket bedöms spegla den period under vilka stenmurverksdammar har uppförts.

Av (Rinman, 1794) framgår att anläggning av dammar och uppförande av dessa i stora och strida vattendrag ansågs vara de mest bekymmersamma, och för det mesta kostsamma, byggnaderna vid gruvanläggningar. Av samma referens framgår svårigheterna med att grundlägga dammar och det lyfts fram att förberedelser inte gick att försumma. För detta motiveras de oräkneliga förändringarna av vattendragens beskaffenhet. Det krävdes både eftertanke och erfarenhet att utvärdera tänkta dammlägen. Svårigheter att övervinna mer eller mindre våldsamma vattenhastigheter och variation i vattenmängd, grundens beskaffenhet, jordmånens läge, dammanslutningarnas egenskaper samt den lokala tillgången på material var några av de utmaningar som dammbyggnad innebar. Även förmågan att dra nytta av de lokala förutsättningarna som naturen skapat var viktigt för att få fram en beständig dammbyggnad.

Det omnämns vidare i (Rinman, 1794) att vattnets förmåga att hitta och genomtränga de finaste sprickor och öppningar allt eftersom erosion och lösande krafter utvidgade sprickorna, vilket ledde till att läckageflödet ökade var en stor svårighet som var nödvändig att förebygga. Detta var särskilt viktigt i grunden där tryckkrafterna från magasinsnivån ökade den genomträngande förmågan och läckage var svåra att åtgärda. Det ansågs att stor försiktighet och noggrannhet krävdes för att erhålla fullständig täthet i grunden. Bland annat omnämns att försiktighet och noggrannhet krävdes när grunden bestod av stenskär eller av en i vattnet lättlöslig jordart, när landfästen var låga och bestod av en lätt uppblött jordmån, eller då vattnets tillopp under grundgrävning inte helt kunde avledas m.m.

I vissa fall krävdes att dammarna omsorgsfullt försågs med rustbädd alternativt små kistor som i hörnen försetts med pålar som sedan drevs ned i marken. Ett annat sätt att förbättra grundläggningen var att nedlägga dubbla varv med stadigt timmer, först på tvären och sedan längs dammen, sammanhäftade med grov dammspik. Skarvar skulle ej komma mitt emot varandra. Kostnaden för fyllning eller örning framför uppströmsmuren kunde ibland undvikas om grunden var väl nedgrävd och försedd med god örning.

Vid gamla förfallna dammars ombyggnad undersöktes om det var möjligt att anlägga den nya dammen direkt nedströms den gamla. Nedströms gamla dammar ansågs grunden ofta kunna vara ren och blottad vilket passade en ny damms anläggning. Där en någorlunda jämn, och av vattnet bearbetad grusbotten fanns på ett nytt och obebyggt ställe ansågs rustbädden ibland ej vara nödvändig (Rinman, 1794).

Ovanstående beskrivningar visar att dammbyggnadskonsten på 1700-talets slut var välutvecklad och att kunskapen var god om många av de svårigheter som kan uppkomma. Samtidigt är det troligt att lokala anpassningar gjordes, och som beskrivs i avsnitt 3.1 lämnades stort ansvar till byggherren.

3.3.1 Jordgrundläggning

Likt många andra dammbyggnader var jordgrundläggning vanligt för stenmurverksdammar. För att förstärka grundläggning på jord användes ofta

rustbäddar vilket beskrivs i avsnitt 3.3.3. I efterföljande avsnitt beskrivs olika metoder som används vid grundläggning.

Bottenrensning

Emellanåt var bottenrensning nödvändig för att grundlägga dammbyggnaderna. Där stora lösa stenar var i vägen för grundstockarna kunde de antingen borttagas genom sprängning eller också dras bort med hjälp av vindspel och en ögla av järn som indrivits i stenen (Rinman, 1794).

Spont

I vissa fall tätades grunden med spont. Beskrivning av detta framgår av avsnitt 3.2. Spont i grundläggningen förekommer också i flera av exemplen i Bilaga 1.

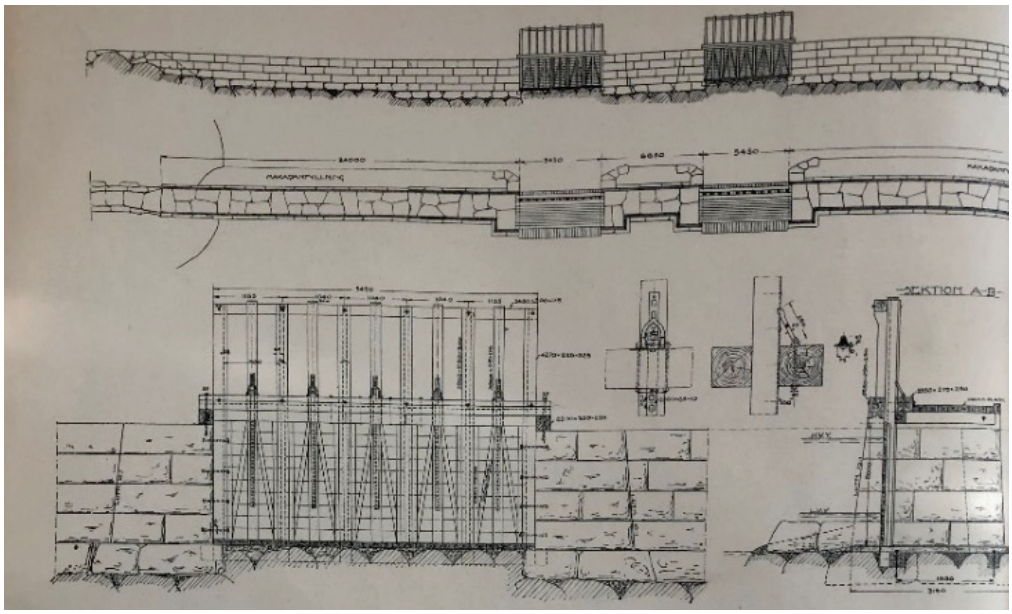
Pålgrundläggning

I fall då grundläggning utfördes på löst lagrade jordlager kunde pålgrundläggning användas. Pålning framgår också som en grundläggningsmetod vid andra typer av murverk, ibland i kombination med rustbädd (Humble, 1990).

Av (Spade & Knutson Udd, 2011) framgår en beskrivning med pålgrundläggning av Arboga elektricitetsverk med tillhörande damm, detta visas i Bilaga 1.

Stenhölster

Av (Näslund, 1915) framgår en damm som placerats på en forsnacke (Figur 3.17). Dammen är utförd med flottningssluss och två avloppsslussar. Grunden är upprensad till fast botten. Mindre ojämnheter i grunden är utfyllda med makadam och grus. Ovanpå är ett tätt grundskift lagt till jämn höjd med den naturliga botten. Ovanpå detta är stenmurverksdammen uppförd. Uppströms grundskiftet är en makadamfyllning utlagd som når upp till halva första murstenskiftet. Dammarna är kallmurade av kilad sten som sedan fogstrukits.



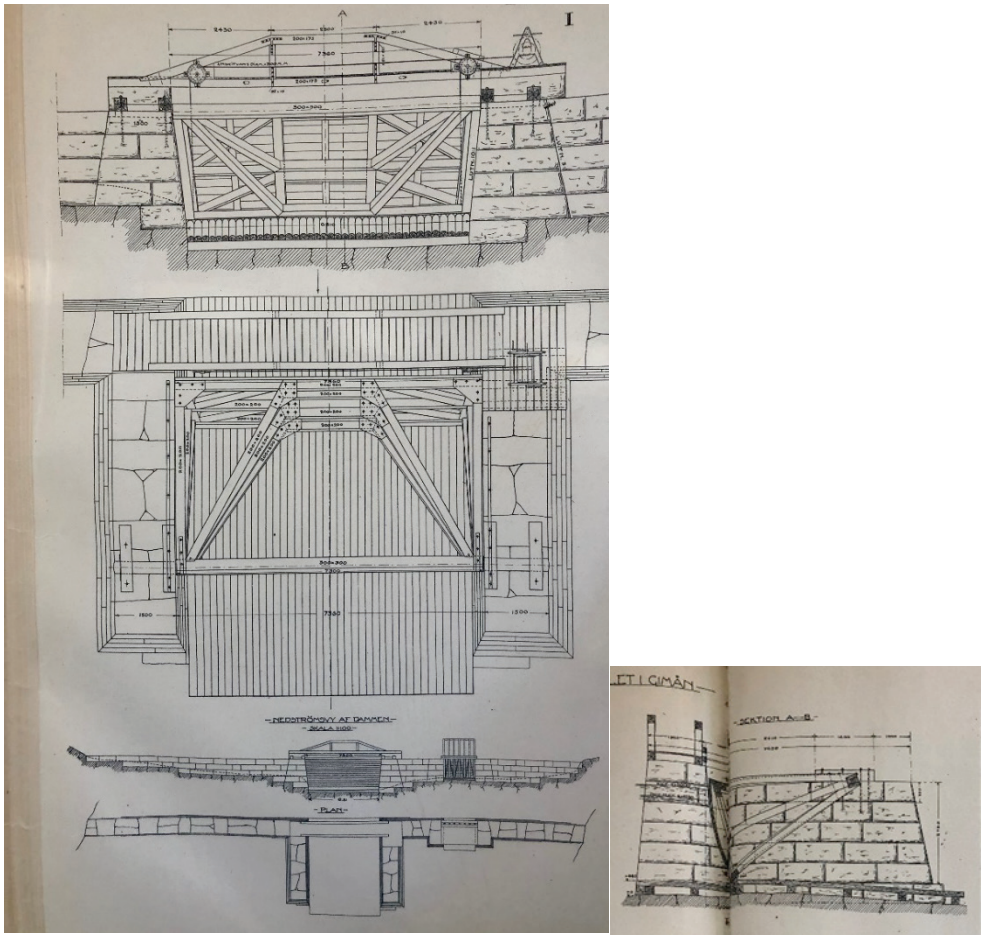
Figur 3.17 Stenmurverksdamm grundlagd på stenhölster/forsnacke (Näslund, 1915).

Lera och grus

En grundläggningsvariant med lera och grus framkommer i (Rinman, 1788). En fet och tät lera anges ha egenskapen att den inte lätteligen luckras upp i vatten samt att den ger god täthet. Grusfyllningen läggs ovanpå och skyddar leran.

3.3.2 Berggrundläggning

Likt många andra dammar grundlades stenmurverksdammar på berg. I vissa fall användes rustbäddar för att jämna ut berget. Detta beskrivs i avsnitt 3.3.2. Av (Näslund, 1915) framgår en flottningsdamm grundlagd på berg (Figur 3.18). Grunden är pallsprängd. Dammarna och slusskroppar är uppförda av kilad sten i kallmur och fogstrukna.



Figur 3.18 Dammbyggnad för Storselet i Gimån, skala 1:25, mått i mm [Plansch 28, Flottningsmaterial och flottledsbyggnader, 1915] (Näslund, 1915)

Av (Rinman, 1794) framgår några noteringar om berggrundläggning:

- Vattenläckage som tränger sig in mellan berghäll och grundstock brukar kunna förhindras genom att plankstycken som i den ena änden täljs helt tunna och sedan neddrives vid den främsta timmerväggen. Då den tunna tillvässade plankan slogs emot det ojämna berget sprack änden och tätade utrymmet mellan berg och stock. Denna metod kunde användes då stoppning och mossning ej blev tillräckligt tätt.
- Bergknallar som ej kan inbyggas i dammen bör helst avbrännas med eldning och ej genom sprängning pga att läckagevägar kunde bildas.
- I sämre bergarter kunde sprickor förekomma. Dessa var svåra och emellanåt omöjliga att få täta. Dock anges sådana bergläckor ej leda till större uppskärning. I de fall inläckaget och sprickornas öppning kunde lokaliseras kunde dessa förslutas genom att nedföra större mängder sågspån eller kolstybbe från gran och furu. Detta infördes med hjälp av läckageflödet alternativt genom inslående av träkilar och skeppsdrev.

3.3.3 Rustbädd

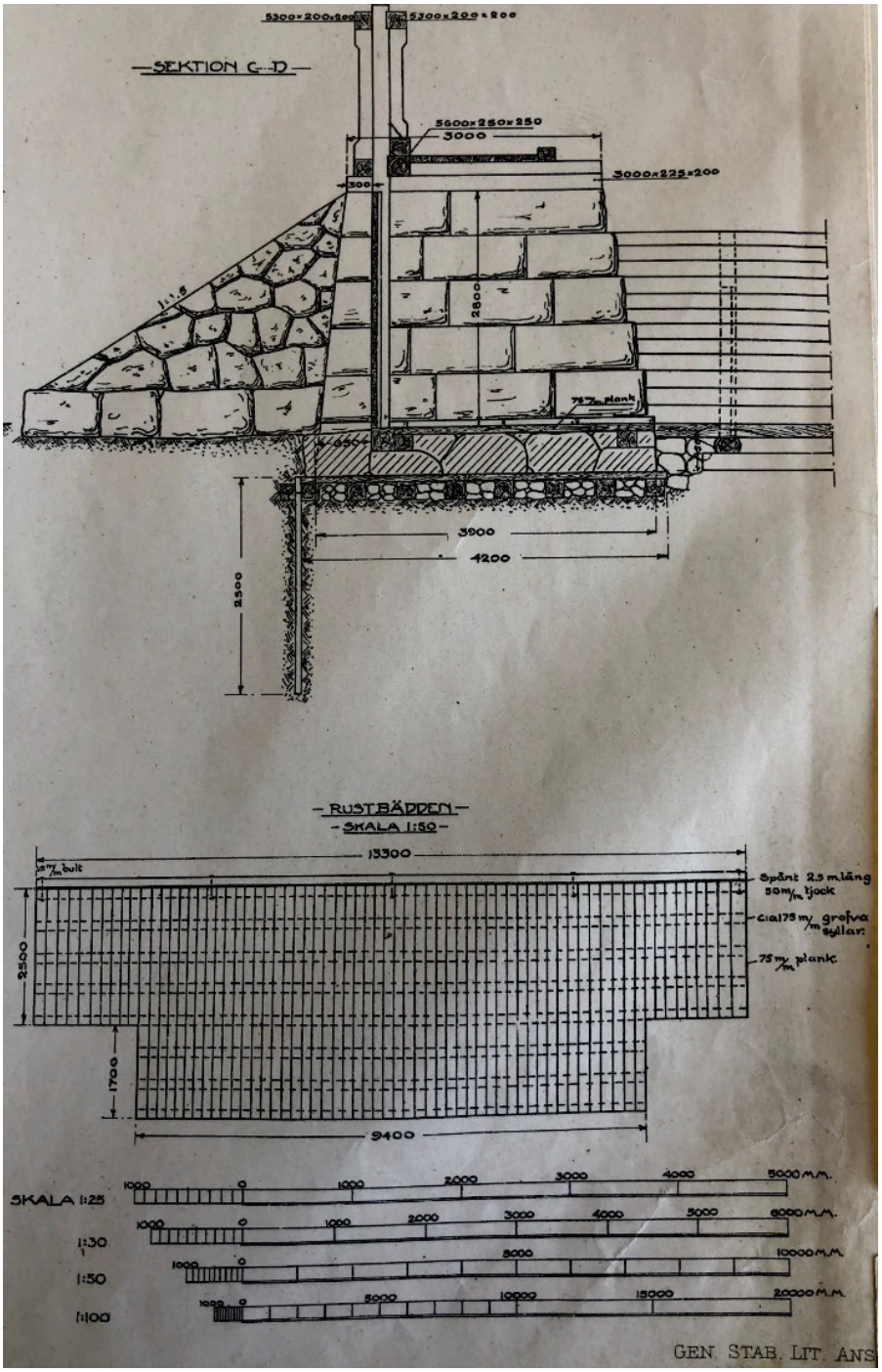
Vid grundläggning av stenmurverksdammar finns dokumenterat att rustbäddar var vanligt förekommande. En rustbädd förstärker grundläggningen och förbättrar dess egenskaper inför uppförandet av en konstruktion. Av bland annat Figur 3.6, Figur 3.15 , Figur 3.16 framgår en stenmurverksdamm där tätning består av inmurade väggar och kistor av timmer. Utrymmet mellan väggarna och kistorna fylldes och packades med god fyllning. Rustbädden anlades antingen under hela dammen för att förbättra grundens bärighet och tätning (Figur 3.15) eller i dess uppströmskant för att förbättra grundens täthet i de fall den nedre muren grundlagts mot fast och stenbunden grusgrund (Figur 3.16). Fyllningen i rustbädden (a, b, c, d) bestod av väl sammanpackad ör och pinnmo (Rinman, 1794).

I Bilaga 1 finns flera exempel där rustbädd troligen har använts, se bland annat Damm 6.

Av (Rinman, 1794) framgår att fullkomlig täthet bör vinnas i grunden och att rustbäddar av timrade och väl fyllda kistor med tätt material i synnerhet bidrog till detta. Rustbäddarna grävdes ned jäms med eller något under ursprunglig botten. Till rustbädd benämns gott furuvirke vara allmänt vedertagen som bäst och som under vatten kunde uthärda flera mansåldrar. En stadig grundfyllning skulle i synnerhet läggas i linje och i våg under främsta murväggen.

I de fall det fanns tillgången till kalk och kalkgrus samt krossad hammarstensslagg gjorde detta en god verkan om det instampas där gäslera (silt) förekom i rustbäddens grundkistor (Rinman, 1794).

Av (Näslund, 1915) framgår en dammbyggnad uppförd på grusbotten med dammarmar av grus, slussväggar av sten och luckkonstruktion av trä (Figur 3.19). Slusskroppen är utförd av kilad sten i kallmur och fogstruken. Dammen vilar på en nedschaktad rustbädd av sparrar och plank. Rustbädden har 175 mm grova syllar och plank om 75 mm. Framkanten av rustbädden försedd med en nedslagen plankspont som med följare är fastskruvade i rustbäddens främre sparre. Av ritning framgår att sponten är 2,5 m lång och 50 mm tjock. På rustbädden mellan slussväggarna är en fyllning av sprängd sten som blandats och tätats med finslagen makadam och grus.



Figur 3.19 Dammbyggnad för Skivsjön i Rinnån. Överst sektion som visar rustbädd och spont, underst utformning av rustbädd. Skala 1:30 mått i mm (Näslund, 1915).

3.4 BESTÅNDSDELAR

I detta avsnitt beskrivs de främsta beståndsdelarna som ingår i en stenmurverksdamm. I avsnitt 2 framgår viss nomenklatur och andra förklaringar.

3.4.1 Mursten

Natursten

Till mursten användes ofta bearbetad natursten vilket bland annat kallas för huggen sten, kilad sten eller tuktad sten (författarnas tolkning). Ofta användes hårdare bergarter som granit eller gnejs, men även andra bergarter som kalk- eller sandsten finns noterat i underlaget.

I (Rinman, 1794) anges att lämpliga stenarter kunde vara en gråstenssort eller granit som är en mycket skimmerblandad och ger rätkluvna stenskiftningar. Skiffrig sandsten eller flerskiktade kalksten kunde också enkelt utformas i kantig form.

Gråstenarna bör vara huggna i sådan form på fem sidor av murstenen att uppströmssidan/visesidan är en liten mån större för att stenarna med fina kanter ska sluta tätt intill varandra. Berg av sandsten kunde också utnyttjas helst om de kan erhållas väl tjocka till 10-12 tum (ca 25 – 30 cm) eller större och minst 3 kvarters (ca 45 cm) bredd om de läggs på flatan med utåtvänd kant. Samma anmärkning gäller också då berg av kalksten nyttjas. Att lägga det ena varvet på flatan med utåtvänd kant och att därpå resa det andra lagret på kant med flatsidan utåt ger också att sten kan besparas, dock med sämre beständighet över tid. Varje varv bör vara av lika höjd så att murningen kan ske med förband alternativt att det undre lagrets skarvar täcks av det övre lagrets murstenar och planeras efter stenarnas form/huggning (Rinman, 1794).

Murmästaren skulle se över att murningssättet utfördes korrekt och att stenarna passar ihop utan bruk. Därefter kunde stenarna lyftas upp och underbäddas med cement. Den ohuggna bakkanten av murstenen lades efter lod i huvudmuren. Först lades murstenen på träkilar som sedan byttes ut mot passande stenskärvor vilka slutligen drevs in med träklubba (Rinman, 1794).

Till hörnen, vid öppningar för ex. utskov, ansågs att de starkaste hörnstenarna skulle väljas och förstärkas med ankarjärn eller inmurade kramlar. Arbetet ansågs behöva utföras av en erfaren byggmästare (Rinman, 1794).

Av (Wedholm, 1869) framgår att granit och gnejs (gråstenssorter) var ett allmänt känt och nödvändigt byggnadsmaterial. Båda bestod av fältspat, kvarts och glimmer. Granit anges vara kornig och gnejs skiffrig blandning av mineralerna. Ju grovkornigare bergarten var desto svårare var den att bearbeta/hugga och mura stenmurar med vilket då också påverkar murens styrka.

Slaggsten

Vid järn- och kopparverk var så kallade slaggvarpar ofta till stort besvär för bruksägarna. Efter ett tag kom man på att slaggen kunde ledas från ugnen till formar för att framställa en mursten. En sådan sten tålde både stark hetta och fuktig väderlek och kunde således vara användbar till eldstäder och skorstenar. Det anges att slaggstenarna i synnerhet var lämplig till murning under vatten, såsom uti dammar och vattenledningar. (Lauræus, 1748).

Av (Mörk, 1756) framgår att slaggmängden årligen växte vid hyttor och masugnar och blev till besvär för ägaren då slaggen var tvungen att föras bort till en kostnad. Istället kunde ett tegel erhållas som hade egenskaper som vanligt lertegel inte hade. Bland annat rötades aldrig slaggteglet och tog inte skada av vattnet. Slaggteglet anges ha använts vid Edsbro och Korsnäs masugnar.

3.4.2 Brukstyper

Följande beskrivning av egenskaper hos olika bruk gäller allmänt för murade konstruktioner. Informationen är hämtad från (Humble, 1990) och (Burström, 2001). Mycket lite information om de brukstyper som använts för stenmurverksdammar har hittats och beskrivningen är därför mer allmän med en kortare diskussion i slutet av avsnittet.

Murbruk är en blandning av bindemedel, ballastmaterial, vatten och eventuella tillsatsmedel. Kvalitet och egenskaper på bruket är viktigt för murens krympnings- och svällningsrörelser.

- Bindemedel kan vara kalk, cement eller murcement eller blandning av kalk och cement.
- Ballastmaterial utgörs vanligen av sand.
- Tillsatsmedel kan vara luftporbildande ämnen, vattenreducerande tillsatser, frostskyddsmedel (vid murning under vintern).
- Vatten, som ska vara fritt från skadliga föroreningar.

Ett hydrauliskt bruk kan binda under vatten, medan ett icke-hydrauliskt bruk måste ha tillgång till luftens koldioxid för att karbonatisera och få hållfasthetstillväxt.

Av (Humble, 1990) och (Burström, 2001) framgår fyra brukstyper som används vid murade byggnader. Dessa är kalkbruk, kalkcementbruk, cementbruk och murcementbruk. Fram till andra världskriget var kalkbruk dominerande.

Cementtillsatser kom att bli vanligt i och med vintermurning (där avser ordet cement den moderna beskrivningen).

Kalkbruk består av kalk (vanligtvis användes torrsläckt kalkpuderkalk), sand och vatten.

Kalk tillverkas av kalksten som krossas och upphettas varvid osläckt (eller bränd) kalk erhålls. Innan den kan användas måste den släckas, vilket kan göras genom våtsläckning eller torrsläckning (Burström, 2001).

Kalk kan vara ett icke hydrauliskt bindemedel eller ett hydrauliskt bindemedel. Som icke hydrauliskt kallas det kalk eller luftkalk och består vanligen av minst 80 % kalciumhydroxid. Hydraulisk kalk består av minst 60 % kalciumhydroxid och minst 6 % kiseldioxid i form av silikat. Murbruk av hydrauliskt kalkbruk kan inte lagras längre än 4 – 6 h, medan rent kalkbruk kan lagras så länge det är täckt av vatten.

Enligt (Burström, 2001) härdar ett icke-hydrauliskt kalk i två steg. Först sker en torkning (men inga kemiska processer) vilket ger viss hållfasthet. Sedan reagerar

bruket med luftens koldioxid och karbonatiserar, varvid den egentliga hållfastheten fås. Detta går mycket långsamt och kräver att vattenhalten är låg (ca 50-90% RF). Det sker från ytan och inåt. Exempel som beskrivs är att det tar ca en månad för 10 mm att bli helt karbonatiserad och att tjocka murverk ännu efter flera hundra år inte är genom karbonatiserat.

Ett hydrauliskt kalkbruk hårdnar på liknande sätt som ett kalkcementbruk (se nedan) och härdar därmed under vatten genom hydratation. De hydrauliska komponenterna reagerar snabbt, men kalken ger en långsam hållfasthetstillväxt.

Kalkbruk anges i (Humble, 1990) vara vad som vanligtvis använts vid äldre murverk fram till åtminstone andra världskriget (med få undantag). Vidare anges att kalkbruk medger genom uppkomst av mikrosprickor att stenarna kan röra sig inbördes och konstruktionen kan betraktas som plastisk. Förutsättningarna för det är att rörelserna sker tillräckligt långsamt. Sker sättning plötsligt eller ojämnt kan synliga sprickor uppstå. I murverk med starkare bruk (som exempelvis cementbruk) blir antalet sprickor mindre, men allvarligare. Äldre murverk saknar dilatationsfogar och rörelser fördelas över hela konstruktionen. Det är således positivt för murverk att bruket är svagt.

Cementbruk görs av cement, sand och vatten och måste användas inom 2 h efter det blandats ihop. Cement görs av mald klinker (kalksten med vissa tillsatser) bränd vid ca 1450°C. Cementbruket hårdnar genom kemisk reaktion med vatten, hydratisering.

Kalkcementbruk består av kalk, cement, sand och vatten och måste användas inom 3-4 h efter blandning. De två bindemedlen kalk och cement har olika egenskaper och brukets egenskaper beror därför på proportionerna mellan dessa bindemedel. Cement härdar relativt snabbt medan kalken ger en långsam hållfasthetstillväxt. Kalken förbättrar brukets arbetbarhet. Ökande cementhalt ger ökad hållfasthet

Murcementbruk består av murcement, sand och vatten och måste användas inom 3-4 h efter det blandats ihop. Murcement är finkornigare än vanlig cement. Murcement består av portlandklinker som malts tillsammans med gipssten och kalksten. Detta görs för att förbättra det färdiga brukets smidighet. Andelen cementklinker måste överstiga 40 %.

I (Humble, 1990) beskrivs att övervägande delen av äldre murverk är murat med kalkbruk. Egenskaper hos ett reparationsbruk bör då ha liknande egenskaper: samma hållfasthets- och deformationsegenskaper (hellre lägre hos reparationsbruket än högre), porstorleksfördelning och fukttransportförmågan bör vara jämförbar, bruket bör innehålla minsta möjliga mängd vattenlösliga salter och härda med tillfredsställande hastighet.

Vidare beskrivs att **cementbruk** har nackdelar så som att det är:

- För starkt och därigenom gör att påkänningar överförs till äldre delar som kan spricka.
- Har högre värmeutvidgningskoefficient och vilket kan ge påkänningar i övriga delar av konstruktionen.

- Cementet bildar vattenlösliga salter under härdningen och dessa kan orsaka skador när salterna kristalliseras (vid avdunstning). Eventuellt är detta inte ett problem för konstruktioner i vatten.
- Cementbruk har låg porositet och små porer vilket hindrar vattentransport. Detta kan leda till skador om fukt stannar kvar i konstruktionen.

Kalkbruk (icke-hydrauliskt) har nackdelar så som:
- Fordrar erfarenhet. Vattentillsats förbättrar arbetbarhet men försämrar hållfasthet, svårt att hitta rätt avvägning.
- Härdar långsamt och bör ej utsättas för regn eller vatten förrän lång tid efter anbringandet.
- Härdningen är beroende av att luftens koldioxid reagerar med bruket. I tjocka konstruktioner sker detta mycket långsamt i kärnan.
- Låg draghållfasthet.

Men fördelar så som:
- Hög andel stora porer vilket gynnar fukttransport och ger god frostbeständighet.
- Stor deformerbarhet och kan anpassa sig till sättningar och andra rörelser.

Kalkcementbruk har nackdelar så som:
- I torr miljö härdar inte cementbruket. I våt miljö härdar inte kalkbruket. Det blir därmed svårt att förutse mekaniska egenskaper.

Information om användandet av olika bindemedel för stenmurverksdammar är som tidigare beskrivet bristfällig. Som framgår ovan användes kalkbruk allmänt för murverkskonstruktioner fram till mitten av 1900-talet. Användandet av kalkbruk för stenmurverksdammar torde ha begränsats till hydrauliskt kalk eftersom det kan härda under vatten. Icke-hydrauliska bindemedel i form av vissa kalkbruk användes i ej vattentätande delar av murverket.

Vidare kan konstateras att begreppet ”cement” användes även innan den moderna cementtillverkningen kommit igång. Med ”cement” avsågs då ett hydrauliskt bindemedel som användes i den vattentätande delen av murverket.

Cement, Cementum, betyder sådant murbruk, som hårdnar under vatten och nyttjas til vattutäta cisterner, källarhvalf, slussbyggnader, med mera, och hvartil vanligen i alla tider varit nyttjad en blandning af den Cölniska, eller Holländska så kallade *Tarras*, eller *Trassen*, eller ock *Terra Pouzzolana* från Italien, med en viss del kalk sammanbråkad, då til murningen äfven brukas sådant tegel, eller klinkert, som står emot väta. Se *Vattuklinkert*.

Huru bränd alunskiffer kan med lika godt bestånd brukas i stället för Tarras til cement, se Kongl. Vet. Acad. Handl. 1771, s. 72 och 73 samt ordet *Tarras*. Nyare förbättring härutinnan med *syrkalk*, blandad med 1/5 *osläckt kalk*, kan inhämtas af Hr. LORIOTS rön uti en särskilt Memoire, hvaraf recension finnes uti *Samlingar af senare rön och uptäckter i Physiquen, Chemien &c.* tryckte i Götheborg 1781, 1 Band, s. 213 och 272; äfven af Hr. HIGGINS rön uti samma ämne, införde uti andra bandet af berörde Samlingar s. 193 och följande.

En art cement göres ock af smält beck med inrörd kalk och järnslagg, men är ej nog biständigt uti vattubyggnader, där becket efterhand af vattnet uplöses; men kalk och tegelmjöl ensamt, eller än bättre kalk 4 delar, tegelmjöl 1½ del, stenkolsaska ¼ del och ren sand ½ del med vatten sammanbråkadt gör et ganska hårdt och fast cement emot väta. Likaledes god kalk 2 delar, sand 1½ del, tegelmjöl 1 del, järnbårrspån, eller slipgrom, 1 del, sammanbråkadt, jemte litet stenkols fot, eller aska, som et murbruk, med vatten, gör et ganska starkt cement, som hårdnar uti väta. Om flera arter af cement kan utförligare läsas Kongl. Vet. Acad. Handl. för 1770, s. 189-206; samt för 1773 s. 97-116 och 298. Jämnför ordet *Kalk*.

Figur 3.20 Definition av cement från 1789. Utdrag ur (Rinman, 1789).

3.4.3 Tätjord

Vid tätning av stenmurverksdammar och dess grundläggning har flera olika jordar och växter förekommit. Bland annat omnämns björnmossa, dytorv, bränntorv, örjord, pinnmo, lera i denna rapport. Beskrivning av hur och var dessa användes framgår av avsnitt 3.2 och 3.3.

3.4.4 Behovet av underhåll

Underhållsåtgärder är nödvändiga för att säkerställa dammkonstruktionens dämmande förmåga över tid. Beroende på uppbyggnad bör underhållsåtgärderna inkludera avlägsnandet av träd och sly, åtgärdande av skadade fogar samt erforderliga övervakningsinsatser (se kapitel 6).

Av (Wedholm, 1869) framgår att dammbyggnader nästan årligen behöver ses över och omläggas. Reparationer utfördes när vattenståndet eller vattenströmningen var som lägst, vilket var som vanligast ifrån mitten av sommaren till slutet av augusti. Dammreparationer bestod i att upptäcka och täta läckage, framför allt där skärning kunde befaras (*haveri pga läckage/inre erosion)*, förbättra trävirket såsom skibord, dammluckor m.m., samt täta och fylla ut vid dammluckorna.

4 Potentiella felmoder

I syfte att möjliggöra analys och bedöma en damms säkerhet är det nödvändigt att förstå dess funktion. I detta avsnitt görs genomgång av information gällande de potentiella felmoder som kan förväntas för olika typer av stenmurverksdammar.

Hur en stenmurverksdamm fungerar beror till stor del på dess uppbyggnadssätt och vilka förutsättningar den givits vid uppförandet. Vidare inverkar olika nedbrytningsprocesser och verkande laster.

I kommande avsnitt görs genomgång av funktionssätt och felmoder. Indelningen är baserad på ICOLDS beskrivning av övergripande felmoder (ICOLD - Committee on dam safety, 2017) och inkluderar följande:

- Täthet
- Stabilitet
- Beständighet

ICOLDS sammanställning av dammhaveri (Svenska kraftnät, 2019) visar att murverksdammar stått för 2/3 av haverierna i gravitationsdammar och att brister i dammkonstruktion/grund står för 50% av haverierna och överströmning för 25%. Ca 4% av dammarna byggda före 1925 har rasat, motsvarande av de byggda 1925-1950 är ca 1% och efter 1950 ca 0,5%. Observera att ICOLD fokuserar på dammar högre än 15 m, men att de dammar som fokus är på inom ramen för detta uppdrag är lägre än så. Vidare bör även noteras att murverksdammarna som avses ovan även kan vara av typen med sten i bruk genomgående i dammkroppen.

Ingen ytterligare analys har gjorts av murverksdammar som havererat inom ramen för detta uppdrag. Några exempel har framkommit vid litteraturgenomgången, men utan att närmare detaljer varit möjliga att ta del av.

I RIDAS (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) behandlas stenmurverksdammar översiktligt under Tillämpningsvägledning kapitel 9 ”Övriga dammar”. Norges vassdrags- och energidirektoriat, NVE, gav 2011 ut riktlinjer för murdammar (NVE, 2011) där uppbyggnad, dimensioneringsprinciper och konstruktionsmässiga krav och materialkrav formuleras. Information från dessa dokument har inarbetats i nedanstående genomgång tillsammans med underlag från andra källor.

Fokus på genomgången av potentiella felmoder har varit stenmurverksdammarnas dämmande förmåga. Den avbördande förmågan och frågor relaterade till exempelvis överströmning eller erosion vid avbördning, har inte analyserats.

4.1 ALLMÄNT

De felmoder som är aktuella beror framförallt av konstruktionens uppbyggnad och grundläggningsförhållanden. Nedan görs sammanfattning av förväntat beteende utifrån olika uppbyggnadssätt och indelningen görs i felmoder som berör täthet,

stabilitet samt beständighet. Observera att det finns ett flertal interaktioner mellan dessa och att tex. beständighetsfrågor till stor del påverkar täthet och stabilitet.

I (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) lyfts det fram att:

- I de fall stenmurverket har fogar av bruk kan dessa övertid skadas av ex. frost och vattenströmning. Särskilt fogarna som är inom regleringsamplituden bör hållas under uppsikt. Om fogarna skadas kan detta leda till läckage som orsakar urlakning och nedbrytning av dammens stabiliserande del. Försämrad tätning leder också till ökat upptryck vilket påverkar dammens stabilitet negativt.
- Vatten som fryser inuti dammen kan ge upphov till att stenar förskjuts. Detta påverkar dammens stabilitet.
- Vid överströmningsbara stenmurverksdammar kan lyftkraften orsaka att stenar som inte är välförankrade alternativt där fogarna är skadade lossnar i samband med avbördning.
- Vidare lyfts också islast fram som en potentiell felmod och kan ge upphov till sprickor och deformationer.

4.2 TÄTHET

Tätheten beror på vilket vis dammens tätning är uppbyggd. Vilken inverkan nedsatt täthet har på konstruktionen beror också på dammens uppbyggnad och grundläggning.

Nedan ges kortfattade beskrivningar av vad som kan orsaka försämringar i tätheten av dammkroppen och i grundläggningen samt vilken inverkan detta kan förväntas ha för olika uppbyggnad. En sammanfattning av felmoderna för olika uppbyggnad ges i Tabell 4.1.

4.2.1 Orsaker till bristande täthet i dammkroppen

För dammar tätade med bruk kan läckage orsakas av urlakning eller skador i bruket, eller rörelser som orsakar uppsprickning.

För dammar med tätning av tätjord kan inre erosion av tätjorden genom uppströmsmuren eller grundläggningen orsaka läckage.

Där tätjorden är belägen uppströms kan även ex. vågerosion eller erosion vid spill som förflyttar tätjorden eller ger skador orsaka läckage.

I de fall då träkonstruktioner (eller annat organiskt material) finns inbyggda kan nedbrytning ge upphov till läckagevägar.

4.2.2 Felmoder kopplade till bristande täthet i dammkroppen

Bristande täthet i dammkroppen kan ge ökande urlakning av bruk och försämrad inre stabilitet. Vid urlakning kommer läckagemängderna att öka vilket leder till en accelererande urlakning. Urlakningen kan leda till bristande sammanhållning i dammkroppen. Felmoden gäller för dammar tätade med bruk i någon del av, eller hela, dammkroppen.

Ökande läckagemängder i dammkropp eller grundläggning kan leda till ökat upptryck vilket ger försämrad stabilitet. Detta är särskilt allvarligt för dammar som är genomgående tätade med bruk. För dammar med en dränerande dammkropp innebär ökande läckagemängder troligen i de flesta fall en viss försämring av stabilitet, men inte i samma utsträckning som för en tät dammkropp.

Ökat läckage behöver inte innebära problem, men kan leda till erosion nedströms och att stenar kan tryckas ut på grund av frysning (se vidare i avsnitt 4.4.6). 4.4.6

Materialtransport i dammkropp eller grundläggning (inre erosion) kan förväntas leda till sjunkgropar och sättningar, vilket försämrar stabilitet och kan ge upphov till ras och överströmning.

Läckage kan även leda till ökat portryck i kärnan för en skalmursdamm, vilket kan leda till försämrad stabilitet.

4.2.3 Orsaker till bristande täthet i grundläggningen

Tätheten hos grunden beror på vilket vis grundläggningen är utförd. Det finns också samverkande faktorer mellan hur dammkroppen är uppförd och hur grundläggningen är utförd. Felmoderna kopplade till grundläggningen är i stort sett desamma som för jord- och berggrundlagda betong- och fyllningsdammar. Som beskrivits tidigare i rapporten var dock grundläggning på rustbäddar av olika typ vanligt förekommande, vid grundläggning på jord såväl som på berg.

Läckage kan ske på grund av grundläggning på uppsprucket berg, för otäta jordmaterial, vattenförande lager i grunden, otillräckliga tätningsåtgärder eller nedbrytning av tätningen (se vidare under beständighet) eller nedbrytning ingående trävirke i en rustbädd.

Inre erosion i grundläggningen kan uppkomma på grund av otillräckliga tätningsåtgärder eller nedbrytning av tätningen (se vidare under beständighet), men också på grund av vattenförande lager i grunden.

4.2.4 Felmoder kopplade till bristande täthet i grundläggning

Felmoder kopplade till täthet i grundläggning är dels felmoder som inträffar i grunden i sig, men framförallt hur bristande täthet påverkar dammkroppen.

Bristande täthet kan leda till ökande upptryck under dammen vilket leder till försämrad stabilitet (påverkar framförallt dammar med tät dammkropp). För skalmurar med tätande kärna kan bristande täthet i grunden leda till ökade portryck i tätningen, vilket även de ger försämrad stabilitet. Ökande portryck kan även ge försämrad stabilitet mot glidytor i grundläggningen (vid jordgrundläggning).

Läckage i grunden kan leda till inre erosion av tätjord eller kärnmaterial ner i sprickor i grunden, eller längs kontaktytor mot grunden.

Läckage i grunden kan även leda till inre erosion i grundläggningen i sig.

Läckagevägar och inre erosion kan leda till sättningar i grunden.

4.2.5 Sammanställning av orsaker till bristande täthet och möjlig påverkan på stenmurverksdammar beroende på uppbyggnad

En sammanfattning av felmoderna för olika uppbyggnad ges i Tabell 4.1. Denna sammanfattning bör ses som exempel på möjliga felmoder för olika uppbyggnad, men den unika dammens uppbyggnad och förutsättningar behöver beaktas för att identifiera och analysera de felmoder som kan vara aktuella.

Tabell 4.1. Sammanställning av orsaker till bristande täthet och möjlig påverkan på en stenmurverksdamm. För dammarna där felmoden bedöms vara relevant markeras med X. För de dammar där felmoden möjligen kan vara relevanta är markerade med (X).

	Tätande bruk på us-sidan			Uppströmsliggande tätjord		Dubbelsidig mur med inre tätning	
	Dammkropp tätad med bruk	Kallmur	Skalmur	Kallmur	Skalmur	Tätjord eller torv	Träkista med tätjord eller torv
Brister i täthet kan orsakas av:							
- Urlakning av bruket	X	X	X				
- Frostskador i bruket	X	X	X				
- Rörelser som orsakar uppsprickning av bruk	X	X	X				
- Inre erosion av tätjorden genom muren eller grundläggningen (kan tex påverkas av rörelser i muren som orsakar sprickor, eller att tätjorden är för fin i förhållande till fogar i nedströmsmuren)				X	X	X	X
- Inre erosion i grundläggningen (vid jordgrundläggning eller rustbädd)	X	X	X	X	X	X	X
- Vågerosion eller erosion vid spill (eller annan erosion) som förflyttar tätjord				X	X		
- Nedbrytning av träkista (eller annat organiskt material) som ger upphov till nya läckagevägar eller sättningar							X
Brister i täthet kan leda till:							
- Ökande urlakning av bruk och försämrad inre stabilitet	X						
- Ökat upptryck och minskad stabilitet eftersom dammkroppen i övrigt är relativt tät	X	(X)		(X)			
- Ökad vattengenomströmning och läckage nedströms	X	X	X	X	X	X	X
- Erosion eller inre erosion i grundläggningen	X	X	X	X	X	X	X
- Materialtransport av kärnmaterialet. Detta består troligtvis vanligen för denna konstruktionstyp av jordmaterial av olika fraktioner (ej tätjord). Materialtransport av kärnmaterialet kan förväntas leda till sjunkgropar och sättningar samt försämrad hållfasthet och stabilitet.			X		X		
- Materialtransport av tätmaterialet i kärnan, vilket kan leda till sjunkgropar och sättningar						X	X
- Ökat portryck i kärnan (beror på storlek på läckage samt kärnans sammansättning), vilket kan leda till försämrad stabilitet.			(X)		X	X	X

4.3 STABILITET

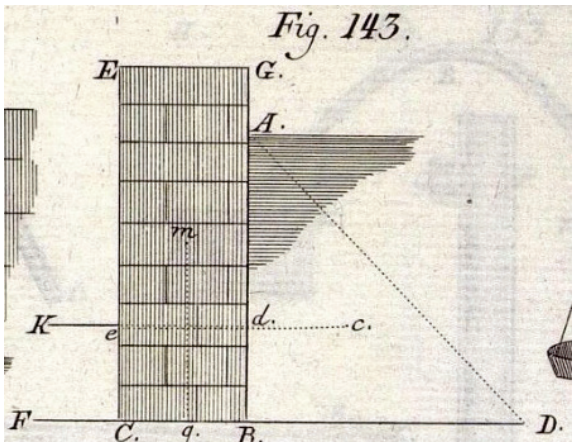
Dammens stabilitet beror av dess utformning, uppbyggnad och grundläggning. I kommande avsnitt redovisas olika referenser och synsätt på stenmurverksdammar och stenmurars stabilitet. Stenmurverksdammar har likheter med stödmurar uppbyggda med stenmurverk, detta gäller framförallt kallmurskonstruktioner och skalmurar. En mindre genomgång görs därför även av stabilitet för denna typ av stödmurar.

I slutet av avsnittet redovisas för de olika dammtyperna hur stabiliteten kan analyseras.

4.3.1 Historisk tillbakablick

I (Nordvall, 1800) beskrivs hur bredden för en murverkskonstruktion enligt Figur 4.1 ska tas fram. Beräkningen utförs som stjälpningskontroll kring punkten C med vatten som belastning. Det framgår ingen information om inkluderande av några ytterligare laster eller någon säkerhetsfaktor. Som exempel beskrivs att om vattnets och murens egenvikt har relationen 1:2 behöver en 18 (ca 5,5 m) fot hög mur med 15 fot vattentryck (ca 4,5 m) vara $5\frac{3}{5}$ fot bred (ca 1,7 m).

Det finns även hänvisat till annan litteratur på ämnet. Det förefaller därmed som att stjälpstabilitet beaktades i slutet av 1700-talet, men att säkerhetsfaktorer troligen inte inkluderades. Vidare förs inget resonemang kring murens monolitiska sammanhållning, men baserat hur beräkningen utförs görs antagandet att muren kommer fungera som en monolit.



Figur 4.1. Figur för stabilitetsberäkning, från (Nordvall, 1800).

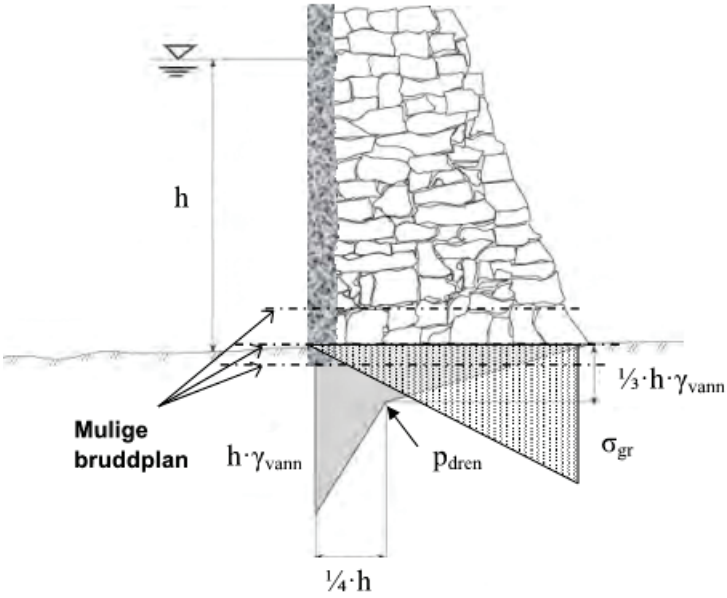
4.3.2 Rekommendationer enligt NVE och diskussioner kring dessa

Enligt (NVE, 2011) kan konstruktioner där murstenarna i sin helhet är fogade eller förlagda i cementbruk/betong betraktas som gravitationsdammar och beräknas som sådana. Analyserna omfattar därmed:

- glidning längs kontaktytan, längs eventuella sprickplan i undergrunden samt eventuella svaghetsplan i konstruktionen.
- stjälpning och resultantläge.
- kontroll av påkänningar på grunden.

Förutsättningarna för att ovanstående kriterier ska uppfyllas är att dammkroppen är intakt och att fogarna klarar av att överföra krafter så att konstruktionen kan fungera som en monolit. För kraftigt urlakade konstruktioner där cementbruk eller fogmassa försvunnit med tiden kan andra hänsyn behöva tas i och med att konstruktionens verkningssätt kan ha förändrats. Även i (Huges, u.d.) beskrivs att masonry dams (dvs murade dammar) beter sig som betongdammar, men att haveri ofta relateras till nedbrytning av bruket.

(NVE, 2011) rekommenderar att även konstruktioner med en uppströms tätning och en effektiv dränering av nedströms dammkropp kan analyseras som gravitationsdammar enligt ovan. Portryckfördelningen kan då antas reducerad jämfört med den linjärt avtagande fördelning som används för gravitations-dammar, detta med hänsyn den dränerande effekt som avsaknaden av fogar och bruk i dammkroppen har.

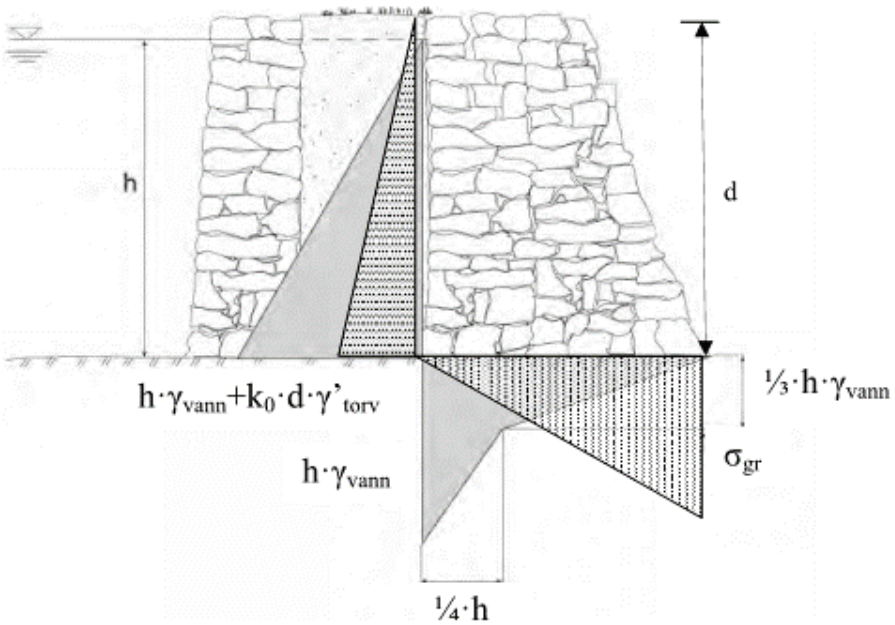


Figur 2.1 Poretrykk under tørrmurte dammer med oppstrøms tetning på fjell med trykkspenninger i hele fundamenttverrsnittet.

$$p_{dren} = k \cdot h \cdot \gamma_{vann}, \text{där } k = \frac{1}{3} \text{om inte undersökningar eller beräkningar visar annat}$$

Figur 4.2. Upptrycksfördelning för stenmurverksdamm med tät front och dränerad dammkropp, från (NVE, 2011).

För stenmurverksdammar med invändig tätning av torv eller andra lösmassor och en nedströmsliggande dammkropp rekommenderas enligt (NVE, 2011) att stabiliteten beräknas för jordtryck och vattentryck enligt Figur 4.3.



Figur 2.2 Poretrykk under tørrmurte dammer på fjell med torvtetning eller annen løsmassetetning. Mot nedstrøms mur vil det i tillegg til vanntrykk også virke et jordtrykk fra tetningen.

Figur 4.3. Lastfördelning för stenmurverksdamm med mellanliggande jord av torv eller lösmassor. Från (NVE, 2011).

(NVE, 2011) rekommenderar egentyngd för olika material (Tabell 4.2). Notera att egentyngden för natursten och murdamm är högre än för betong.

Tabell 4.2 Rekommenderade egentyngd för ingående material i stenmurverksdammar.

Tabell 2.1 Tabell med angivelse av tyngdetetthet for murdammer

Damtype	Tyngdetetthet [kN/m^3]
Naturstein (granitt), [5]	27
Mørtel, [5]	18
Murdam med stein lagt i mørtel	25
Tørrmurte dammer med tilpasset stein i hele tverrsnittet	21
Røysfylling, tørrmurte dammer	16
Leire og silt – vannmettet	20
Torv – vannmettet* (se merknad nedenfor)	13-20

* Torv er i utgangspunktet et porøst materiale, men strukturen i torven kan brytes ned over tid. Egenvekten kan derfor variere med grad av nedbrytning og grad av komprimering. Hvis det ikke er utført prøver, kan det for stabiliserende masser, forutsettes en vannmettet tyngdetetthet på 13 kN/m^3. Der vekten av massene er destabiliserende kan en vannmettet tyngdetetthet på 20 kN/m^3 benyttes.

Vidare rekommenderas friktionsvinklar för fogar av granit och skiffer (Tabell 4.3).

Tabell 4.3 Friktionsvinkel för ingående material i stenmurverk.

Tabell 2.2 Friksjonsvinkel i fuger for granitt og skifer

Bergart	Friksjonsvinkel
Granitt, bearbeidede bruddflater	33°
Skifer, flater som følger skifrighetsplan	27°
Mørtel mot fjell	40°

I Norge har också utförts ett större projekt där säkerhet för betong- och murverksdammar har utvärderats (Strand, 2017). Resultat från detta sammanfattas här:

Erfarenhet av murdammar indikerar att beräkningsmodeller för stabilitetskontroll förmodligen inte utgör en fullständig beskrivning av säkerheten för dammtypen och att beräkningar är konservativa. Murdammar har en flexibel konstruktion vilket medför att omlagring av krafter kan bidra till en betydligt högre kapacitet mot glidning. När dammen utsätts för statiska laster kan konstruktionen ta större deformationer innan dammen havererar. Med andra ord kommer dammen att ha tydliga tecken på skador om den utsätts för statisk belastning som konstruktionen inte tål. Förmågan att kunna stå emot såväl som att uppta deformationer beaktas inte i nuvarande kriterier (syftar på (NVE, 2011)) för stabilitetskontroll. För murdammar är det viktigt att skilja mellan vilken typ av last som konstruktionen utsätts för. Eftersom murdammar är uppbyggda av sten kommer dynamiska belastningar från strömmande vatten att ge större osäkerheter för dammens stabilitet än de statiska laster som ingår i stabilitetsberäkningen. Det är viktigt att komma ihåg att murdammar kan skilja sig mycket i konstruktion och uppbyggnad, vilket gör att stabilitetsbedömningar kommer att vara beroende av anläggningens konstruktion och tillstånd.

(Konow & Engseth, 2017) menar att kriteriet för påvisande av resultantläge ej är relevant för kallmurade dammar eftersom portrycket inte beror på tryck i grunden (då de enligt Figur 4.3 är dränerade). De menar att det inte kan uppstå drag i en murdamm om det inte finns en armerad platta på vattensidan. Notera att detta skiljer sig mot det som beskrivs i avsnitt 4.3.3 där dragspänning beskrivs som en möjlig orsak till glidbrott i en skalmurskonstruktion. Vidare menar de att det är även svårt att föreställa sig att en murdamm ska stjälpa.

Det rekommenderas vidare att säkerhetsfaktorn för stjälpning sätts till 1,3 medan den för glidning sätts till 1,5, detta eftersom friktionsvinkeln endast påverkar glidning (och är den parameter med störst osäkerhet). Vidare rekommenderas att man kan tillåta lägre säkerhetsfaktorer (1,2 respektive 1,35 för lågt klassade dammar).

Stjälpning kommer enligt (Konow & Engseth, 2017b) normalt sett ej vara dimensionerande för murdammar.

Gällande glidning så konstateras i (Konow & Engseth, 2017b) att murdammar har en flexibel konstruktion. Detta kan leda till omlagring av krafter och bidra till betydande ökning i kapacitet mot glidning. När murdammar belastas med statiska laster kommer konstruktionen kunna ta större deformationer innan dammen havererar. Dammen kommer ha tydliga tecken på skador om den blivit utsatt för

statiska laster som konstruktionen inte tål. Det kan jämföras med principen som används för dimensionering av underarmerade betongkonstruktioner där kapacitet som följer av deformationer och även möjligheten att tåla deformationer inte tas hänsyn till i dagens kriterier (dvs (NVE, 2011)) för stabilitetskontroll.

Erfarenheter av murdammar konstateras enligt (Konow & Engseth, 2017b) tyda på att beräkningsmodellen för stabilitetskontroll antagligen inte ger en fullgod beskrivning av säkerheten för denna typ av dammar, och att beräkningarna är konservativa. I Norge finns 738 stenmurverksdammar med genomsnittlig ålder på ca 100 år. Det finns därför grund att anta att de flesta murdammar varit utsatta för stora belastningar från såväl is som flöden. Inga haverier på kallmurdammar har inträffat de sista 40-50 åren vilket kan tyda på att existerande stenmurverksdammar har en generellt god säkerhet. Det är också värt att beakta att flera stenmurverksdammar har haft skador som reparerats innan de blivit kritiska för dammens säkerhet.

Baserat på detta anser (Konow & Engseth, 2017b) att det är rimligt att befintliga säkerhetskrav för murdammar sätts något lägre än för gravitationsdammar av betong. De rekommenderar att stjälpning kontrolleras med en säkerhetsfaktor snarare än genom resultantläget samt att det kan också finnas anledning att ta bort kriteriet för stjälpning. Glidning kommer normalt vara dimensionerande eftersom friktionsvinkeln är låg.

I (Konow & Engseth, 2017) och (Konow & Engseth, 2017b) påpekas att på murverkskonstruktioner kommer skador från istryck upptäckas genom inspektion antingen i form av en deformation eller som en ökning av läckage. Eventuella skador från istrycket kommer att utvecklas gradvis och åtgärder kan således genomföras innan det finns en fara för säkerheten. Bedömning av om åtgärder genomförs kan således baseras på en kombination av resultat från stabilitetsberäkningarna och kontinuerlig tillståndsbedömning.

4.3.3 Stabilitet för stödmurskonstruktioner

Det finns många likheter mellan stenmurverksdammar och stödmurs-konstruktioner av stenmurverk. Uppbyggnaden av stödmurar i form av skalmurar och kallmurverk är likartat de uppbyggnadssätt som ovan beskrivits för stenmurverksdammar. Andra likheter är att verkande laster framförallt är horisontella och att egentyngden nyttjas för att uppnå stabilitet. Skillnaderna är att stödmurar inte ska vara täta och att den främsta belastningen kommer från jordtryck, medan den största lasten på en stenmurverksdamm vanligen utgörs av vattentryck (islast och jordtryck kan också utgöra stora laster). Med utgångspunkt från likartat uppbyggnadssätt och verkningssätt görs bedömningen att det kan vara relevant att titta på felsätt för stödmurskonstruktioner och en litteraturgenomgång har därför gjorts. Fokus har varit på skalmurverk (på engelska benämnda som rubble retaining walls). Genomgången visas i sin helhet i Bilaga 2 där det även finns information om (mycket gamla) fullskaleförsök på stenmurverk.

Belastningen på en stödmur består i första hand av belastning från jord. Jordtrycket beror på friktionsvinkeln för friktionsmaterial. Då jorden består av

kohesivt material (lera, silt) beror jordtrycket på jordens totala skjuvhållfasthet (friktionsvinkel och kohesion). En undersökning i Storbritannien visade att ingen av de undersökta stenmurverken hade bakfyllning av lermaterial (Brady & Kavanagh, 2002). Vattentryck mot stödmurar förekommer ibland, men är då vanligen orsakad av t.ex. igensatta dränage.

Enligt (Chan, 1996, reprint 2000) kan en tunn mur inte få statisk jämvikt mellan pådrivande jordtryck och stabiliserande krafter, vilket gör att muren rör på sig. Rörelsen kan ge en minskning av jordtrycket som är tillräckligt stor för att jämvikt ska kunna etableras, eller också sker ytterligare rörelse så att muren inte längre kan hålla emot jordtrycket och brott inträffar. Denna typ av brott föregås ofta av att sprickor uppstår och vidgas på krönet, samtidigt som det sker en rörelse av krönet. Det beskrivs att detta är en trolig felutveckling för stödmurar av stenmurverk.

Även i (Eschenasy, 2015) beskrivs detta fenomen där en utåtriktad deformation minskar trycket från vilojordtryck till aktivt jordtryck, varefter en ny jämvikt uppnås. Det poängteras att jämvikten på nytt kan störas av efterföljande händelser (tex en regnig säsong) som på nytt kan öka trycket.

Ett antal felmoder definieras enligt (Brady & Kavanagh, 2002) vanligen för stödmurar:

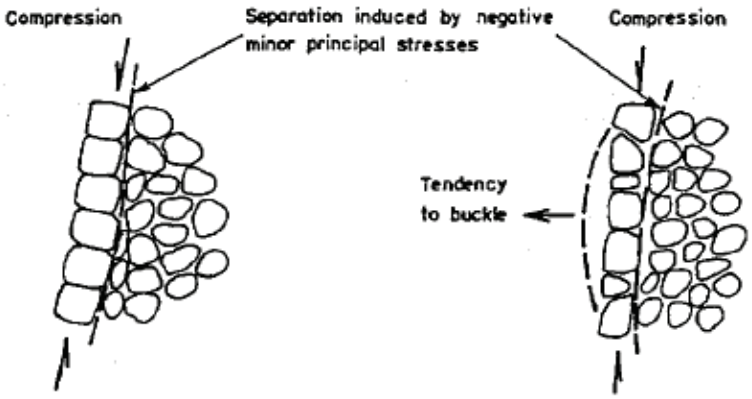
1. Kollaps genom stjälpning
2. Glidning längs en glidyta som skär genom muren
3. Glidning längs en glidyta som skär under muren
4. Glidning längs murens bas
5. Stora sättningar i grunden eller i bakfyllningen
6. Stora rörelser i murens utsida (troligen resultatet av någon av de ovanstående)

Detta stämmer väl överens med Eurokod 7 (CEN, 2005) där kontroll ska göras mot förlust av totalstabilitet, bärighetsbrott, glidbrott, brott genom stjälpning (samt oacceptabelt läckage eller transport av jordpartiklar genom eller under väggen).

Otillräcklig bärförmåga innebär att tryckhållfastheten i grunden överskrids, vilket kan leda till sättningar (5 ovan) eller kollaps (1 ovan).

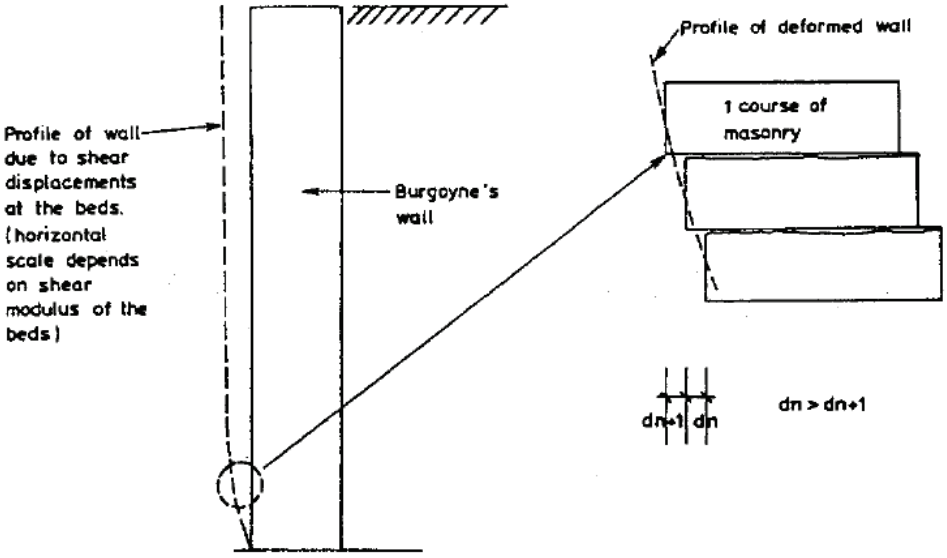
(Chan, 1996, reprint 2000) presenterar en analys av spänningsfördelningen i murverk och konstaterar att en möjlig förklaring till de brottsätt som observerats vid försök kan vara att det uppstår dragspänning på murens baksida som ger upphov till dragsprickor vilket ökar risken för stjälpning (1 ovan), sannolikt även glidning genom muren (2 ovan).

Om muren inte har bindestenar, och kärnmaterialet är av liten storlek är ofta ytstenarna dåligt bundna till innandömet. Muren kan då enligt (Chan, 1996, reprint 2000) bete sig som att den är uppbyggd av flera ”vertikala pelare” som inte fullt samverkar. Det är då möjligt att ytstenarna buktar ut på grund av vertikal tryckspänning. Detta kan ses som en utbuktning av nedre delen av muren. Om muren har bindestenar kommer dessa motverka formeringen av ”vertikala pelare”.



Figur 4.4. Separation pga dragspänning och tryckspänning i kombination med avsaknad av bindesten kan ge upphov till utbuktning. Från (Chan, 1996, reprint 2000).

Skjuvning (glidning) kan inträffa längs med olika ytor, bland annat mellan stenarna. Om skjuvningen orsakar förskjutning rör sig muren lite framåt för varje lager av sten. Skjuvkraften är större i botten och muren kommer därför få en kurvad profil, liknande det som observerades i försöken av Burgoyne innan brott (försök 1834, beskrivna i Bilaga 2), se nedan.



Figur 4.5. Deformation av stenmur på grund av skjuvdeformation mellan stenarna. Från (Chan, 1996, reprint 2000)**.**

Såväl (Brady & Kavanagh, 2002) som (Chan, 1996, reprint 2000) poängterar att hållfastheten hos ett stenmurverk beror av egenskaper och interaktion mellan blocken. För en korrekt utvärdering av stabiliteten hos en murverkskonstruktion är nödvändigt att analysera spänningsfördelningen. För att beräkna en korrekt spänningsfördelning skulle behövas detaljerad kunskap om bindningen mellan blocken och de mekaniska egenskaperna hos dem. Som en första approximation kan murens material antas vara homogent, isotropt och elastiskt.

4.3.4 Laster som påverkar stenmurverksdammar

Som framgår av den tidigare diskussionen är de viktigaste yttre laster som verkar på en stenmurverksdamm hydrostatiskt vattentryck samt, i många fall, jordtryck.

För svenska förhållanden är även islaster av stor vikt. Enligt RIDAS varierar islasten mellan 50-200 kN/m beroende på var i landet dammen är belägen. För låga konstruktioner har islasten vanligen en mycket stor påverkan på stabiliteten då den utgör en stor del.

Som framgår av avsnitt 4.3.2 kan stora islaster förväntas ge skador på stenmurverksdammarna som är möjliga att upptäcka och åtgärda. Vidare kan konstateras att murverket även kommer att föra ner lasten till grunden, till dess att rörelser sker, således kan det inte uteslutas att islasten kan ge stabilitetspåverkan. Det bör även påpekas att islasten i Norge antas som en last i bruksgränstillstånd, ej i brottgräns. Det har inom ramen för detta projekt inte varit möjligt att göra någon vidare fördjupning i huruvida islaster bör anses vara en last endast i bruksgränstillstånd.

Eftersom stenmurverksdammar inte är armerade kan stora laster som förs in lokalt orsaka skador genom skjuvning. Som exempel kan nämnas islaster, men även laster från bröstbalkar för sättluckor. Bröstbalken placeras vanligen ovan vattenlinjen och utgör det övre stödet för sättluckorna. Lasten från bröstbalken förs då in lokalt i utskovspelarens övre del och kan bli betydande, beroende på bredd på utskovet. Resultatet av sådana lokala belastningar kan bli att de övre stenraderna förskjuts. Utskovspelare är ofta de mest utsatta delarna för dessa belastningar.

4.3.5 Felmoder relaterat till stabilitet av stenmurverk

Utifrån ovanstående sammanställning av information kan konstateras att det finns vissa frågetecken kring hur stabilitet bör beaktas.

En mycket viktig punkt är de tredimensionella effekter och möjlighet till viss omlagring av laster som kan finnas. Vid användning av analytiska beräkningsmetoder är det inte möjligt att ta med dessa effekter. Även vid beräkning med numeriska modeller är det mycket svårt. En konservativ ansats är att inte ta hänsyn till dessa effekter. Möjligheten till omlagring torde även bero på bruksmaterialet, där kalkbruk är mer flexibelt än cement men samtidigt har lägre hållfasthet.

Nedan diskuteras de olika dammtyperna utifrån vad som är känt kring hur stabilitetsanalyser bör utföras:

Damm med bruk helt igenom

Hos en damm med bruk helt igenom består hela dammkroppen av sten i bruk (eller cement). Stabilitetsmässigt kan denna typ av konstruktion förväntas bete sig som en betongdamm, detta enligt såväl (NVE, 2011) som tex (Bureau of Reclamation, 1987).

Analys bör därför utföras för:

- Glidning, längs grundläggning samt för svaghetsplan i dammkroppen
- Stjälpning och resultantläge, med beaktande av ev. förflyttning av rotationspunkten.

Skador som kan påverka är:

- Nedbrytning av bruk och cement
- Sprickor
- Omfattande urlakning
- Ökande läckage eller igensättning av dränagehål som leder till ökat upptryck, som kan ge ökat upptryck eller ge upphov till glidplan längs fogar i dammkroppen
- Lokala laster så som islast eller extra belastning från luckor.

Kallmurverk med uppströms tätning

Dammar bestående av uppströms tätning av tätjord eller tätande bruk, med nedströms kallmurverk kan enligt (NVE, 2011) förväntas bete sig som en betongdamm, men med en mer dränerande dammkropp som därmed är mindre utsatt för upptryck. (Strand, 2017) framför synpunkter på om analys av resultantläge är relevant. Som framkommit i (Chan, 1996, reprint 2000) finns dock synpunkter att dragspänning i uppströmssidan kan ge upphov till andra glidplan. Vidare kan konstateras att det även för denna typ av konstruktion kan finnas svaghetsplan i dammkroppen som ger upphov till invändiga glidplan.

Analys bör därför utföras för:

- Glidning, längs grundläggning samt för svaghetsplan i dammkroppen.
- Stjälpning (oklart kring resultantläge), med beaktande av ev. förflyttning av rotationspunkten.

Skador som kan påverka är:

- Nedbrytning av bruk/tätjord (i vissa fall, mindre känsligt än dammar som är i sin helhet murade).
- Förflyttning av material (sten) nedströms som förändrar rotationspunkten.
- Lokala laster så som islast eller extra belastning från luckor.

Skalmurar

Skalmurar med uppströmsliggande tätning har likt kallmurverk en (relativt) dränerande dammkropp. Skalmurar med mellanliggande tätmaterial har även ett portryck i kärnan.

Enligt (Brady & Kavanagh, 2002) bör dessa typer av konstruktioner kontrolleras för stjälpning, glidning längs glidyta genom muren, i murens bas samt under muren, sättningar och stora rörelser.

(Lilja, 2015) beskriver risker att mursidorna hos höga skalmurar ”kalvar ut”, något som kan motverkas med bindestenar, se Figur 2.1 och Figur 2.4.

Beräkningsmässigt är det inte självklart hur denna typ av konstruktion bör beaktas. Enligt (NVE, 2011) räknas fullt jordtryck och fullt vattentryck på nedströmsmuren (se Figur 4.3). Detta är troligen relevant om det inte finns bindestenar i muren, dvs om nedströmsmuren är helt ”fristående” från kärnan. Om det finns bindestenar kommer dessa bidra till att konstruktionens uppströms och nedströmsmur samt mellanliggande kärna fungerar som en sammanhållen konstruktion. Som referens kan nämnas att skalmursväggar (i hus) kan räknas som sammanhängande konstruktioner om de är kramlade. I ett sådant fall förefaller det mer rimligt att analysera hela skalmuren som en konstruktion. Andra metoder för att få en sammanhållen konstruktion finns troligen också (ev. har bindestenar liknande funktion). I vilken utsträckning dessa två betraktelsesätt är relevanta är mycket svårt att säga. NVEs angreppssätt kan betraktas som konservativt. Vidare bör nämnas att NVEs angreppssätt inte beaktar den portryckssänkning som kan förväntas om dammen har tätjord uppströms, eller om tätningen består av bruk i uppströmsmuren. För skalmurverksdammar med tätande kärna kan eventuella bindestenarna möjligen vara potentiella läckvägar och minska möjligheten till god packning.

Ytterligare utredning i frågan om stabilitet rekommenderas då olika synsätt finns och det saknas riktlinjer.

Skador som kan påverka stabiliteten är:

- Erosion av tätjord eller nedbrytning av bruk som ger ökat portryck i kärnan.
- Utbuktning av nedströmsmuren som kan ge rörelser i jorden och orsaka ytterligare tryck.
- Rörelser i tåstenar som kan förflytta stjälppunkten.
- Rörelser i kärnan som kan orsaka ökat jordtryck mot nedströmsmuren. Kan tex orsakas av tjälning, belastning med maskiner eller material på krönet osv.

4.3.6 Felmoder kopplade till stabilitet i grundläggning

Information kring brott i undergrunden specifikt relaterat till stenmurverks-dammar har inte framgått i större utsträckning från genomgånget material. Det kan konstateras att allmänna felmoder för berg- och jordgrundlagda dammar är giltiga.

Några noteringar från litteratur visar dock att lutning på en nedströmsmur enligt (Eschenasy, 2015) kan betraktas som ett signifikant tecken på en förestående kollaps, och att detta kan orsakas av otillräcklig hållfasthet eller nedbrytning, eller av brott i underliggande jord.

Vid grundläggning på berg kan glidning ske längs sprickplan i berget, i de fall då sådana finns. Ökande portryck på grund av läckage eller igensättning av ev. dränage kan ge försämrad stabilitet.

Vid grundläggning på jord kan svaghetsplan finnas i undergrunden som kan ge upphov till glidytor i undergrunden eller genom konstruktion och undergrund. Ökande portryck kan ge försämrad stabilitet.

Vid grundläggning på rustbädd kan det finnas svaghetsplan i själva rustbädden, som till exempel kan bero på nedbrytning av materialet eller på rustbäddens uppbyggnad.

Sättningar på grund av låg hållfasthet är troligen mestadels förknippat med grundläggning på jord och grundläggning på rustbädd. Läckage och inre erosion i undergrunden vid jordgrundläggning kan ge försämrad bärighet. Nedbrytning kan ge försämrad bärighet vid grundläggning på rustbädd.

4.4 BESTÄNDIGHET

Beständighet handlar om förmågan att motstå olika nedbrytningsprocesser.

Vanliga nedbrytningsprocesser som påverkar konstruktioner i dammsammanhang är: frost, tjälning, urlakning, igensättning, vågor, is, erosion. Kemiska angrepp är mer ovanligt, men kan förekomma. Biologiska angrepp kan förekomma och kan till exempel innefatta röta i träkonstruktioner.

Det är viktigt att komma ihåg att flertalet murverksdammar är mycket gamla. De kan därmed ha uppförts vid andra förhållanden än de som nu råder. Förändringarna kan leda till andra typer av belastningssituationer, se t.ex. 4.4.12.

Nedan ges kortfattade beskrivningar av vad som kan orsaka försämringar beständigheten i dammkroppen samt i grundläggningen och vilken inverkan detta kan förväntas ha för olika uppbyggnad. En sammanfattning av orsaker till bristande beständighet och möjlig påverkan på en stenmurverksdamm relaterat till beständighet ges i Tabell 4.4.

4.4.1 Felaktigt utförande av bruk

Felaktigt utförande kan leda till att beständigheten blir bristfällig. Felaktigt utförda ombyggnader kan även det leda till antingen att åtgärder inte får tänkt effekt, eller i värsta fall till att nedbrytningseffekter accelererar.

Av (Humble, 1990) framgår två orsaker till trasiga fogar i murverk som relateras till detta:

- Felaktigt utförd murning – Om stenarna rubbats under uppförandet av muren kan vidhäftningen bli dålig, liksom om bruket lagts på istället för slagits på. Ofyllda fogar, oftast stötfogar, kan medföra vattengenomslag.
- Felaktiga reparationer – Samverkan mellan olika murtyper och deras inbördes historiska uppförande spelar roll. Tidigare försök till omfogningar och andra reparationer kan leda till nya skador.

För murverkskonstruktioner i allmänhet är det även vanligt att fogar av kalkbruk lagas med cementbruk eller kalkcementbruk. Enligt tidigare beskrivning kan åtgärder med cement leda till att bruket blir för starkt (jämfört med tidigare) och därigenom gör att påkänningar överförs till äldre delar som kan spricka.

4.4.2 Igensatta dränage

För stödmurar är en av de vanligaste brottorsakerna igensatta dränage i samband med stor nederbörd som ger upphov till belastning av vatten för vilken konstruktionen ej är dimensionerad, se t.ex. (Chan, 1996, reprint 2000). För stenmurverksdammar är vatten en del av belastningen. Beroende på utformning och funktion av konstruktionen kan igensatta dränage påverka konstruktionens stabilitet, men även bidra till andra nedbrytningsmekanismer så som ökande urlakning av bruk.

4.4.3 Frostskador

Vid ombildning från vatten till is sker en volymökning av ca 9 %. Sönderfrysning sker om porerna är fyllda till mer än ca 92 % och att vattnet inte kan pressas ut i samband med frysning. Volymökningen ger upphov till en tryckökning vilket kan resultera i att materialet går sönder (Humble, 1990).

En annan orsak till frostskador är makroskopisk tillväxt av islinser. Det bildas då inledningsvis iskristaller i de större porerna i närheten av nollgraders-isotermen. När det tillgängliga vattnet i de stora porerna frusit till is, sker en matning med vatten från de intilliggande mindre porerna. Finns det då tillräckligt många vattenfyllda porer i kapillär kontakt med iskristaller kan kristallerna växa vilket leder till ett tryck på porväggarna som i sin tur kan ge upphov till att materialet går sönder (Humble, 1990).

Upprepade frysnings- och tiningscykler kan ha ytterligare negativ påverkan. På betongdammar är det vanligt att frostskador accelereras av urlakning och eller yterosion. För stenmurverksdammar med tätning av bruk bedöms frost kunna påverka brukets beständighet.

Frysning av vatten kan även göra att stenar rubbas ur sitt läge vid volymexpansion. Detta bedöms vara en relativt vanligt förekommande orsak till skador på stenmurverksdammar, i synnerhet där tätheten är bristfällig och större läckage förekommer. Det kan ofta ses genom att stenar förflyttat sig på luftsidan av muren.

Frost kan även bidra till vittring hos stenmaterial, men då framförallt för mindre vanligt förekommande stenmaterial av vittingsbenägna bergarter eller där använda stenar har kapillärsugande förmåga.

4.4.4 Urlakning

Cementbaserade material är kemiskt instabila i vatten eftersom vissa av cementets beståndsdelar successivt löses upp och transporteras iväg vid långvarig kontakt med vatten. Denna process benämns vanligtvis urlakning och leder över tid till ändrade egenskaper i materialet (Rosenqvist, 2017). Delar av en stenmurverks-damm som är av cementmaterial kan därmed förväntas urlakas med tiden. Beroende på beståndsdelar i bruket kommer detta därmed utsättas med urlakning med tiden.

4.4.5 Yttre erosion

Likt fyllningsdammar kan stenmurverksdammar påverkas av yttre erosion så som våguppspolning, is, strömmande vatten m.m..

4.4.6 Islast

I (Konow & Engseth, 2017b) förs resonemang att stenmurverksdammar som utsätts för islast troligen kommer att deformeras. Att stenar förefaller ha rubbats ur sina positioner i den övre delen av konstruktionen är inte helt ovanligt, som visas i Figur 4.6. Se även vidare diskussion under avsnitt 4.3.4.

Figur 4.6. Förskjutning av de två översta stenskiftena, möjligen orsakat av islast. Notera även läckaget som kommer fram under de förskjutna murstenarna.

Resonemanget att islast leder till deformation i de övre stenarna, och således inte påverka stabiliteten baseras på att konstruktionen inte fullt ut har samverkan. På vilket vis istryck kan verka på en stenmurverksdamm beror troligen på vilken dammtyp den är utförd som.

I de fall lösa murstenar förekommer i murverk eller om jord lagts ut uppströms om dammen kan isen frysa fast och förflytta stenar eller jordmaterial ut i magasinet. Detta kan till viss del liknas vid islast som förekommer mot fyllningsdammar.

4.4.7 Tjäle

Murverksdammar där tätjord ingår kan liknas med fyllningsdammar när det kommer till tjälskador. Tjäle kan orsaka skador i dammens tätande förmåga vilket leder till ökat läckage. Det kan också vara möjligt att träkistor eller rustbäddar tar skada i de fall den inpackade tätjorden påverkas av tjäle.

Tjälning i kärnan i en skalmur kan troligtvis även ge förändrad belastning på nedströms murar vilket resulterar i en förflyttning av murstenarna.

4.4.8 Träd på dammen

Träd är vanligt förekommande på och i nära anslutning av stenmurverksdammar. Om trädens rötter växer in i tätjorden kan de bidra till ökad risk för läckage och inre erosion.

I de fall träd växer i stenmurverksdammen kan rötterna riskera att orsaka rörelser i murverket och att stenar rubbas ur sina positioner. Detta kan leda till fortskridande rörelser i stenarnas närhet.

Träd som växter på en stenmurverksdamm och som rasar under tex. en storm riskerar också att orsaka större mekanisk skada, särskilt om deras rotsystem är stort.

Även mindre växtlighet så som sly kan skada fogar, men i mindre utsträckning.

Mossa tas ofta upp som en anmärkning, men vidare analyser (se (Strand, et al., 2021)) har visat att mossan åtminstone på betong har en begränsad påverkan i ytskiktet. Detta torde även gälla för stenmurverksdammar.

4.4.9 Vittring och uppsprickning

Som framgår av (Eschenasy, 2015) så kan äldre stenmurverk uppvisa tecken på nedbrytning så som delaminering, avskalning, erosion, förlust av bruk och uppsprickning. Beroende på vilken typ av sten som använts i muren kan det finnas risk för nedbrytning av stenen i sig. Detta gäller framförallt glimmerrika material och sten med hög porositet. Uppsprickning av murstenar kan uppkomma av ex. sönderfrysning.

4.4.10 Rötskador

Många stenmurverksdammar är grundlagda med hjälp av rustbäddar, träkistor och pålar. Träkistor användes även också invändigt i en del dammar. Träkonstruktioner som är belägna under vattenytan har vanligtvis relativt god beständighet. Träkonstruktioner som utsätts omväxlande för våt och torr miljö ruttnar med tiden. Av (Rinman, 1794) framgår att det reparationer av träkonstruktioner var att förvänta om de ej stod konstant under vatten. Trä som däremot var konstant under vatten kunde vara i gott skick under en lång tid.

4.4.11 Förmultning

I arkivgenomgången har det visat sig att torv och björnmossa var vanligt förekommande i stenmurverksdammar, se (Rinman, 1794) och (Dalman, 1764). Björnmossa användes antingen som en del av tätningen eller att förhindrandet av inre erosion av annan tätjord. Torv utgör i vissa fall den tätande förmågan i stenmurverksdammar och emellanåt som en tätande del tillsammans med tätjord, kistor etc. Hur dessa organiska materials beständighet påverkas över tid har inte fastställts i denna rapport, men kan likt andra ingående material förväntas brytas ned över tid. Exempelvis anges torven behöva vara blöt för att behålla sin tätande förmåga (Dalman, 1764). Av (Wedholm, 1869) framgår också att kompletterande stoppning med björnmossa var vanligt förekommande i samband med reparationer/underhåll.

4.4.12 Förändring av grundvattenytan

Många andra typer av äldre konstruktioner kan få förändrade förutsättningar till exempel då förändringar sker i kringliggande bebyggelse eller naturmiljö vilket kan leda till sänkning av grundvattennivåer, se t.ex. beskrivning i (Humble, 1990) av hur stora träd intill byggnader påverkar grundvattennivån. Även landhöjningen kan vara av vikt i havsnära områden. Förändringar av vattennivåer kan leda till att delar av konstruktioner kommer över vattenytan där de tidigare varit under, vilket kan påverka nedbrytning av t.ex. träkonstruktioner.

Påverkan enligt ovan är troligen mindre vanligt förekommande för stenmurverksdammar med hänsyn till deras läge i bäckar, åar eller älvar. I förekommande fall behöver särskild omsorg ägnas åt frågeställningen då en grundvattensänkning kan orsaka röta i konstruktionen där grundläggning är gjord med hjälp av rustbäddar, träkistor och pålar. Detta leder till att bärande delar försämras och att sättningar kan uppkomma.

4.4.13 Orsaker till bristande beständighet hos dammkroppen

För dammar tätade med bruk kan urlakning eller kemisk nedbrytning av bruket på grund av en aggressiv miljö vara orsaker till nedbrytning av bruket. Vidare kan frostskador på bruket ge upphov nedbrytning av bruket.

Igensättning av dränage (i förekommande fall, mestadels för dammar som i sin helhet är fogade) kan ge upphov till vattenläckage genom konstruktionen som ger urlakning.

Vittring eller uppsprickning av murstenar är troligen inte frekvent förekommande, men kan uppkomma för vissa typer av bergmaterial och kan ge förändrat verkningssätt.

Felaktigt utförande eller felaktigt utförda reparationer kan ge upphov till nedbrytning. Felaktigt utförande torde i stor utsträckning redan ha åtgärdats, då stenmurverksdammar är av betydande ålder. Felaktigt utförda reparationer, där dammens verkningssätt inte beaktats kan ge upphov till ökande läckage, ökande portryck samt ökande urlakningshastighet.

Träd och sly som växer i dammkroppen kan ge upphov till ett flertal olika problem, beroende på var träden växer och hur dammen är uppbyggd. Rötterna kan ge upphov till läckvägar (inre erosion, likt det som kan inträffa i fyllningsdammar), rötterna kan även rubba stenar ur sina positioner. Stora träd kan, t.ex. om de faller, ge upphov till att rubba stenar ur position, eller orsaka håligheter i tätning eller dammkropp.

Tjälning av kärnmaterialet eller tätjord uppströms kan ge upphov till att nya läckagevägar öppnas upp (inre erosion), men även till rörelser i jordmassan som ger upphov till förändrat jordtryck.

Yttre erosion av tätjord kan ske genom vågerosion eller genom vattenhastigheter om tätjorden har otillräckligt skydd.

I fall då kärnan eller andra tätande delar består av torv eller mossa kan förmultning, tjälning och torkning leda till att läckagevägar uppkommer.

4.4.14 Felmoder kopplade till bristande beständighet hos dammkroppen

De felmoder som bristande beständighet ger upphov till beror på hur dammen är uppbyggd.

Beständighetsproblem med bruket kan leda till ökande läckage och nya läckagevägar och initiering av inre erosion, men även till försämrad sammanhållning hos konstruktionen som ger förändrat statiskt verkningssätt (försämrad stabilitet). Det kan även ge ökat upptryck, framförallt för dammar som i sin helhet är tätad med bruk, som i sin tur ger försämrad stabilitet.

Vittring och uppsprickning av murstenar kan ge försämrad stabilitet om stenar i tån vittrar eller spricker sönder.

Läckage kan ge upphov till att stenar i dammens luftsida trycks ut vid den expansion som uppstår om läckagevattnet fryser. Att stenar rubbas ur sitt läge kan ge förändrad stjälppunkt eller på annat sätt förändrat statiskt verkningssätt.

Träd som växer i uppströms tätning kan ge upphov till läckagevägar, eller håligheter i tätningen som ger läckage (dammar med uppströms tätjord).

Träd som växer i dammkrönet kan ge upphov till läckagevägar (om kärnan har en tätande funktion), de kan också ge förändrad fördelning av jordtrycket och inverka negativt på stabilitet. Vidare kan de göra att stenar rubbas ur position och på så vis försämra stabiliteten.

Träd som växer i nedströmssidan av dammen kan ge upphov till läckagevägar, eller rubba stenar ur sin position och på så vis försämra stabiliteten.

Tjälning av kärnmaterial sker troligen främst om materialet består av tätt material, men läckage genom tätningen kan troligen bidra. Tjälningen kan då ge upphov till uppluckring och svagheter som kan leda till inre erosion. Tjälningen kan även ge sidorörelser som gör att jordtrycksfördelningen förändras. Detta kan ge ökade jordtryck mot nedströmsmuren och leda till försämrad stabilitet. Tjälning kan också leda till att murstenar förflyttas ur sitt läge.

Tjälning av tätjord kan ge upphov till läckagevägar och inre erosion enligt ovanstående.

Yttre erosion av tätjord kan ge upphov till läckagevägar och inre erosion.

Förmultning, tjälning eller torkning av en kärna av torv kan leda till läckagevägar och inre erosion.

4.4.15 Orsaker till bristande beständighet hos grundläggningen

Bristande beständighet hos grundläggningen för berg och jordgrundlagda stenmurverksdammar kan uppstå av liknande orsaker som för fyllningsdammar och betongdammar.

Grunden under stenmurverksdammar är troligen endast i undantagsfall injekterad, men där injektering förekommer kan nedbrytning av denna ge ökande läckage i grunden och inre erosion i grunden (och upp i dammkroppen).

Igensättning av dränage (troligen framförallt för dammar som i sin helhet är fogade).

Många stenmurverksdammar har en tätspont av trä av spontat plank eller liknande. Grundläggning på rustbäddar av olika typ var också det vanligt förekommande. Nedbrytning/rötning av träkonstruktioner sker, även om nedbrytningen i en syrefri miljö är långsam. Förändringar i omgivningen som ger avsänkta vattennivåer kan leda till påskyndad nedbrytning.

Erosion av tätmaterial/”örning” vid uppströmstå, t.ex. orsakad av vattenhastigheter.

4.4.16 Felmoder kopplade till bristande beständighet i grundläggningen

Nedbrytning av injektering kan ge inre erosion i själva grundläggningen, inre erosion av material i dammkroppen ner i grunden. Nedbrytning av injektering kan även ge ökande portryck i kärnan, eller upptryck i dammkroppen eller sprickplan i grunden som leder till försämrad stabilitet.

Igensättning av dränage (troligen framförallt för dammar som i sin helhet är fogade) kan leda till ökat portryck.

Nedbrytning av spont kan leda till ökande läckage genom jordgrundläggning (se vidare felmoder för täthet).

Nedbrytning/rötning av rustbädd kan leda till ökande läckage som ger ökande portryck i kärnan eller dammkroppen. Det kan även leda till sättningar och rörelser som orsakar stabilitetsproblem för ovanliggande stenmurverksdamm.

4.4.17 Sammanställning av orsaker till bristande beständighet och möjlig påverkan på stenmurverksdammar beroende på uppbyggnad

En sammanfattning av brister relaterat till beständighet ges i Tabell 4.4. Denna sammanfattning bör ses som exempel på möjliga felmoder för olika uppbyggnad, men den unika dammens uppbyggnad och förutsättningar behöver beaktas för att identifiera och analysera de felmoder som kan vara aktuella.

Tabell 4.4. Sammanställning av orsaker till bristande beständighet och möjlig påverkan på en stenmurverksdamm. För dammarna där felmoden bedöms vara relevant markeras med X. För de dammar där felmoden möjligen kan vara relevanta är markerade med (X).

	Tätande bruk på us-sidan			Uppströmsliggande tätjord		Dubbelsidig mur med inre tätning	
	Dammkropp tätad med bruk	Kallmur	Skalmur	Kallmur	Skalmur	Tätjord eller torv	Träkista med tätjord eller torv
Nedbrytning kan ske genom:							
- Urlakning av bruket, eller kemisk nedbrytning på grund av en aggressiv miljö.	X	X	X				
- Frostskador hos bruket.	X	X	X				
- Felaktigt utförande eller felaktiga reparationer.	X	X	X	X	X	X	X
- Igensättning av dränage.	X	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
- Uppsprickning eller vittring av murstenar.	X	X	X	X	X	X	X
- Träd eller sly på krön, uppströmssida eller nedströmssida.	(X)	X	X	X	X	X	X
- Tjälning av kärnmaterialet beroende på finjordshalt.			(X)		(X)		
- Tjälning av tätjord.				X	X	X	X
- Yttre erosion av tätjord.				X	X		
- Förmultning, tjälning, torkning av torv eller annat organiskt material.				(X)	(X)	(X)	(X)
- Nedbrytning av trämaterial.					(X)		X
- Nedbrytning av trämaterial i rustbädd eller spont	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Nedbrytningen kan leda till:							
- Försämrad sammanhållning hos konstruktionen som ger förändrat statiskt verkningssätt (försämrad stabilitet)	X						
- Nya läckagevägar och ökat läckage	X	X	X	X	X	X	X
- Försämrad stabilitet om stenar i tån vittrar eller spricker sönder	X	X	X	X	X	X	X
- Ökat upptryck som ger försämrad stabilitet	X	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
- Rörelser i murverket	X	X	X	X	X	X	X
- Lossbrytning av stenar i dammtån pga frysning/isexpansion	X	X	X	X	X	X	X
- Ökat tryck mot nedströmsmuren som ger försämrad stabilitet.			X		X	X	X
- Läckagevägar/inre erosion på grund av träd och rötter.				X	X	X	X
- Sättningar i grundläggningen (vid rustbädd eller jordgrundläggning).	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)

5 Undersökningsmetoder

För stenmurverksdammar saknas ofta ritningsunderlag om hur dammen är uppbyggd och grundlagd. Detta avsnitt avses att översiktligt försöka beskriva hur undersökningar av stenmurverksdammarnas uppbyggnad och grundläggning kan göras. Av kapitel 3 framgår att stenmurverksdammar kan skilja sig en hel del åt och att de ofta består av flera material så som exempelvis trä, sten och bruk. Antagligen skiljer sig byggnadssätten lokalt åt beroende på tillgång av olika byggnadsmaterial samt vilken kunskap dammbyggarna hade vid tiden för uppförandet. Stenmurverksdammar kan således inte antas vara lika renodlade i sin konstruktion som betong- och fyllningsdammar normalt är. Det bör eftersträvas att stenmurverksdammen så långt som möjligt kan definieras gällande täthet och stabilitet.

För att avgöra hur dammen är uppbyggd och avsedd att fungera bör inledningsvis dammens tätande förmåga definieras. Av det underlag som denna rapport har analyserats är tätningen utförd antingen på uppströmssidan eller centralt i dammen. Nedströmssidan är då utförd som dränerad, se vidare avsnitt 3.2. Endast dammtypen där hela dammen består av sten i bruk kan anses vara tät rakt igenom.

För de dammtyper där organiskt material som stått ovanför vatten har varit en del av konstruktionen kan det förväntas att det organiska materialet förmultnat. Organiskt material i grundläggningsnivå, som exempelvis rustbäddar, kan fortsatt vara i brukligt skick i de fall de hela tiden varit under vattenytan.

Av följande avsnitt presenteras undersökningsmetoder som kan vara aktuella för att bestämma dammens konstruktion. Det ska inte uteslutas att andra metoder som ej presenteras kan vara användbara. I avsnitt 6 presenteras metoder som kan vara användbara för att övervaka dammar. Dessa övervakningsmetoder hänger ofta ihop med de undersökningsmetoder som listats i detta avsnitt.

5.1 OKULÄR KONTROLL

Utifrån beskrivningarna i kapitel 3 bör vissa av dammkonstruktionens beståndsdelar kunna bekräftas vid en okulär kontroll. Detta kan ge en indikation om hur dammen är konstruerad och grundlagd. Det kan dock vara vanskligt att beskriva dammens uppbyggnad utifrån enbart en okulär besiktning. I ett fall som författarna har påträffat har ex. utskovspelare som utifrån sett ut att vara utförd i sten i bruk visat sig vara ett tunt skal av sten och där innandömet bestod av moränmaterial som troligen förstärkts med kalk alternativt urlakad stampbetong. I ett annat fall har dammens yttre varit välordnad sten i jämna skift och förband, medan innandömet ej varit lika välordnat. Den okulära kontrollen kräver ofta att andra typer av uppföljande undersökningar utförs för att fastställa dammens konstruktion och grundläggning. Av en okulär kontroll kan det vara möjligt att verifiera om:

- Dammen har en dränerande nedströmsmur eller om dammen har samtliga fogar i bruk.
- Vilken typ av bergart (eller slaggsten) murstenarna är utförda i.
- Nedströmssidan av murverket lutar. Eventuellt också lutning av uppströmssidan.
- Hur brett krön är samt dess sammansättning.
- Murningsmetodik gällande förband, förekomst av bindestenar, pinning, skiftgång, förekomst av kramlor eller andra beslag med liknande funktion.
- Jord eller berg ansluter mot dammtån samt mot dammens anslutningar.
- Dammens uppströmssida består av tätjord eller annan jord (ex. erosionsskyddande lager) vilken kan tala för att tätningen är utförd på uppströmssidan av dammen alternativt att en reparation/förstärkning har utförts med tätjord.
- Magasinet ansluter direkt mot uppströmsmuren vilket indikerar att den tätande förmågan består av bruk i uppströmsmuren alternativt att tätningen är belägen centralt i dammen.
- Dammens (synliga) höjd, bredd och längd.

Inför den okulära kontrollen kan information om grundläggningsförhållande erhållas från jordartskartor eller SGU:s digitala kartvisare (https://apps.sgu.se/kartvisare/).

5.2 UNDERVATTENSINSPEKTION

Med en undervattensinspektion kan dammens uppströmssida bedömas. Detta kan ge information om hur murverket är fogat eller om det finns tätjord (eller erosionsskydd) mot uppströmssidan av murverket alternativt mot uppströms dammtå. Vid en undervattensinspektion är bland annat följande intressant att bedöma för att definiera dammens konstruktion:

- Vad består fogarna av?
- Är dammens uppströmssida utförd med en lutning?
- Hur har murverket konstruerats, dvs murningsmetodik?
- Finns det tätjord eller erosionsskydd uppströms murverket?
- Finns det tätjord eller erosionsskydd utlagt mot uppströms dammtå?

Vidare bör förekommande skador dokumenteras i detalj.

5.3 PROVGROPSGRÄVNING

Provgropsgrävning bedöms vara en användbar metod för att bestämma dammens konstruktion och möjligen grundläggning. Lämpligheten av metoden bör bedömas från fall till fall. Metoden bedöms inte vara lämplig i det fall dammen är en damm med samtliga fogar i bruk. Genom provgropsgrävning kan dammen åtminstone ytligt verifieras för att försöka definiera dammkonstruktionens uppbyggnad (jämför med identifierade konstruktioner i kapitel 3). Av RIDAS (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) omnämns att krönet kan friläggas i en slits vinkelrät mot dammen för att erhålla information (Figur 5.1).

Inför utvärdering av dammsäkerheten och planering av underhållsåtgärder är det viktigt att undersöka dammens uppbyggnad och verkningssätt. Arkivhandlingar kan lämna vägledning om uppbyggnaden men är i många fall bristfälliga för äldre dammar. Det som då står till buds är undersökning på plats. Genom att studera tillgänglig dokumentation och dammens utseende samt gräva eller på annat sätt frilägga krönet i en slits vinkelrätt mot dammlinjen kan man få kunskap om dammens uppbyggnad och ingående material.

Figur 5.1 Utdrag ur RIDAS TV 9 (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019).

För grävning och undersökning i stenmurverk bör det noga planeras för utförande och att återställningen av murverket och andra konstruktionsdelar kan göras utan försämrad funktion. En systematisk uppmärkning av stenmurverket samt sortering av ingående material kan vara lämpligt för att underlätta återställning efter undersökningarna.

Undersökning av dammens grundläggning och exempelvis förekomst av rustbädd bedöms vara komplicerat och förknippad med risker. Undersökningarna måste analyseras från fall till fall. Möjligen kan grävning göras i nära anslutning till dammen, men risker kopplade till stenmurverksdammens stabilitet bör utvärderas. Dammanslutningar mot mark bör kunna verifieras med provgropsgrävning.

5.4 PROVTAGNING

I vissa fall kan provtagning av dammens ingående material vara intressant för fortsatta analyser och utvärderingar av dammen. Provtagning och analys kan exempelvis vara möjligt för att definiera tätjord, filter, erosionsskydd, murkärna eller annat jordmaterial. Provtagning och analys kan också vara aktuellt för att ex. bestämma vad murbruket består av eller murstenarnas bergart.

5.5 BORRNING

Borrning i dammar förekommer i vissa fall och kan ge information om dammkroppens och grundens uppbyggnad. Borrning i en dammkonstruktion är dock en förstörande undersökningsmetod och därmed förknippat med risker att dammen skadas. Det är särskilt svårt att bedöma riskerna om uppbyggnaden är okänd och nyttan kontra risker måste bedömas från fall till fall.

5.6 GEOFYSISKA MÄTMETODER

Inga erfarenheter om geofysiska mätningar vid stenmurverksdammar har noterats i bakgrundsmaterialet. Enligt (Bishop & Koor, 2000) har geofysiska metoder använts för att undersöka stödmurar. Geofysiska mätningar kan möjligen vara aktuellt i de fall man vet lite om konstruktion och dess grundläggning och riskerna med förstörande undersökningar är stora. En bedömning av lämpliga metoder får göras från fall till fall. Geofysiska undersökningar för dammsäkerhet beskrivs bland annat i (Sjödahl, 2019) och kan möjligen i vissa fall användas även för stenmurverksdammar.

6 Övervakningsmetoder

Övervakningen av stenmurverksdammar bör liksom fyllningsdammar och betongdammar vara kopplade till dess potentiella felmoder och hur dessa kan utvecklas. Se (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) för rekommendationer om övervakning av dammar. Inom detta arbete har potentiella felmoder beskrivits för de olika stenmurverksdammarna som har identifierats, se vidare kapitel 4. I de flesta fall bedöms konventionella och inarbetade övervakningsmetoder för betong- och fyllningsdammar vara lämpliga även för övervakning av stenmurverksdammars potentiella felmoder. I detta avsnitt beskrivs översiktligt de övervakningsmetoder för potentiella felmoder kopplade till stenmurverksdammarnas täthet, stabilitet och beständighet som bedöms mest lämpade.

Stenmurverksdammar skiljer sig något från betong- och fyllningsdammar när det gäller stabilitet och potentiella rörelser i murverket (se avsnitt 4.3). Rörelser som kan uppkomma kan vara lokala utbuktningar, förflyttning av murstenar etc. samt att murverksdammar kan ha en förmåga att omfördela laster och hitta nya jämviktslägen. Dessa potentiella rörelser bedöms också kunna övervakas med konventionella metoder. Av (Malm, et al., 2019) framgår beskrivningar av instrumenteringssystem för betongdammar vilka kan vara applicerbara för stenmurverksdammar. Erfarenheter av damminstrumentering framgår bland annat av (Mohlin, 2019).

6.1 OKULÄR KONTROLL

Den okulära kontrollen av dammar är normalt viktig för övervakningen och stenmurverksdammar utgör inget undantag. Av RIDAS framgår en checklista som kan användas som utgångspunkt (Figur 6.1). Vid en okulär kontroll av stenmurverksdammar bedöms följande vara relevant att kontrollera:

- Förekomst av läckage. Läckage genom eller under dammen indikerar att dammens eller grundläggningens täthet har försämrats. Ökat läckage kan exempelvis leda till inre erosion, urlakning och ökat upptryck vilket försämrar dammens funktion. Materialtransport i läckagevatten är ett tecken på inre erosion.
- Förekomst av träd och annan växtlighet på och intill dammen. Trädens rötter kan orsaka rörelser i murverket eller försämra dammens tätande förmåga. Vid eventuella rotvältor, ex i samband med storm, kan murverket skadas.
- Fogarnas kondition. Försämrade fogar kan ex. leda till sämre hållfasthet eller ökande läckage.
- Uppkomna rörelser i murverket. Rörelser kan uppkomma av flera olika orsaker. Bland annat islast, avbördning (lyftkraft och strömmande vatten), tjälskjutning, nedbrytning av material, trädtillväxt, förändringar i grundvattenytan. Vissa stenmurverksdammar kan ha en förmåga att omfördela last i de fall rörelser uppkommer och därefter hitta ett nytt

jämviktsläge. Utbuktning av nedströmsväggen och krön kan vara tecken på rörelser.
- Följ upp av potentiellt svaga punkter, ex. tjuvförband, i murverket.
- Sättningar i grundläggning.
- Sättningar eller sprickor i krönet. Kan vara ex. vara tecken på urlakning, rörelse eller materialtransport.

Stenmurverksdamm

- Dammens fribord
- Rörelser i krön och vertikala ytor
- Fogars kondition
- Dräneringssystem
- Uppvattningar och läckage
- Materialtransport i läckvatten
- Träd, växtlighet och mossa
- Övriga skador

Figur 6.1 Checklista för driftmässig inspektion och inspektion. Från RIDAS TV 8 (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019).

Exakt vad som bör följas upp vid en okulär kontroll beror av dammens konstruktion, grundläggningsförhållanden och skick. Det är lämpligt att dokumentation görs på vad som bör kontrolleras och följas upp för varje enskild damm. Detta kan exempelvis dokumenteras i ett övervakningsprogram.

6.2 UNDERVATTENSINSPEKTION

Vid en undervattensinspektion av stenmurverksdammar kan följande punkter vara värda att följa upp:

- Fogarnas kondition. Längs med hela dammens uppströmssida, men särskilt i området inom regleringsamplituden.
- Murverket och eventuella noteringar om uppkomna deformationer.
- Lokalisera potentiellt svaga punkter, som ex tjuvförband, i murverket.
- Erosionsskador i tätjord eller erosionsskyddande lager.
- Tecken på insjunkningar/sjunkhål i grundläggningen eller magasinsbotten.
- Lokalisera eventuella inströmningspunkter genom att exempelvis grumla sediment och se om de förs in i dammen av ett läckageflöde. Planerade spårämnesförsök med andra spårämnen kan också vara aktuellt för att identifiera inströmningspunkter.

6.3 RÖRELSEMÄTNING (DEFORMATIONSMÄTNING)

I tidigare avsnitt har det beskrivits att deformationer i murverket kan ge indikationer på att murverket har utsatts för ett lastfall det inte tål och att krafterna inuti dammen har omfördelats. Rörelser kan uppkomma av flera olika anledningar vilket listats tidigare i avsnittet samt under avsnitt 4.3. Rörelsemätning bedöms i

många fall vara en lämplig metod (ofta den lämpligaste) för att övervaka stenmurverksdammar. Särskilt bedöms skalmursdammar vara känsliga för rörelser.

Konventionella metoder kan användas för att övervaka rörelser i dammar. Exempel på metoder som kan vara lämpliga är konventionell mätning på mätdubbar eller mätbleck som installerats på utvalda murstenar och kan användas för att övervaka lokala deformationer. Mer heltäckande metoder som t.ex. fotogrammetri eller laserskanning kan användas för att följa upp rörelser över tid. Detta kan vara aktuellt både på upp- och nedströmssidana av stenmurverksdammen. För mer detaljer kring olika mätmetoder se exempelvis (Malm, et al., 2019).

6.4 LÄCKAGEMÄTNING

I de stenmurverksdammar där ökat läckage kan vara en indikation på att en felmod utvecklas kan det vara aktuellt att mäta läckageflödet. Detta kan göras motsvarande det som görs på fyllningsdamm eller betongdamm beroende på förutsättningar och konstruktion. Konventionell mätning av läckageflödet görs normalt med uppsamlingsanordningar som består av ett dränagesystem som leder läckageflödet till ett mätöverfall där läckageflödet kan kvantifieras. Andra metoder förekommer också, tex parshallrännor eller mätning av volym över tid. Är det inte möjligt att samla upp och kvantifiera läckageflödet kan andra metoder som tryckmätning eller temperaturmätning utvärderas. Mätning av läckageflöde på dammar beskrivs bland annat av (Nilsson, 1995) och (Malm, et al., 2019) .

6.5 PORTRYCKSMÄTNING

Övervakning med tryckmätning (öppna eller slutna system) kan vara aktuellt om ex. ett ökat upptryck kan orsaka försämrad stabilitet. Tryckmätning kan också användas för att övervaka läckageflödet genom eller under dammen. Tryckmätning beskrivs bland annat i (Nilsson, 1995) och (Malm, et al., 2019) . För att övervaka felmoder kopplade till stabilitet bedöms detta vara mest relevant för dammar konstruerade med samtliga fogar i bruk eftersom dessa är känsliga för ökat upptryck (se avsnitt 4.3). Det ska dock inte uteslutas för andra stenmurverkskonstruktioner, framförallt om säkerhetsfaktorn för stabilitet bedömts vara låg.

Tryckmätning i damm eller grund kan också användas för att fånga upp eventuella läckageförändringar genom dammen eller grundläggningen.

6.6 TILLÄGGSMÄTNINGAR

För att utvärdera läckage-, tryck- och rörelsemätning behöver ofta upp- och nedströmsvattenytan beaktas för att kunna identifiera eventuella förändringar i mätdata. Även nederbörd och omgivande temperatur kan vara nödvändigt för att utvärdera mätdata

7 Diskussion och slutsatser

Stenmurverksdammar har uppförts under lång tid och har uppförts i flera olika utformningar. I rapporten har framkommit äldre underlag som visar på god kunskap om vilka svårigheter som kan uppkomma vid uppförandet och under dammens livslängd. I detta kapitel diskuteras de viktigaste punkterna som framkommit.

Det är ofta mycket svårt att veta hur en stenmurverksdamm är utformad. Rapporten har visat på att flera olika material och utformningar förekommer. Lokala anpassningar mot platsens förutsättningar gjordes och det kan inte uteslutas att ytterligare utformningar finns runt om i landet. Rapporten har också visat att det var vanligt förekommande att grundläggningen förstärktes med träkonstruktioner, framförallt rustbäddar, men även att spont och pålning förekom.

Ritningsunderlaget för utformning är ofta bristfälligt och ofta förekommer ”stiliserade” ritningar snarare än ritningar som är baserade på verkligheten. Som exempel kan nämnas att ritningar ofta visar stenmurverksdammar med helt igenom jämnt huggen sten, medan verkligheten vid rivning kan visa ett yttre skal av huggen sten och ett inre av betydligt mindre ordnat innehåll. Det rekommenderas därför att ritningar behandlas med skepsis till dess att de har verifierats.

I rapporten har en ansats gjorts att kategorisera och beskriva olika typer av dammar för att sedan koppla felmoder till dessa. I rapporten har utgångspunkten på uppdelning av dammarnas utformning varit läget på dammens tätning. Detta är ett sätt att systematisera, men även andra indelningar hade kunnat vara möjliga.

Övergripande är de potentiella felmoderna likartade med dem som finns för betongdammar och fyllningsdammar, men de är också beroende av hur dammen är utformad. Stenmurverksdammar kan ibland analyseras som en betongdamm, medan andra beter sig mer som en fyllningsdamm. I vissa fall behöver stenmurverksdammarna utvärderas som ett mellanting. Uppdelningen som gjorts där felmoder kopplas till täthet, stabilitet och beständighet är ett sätt att försöka fånga de mekanismer som har betydelse för stenmurverksdammar. Det måste dock poängteras att det finns många kopplingar mellan dem och att problem med beständighet kan leda till problem med såväl täthet som stabilitet och tvärtom.

I nuläget finns ingen tydlig riktlinje i RIDAS för hur stabilitet ska analyseras för stenmurverksdammar, annat än för de som fungerar som en betongdamm. Framkommen information tyder på att stabilitet analyserades även långt tillbaka i tiden, men att samtliga laster inte inkluderades (t.ex. islast) och att säkerhetsmarginal/säkerhetsfaktor inte var definierat. I litteraturgenomgången har framkommit information om att stenmurverksdammar kan ha bättre förmåga än betongdammar att omfördela laster, samtidigt som de också är mer känsliga, åtminstone lokalt, för koncentrerade laster från t.ex. is. Vid stabilitetsanalyser enligt riktlinjer för betongdammar kommer stenmurverksdammar i många fall beaktas ha otillräcklig stabilitet. I norska riktlinjer rekommenderas att

skalmurverkens nedströmsmur ska bedömas vara helt fristående från murkärnan och den uppströmsliggande muren. I vissa fall förekommer troligen invändiga bindestenar som bidrar till att dammarnas murar fungerar som en sammanhängande konstruktion. Beräknas nedströmsmuren som en fristående mur blir då detta ett mycket konservativt antagande i dessa fall.

Felmoder kopplat till täthet beror på läget på dammens tätning och status på denna. Beständighet kopplar felmoder både för täthet och stabilitet. Till exempel kan nedbrytning som frostskador, urlakning, förmultning och tjälning alla påverka den tätande funktionen och leda till försämrad stabilitet. Kontinuerligt underhåll är centralt för att säkerställa dammens funktion över tid. I litteraturgenomgången finns goda exempel på att detta förväntades och att underhåll och reparationer regelbundet genomfördes långt tillbaka i tiden.

Eftersom de potentiella felmoderna kopplar till konstruktion och grundläggning är det viktigt att säkerställa dammens uppbyggnad för att kunna bedöma vilka av dem som är relevanta. Hur dammen påverkas av olika nedbrytningsmekanismer och nedsatt täthet samt hur den fungerar statiskt beror på hur den är utformad.

Konventionella och inarbetade undersöknings- och övervakningsmetoder för fyllnings- och betongdammar bedöms kunna användas även för stenmur-verksdammar. Rörelsemätning och läckagemätning bedöms vara de övervakningsmetoder som primärt bör användas.

Rapporten har ej omfattat en sammanställning av reparations- och/eller förstärkningsmetoder vilket ses som en viktig del i underhållsarbete och vid beredskapssituationer. En sammanställning av utförda reparationer och utfallet av dessa kan bedöms lämpligt att sammanställa och åskådliggöra för att förenkla förvaltningen av stenmurverksdammar.

8 Rekommendationer

Rapporten får ses som en inledande sammanställning av kunskapsläget kring stenmurverksdammar. Det finns kvarstående frågetecken kring flera områden.

Exempel från dammägarna har inkluderats och kompletterats med information från litteraturen, men den har inte inkluderat någon omfattande inventering av förekommande dammtyper. En inventering skulle kunna vara till nytta för att fokusera fortsatta arbeten på de dammtyper som är mest relevanta. Dokumentation i samband med utrivningar är ett bra sätt att samla information. I arbetet har litteratursökning gjorts, men det bedöms att ytterligare material finns och att en kompletterande arkivsökning skulle kunna ge ytterligare information.

Gällande stabilitet så finns inga tydliga riktlinjer för hur beräkningar bör utföras. Vidare fördjupning i ämnet rekommenderas. Analys bör inkludera undersökning om på vilket vis lastomfördelning kan eller bör beaktas, samt analys av beteendet hos skalmurar och hur stabilitetsanalys för dessa bör utföras med hänsyn till bland annat bindestenar. Ombyggnader av stenmurverksdammar för att förbättra stabilitet förekommer, och det är viktigt att dessa utförs på basis av korrekta beräkningsantaganden.

I arbetet har ingen information kunnat inkluderas kring utförda undersökningar eller befintliga övervakningssystem. Sammanställningen i kapitel 5 och 6 utgår ifrån de metoder som används för andra dammtyper. Det kan vara en god idé att sammanställa erfarenheter från utförda undersökning och övervakningssystem för att förbättra kunskapsläget. Även reparations- och förstärkningsmetoder som använts kan vara lämpliga att sammanställa.

9 Referenser

Beskow, G., 1951. *Amerikansk och svensk jordklassifikation - speciellt för vägar och flygfält,* Stockholm: Statens väginstitut.

Bishop, I. & Koor, N., 2000. Integrated geophysical and geotechnical investigations of old masonry retaining walls in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology,* pp. 335-349.

Brady, K. & Kavanagh, J., 2002. *Analysis of the stability of masonry-faced earth retaining walls,* u.o.: Transport Research Foundation, TRL Report 550.

Bureau of Reclamation, 1987. *Design of small dams.* u.o., u.n.

Burström, P. G., 2001. *Byggnadsmaterial : uppbyggnad, tillverkning och egenskaper (1:a upp.),* u.o.: Studentlitteratur AB.

CEN, 2005. *EN1997-1. Dimensionering av geokonstruktioner - Del 1: allmänna regler,* u.o.: u.n.

Chan, Y., 1996, reprint 2000. *Studu of old masonry retaining walls in Hong Kong,* Hong Kong, : Geotechnical engineering office, GEO Report No. 31.

Cornell, J., 1892. *Gådeån 1,* u.o.: Vattenbyggnadsingenjör Johan Fredrik Cornells arkiv.

Dalman, J. W., 1764. *Anmärkning öfver bränn-torfs nytta vid vattu dämningar,* Stockholm: Svenska vetenskaps academiens handlingar för år 1764.

Dicksson, I. & Spade, B., 2016. *Dammägarens handbok,* Mölndal: Industriantikvarie Ida Dicksson.

Ekwall, A., 1928. *Teknisk tidsskrift,* Norrköping: Svenska teknologiföreningen.

Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019. *RIDAS 2019 - Energiföretagens riktlinjer fr dammsäkerhet,* Stockholm: Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB.

Eschenasy, D., 2015. Condition assessment of old stone retaining walls. *Structure Magazine.*

Greyling, R., Scherman, P. & Mottram, S., 2019. *The application of Rubble Masonry Concrete (RMC) construction for African dams and small hydropower projects.* u.o., u.n.

Huges, A., u.d. *Inspection of masonry and gravity dams (FEMA guidelines),* u.o.: CED Engineering.

Humble, O., 1990. *Äldre murverkshus – Reparationer och ombyggnad,,* Stockholm: Byggforskningsrådet, Stockholm.

ICOLD - Committee on dam safety, 2017. *Dam Safety Management: Operational phase of the dam life cycle - Bulletin 154,* u.o.: u.n.

Konow, T. & Engseth, M., 2017b. *Evaluering av ekisterende betong- og murdammer. Rapport 2 - Hovedrapport med underlag,* u.o.: Energi Norge.

Konow, T. & Engseth, M., 2017. *Evaluering av eksisterende betong- og murdammer. Rapport 1 - Anbefalinger,* u.o.: Energi Norge.

Lauræus, G., 1748. *Kongliga svenska vetenskaps academiens handlingar, vol: IX,* Stockholm: Lars Salvius.

Leche, Vilhelm et al. , 1906. *Nordisk familjebok - Uggleupplagan 5,* Stockholm: Nordisk familjeboks förlags aktiebolag.

Lilja, J., 2015. *Handbok i kallmurning,* Mariestad: Hantverkslaboratoriet.

Malm, R., Enzell, J. & Mohlin, B., 2019. *KARTLÄGGNING AV INSTRUMENTERINGSSYSTEM FÖR BETONGDAMMAR Rapport 2019:596,* u.o.: Energiforsk AB.

Mohlin, B. Å. A., 2019. *Erfarenheter av damminstrumentering rapport 2019:577,* u.o.: Energiforsk AB.

Mörk, J. H., 1756. *Åminnelse-tal över slotts - byggmästaren och kongl. vetenskapsakademiens ledamot, Herr Claes Eliander,* Stockholm: Lars Salvius.

Nilsson, Å., 1995. *Beprövade metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar,* u.o.: VASA dammkommittés rapport nr 20.
Nordvall, E., 1800. *Afhandling rörande mechaniquen med tillämpning i synnerhet till bruk och bergverk - del 1.* Stockholm: J. A. Carlbohm.
NVE, N. V.-. o. E., 2011. *Retningslinje for murdammer,* u.o.: u.n.
Näslund, O. J., 1915. *Flottningsteknik.* Stockholm: P. A. Nordstedt & söners förlag.
Pujol, A. E. a., 2018. *Dam surveillance guide Bulletin 158,* u.o.: International Commission on Large Dams.
Rinman, S., 1788. *Bergwerks lexicon - Del 1,* Stockholm: Johan A. Carlbohm.
Rinman, S., 1789. *Bergwerks lexicon - Del 2,* Stockholm: Johan A. Carlbohm.
Rinman, S., 1794. *Afhandling rörande mechaniquen med tillämpning i synnerhet til bruk och bergwwerk - del 2.* Stockholm: J.A. Carlbohm.
Rosenqvist, M., 2017. *Bestämning av frisk och urlakad betongs kemiska sammansättning,* u.o.: Energiforsk.
Sjödahl, P. J. S. D. T., 2019. *Geofysiska metoder inom dammsäkerhetsområdet - En kunskapssammanställning,* u.o.: Energiforsk AB.
Spade, B., 1999. *De svenska vattenkraftverken - teknik under 100 år,* Stockholm: Riksantikvarieämbetet.
Spade, B. & Knutson Udd, L., 2011. *Arboga elektricitetsverk - Kultur- och teknikhistorisk dokumentation 2011,* Arboga: Arboga kommun.
Strand, M., 2017. *Forutsetninger for kontroll av stabilitet for betong- og murdammer - Vedlegg e til hovedrapport,* Lysaker: DR. TECHN. OLAV OLSEN.
Strand, M., Rosenqvist, M., Westberg Wilde, M. & Janz, M., 2021. *Inverkan av påväxt på betongkonstruktioner,* u.o.: Energiforsk.
Svenska Akademien, 1893. *Svenska Akademiens ordbok (SAOB),* Lund: Svenska Akademien.
Svenska kraftnät, 2019. *Dammar och dammteknik - En introduktion,* Sundbyberg: Svenska kraftnät.
Svenska väginstitutet Stockholm, 1925. *Meddelande 1 - Förslag till vägnomenklatur - Del 1,* Stockholm: Gernandts Boktryckeri.
Törnlund, E., 2006. *Flottningslämningar i Västerbottens län - historisk översikt och kulturhistoriska värdekriterier,* Umeå: Larsson och Co:s Tryckeri AB.
Wedholm, L. J., 1869. *Handledning Svenska Jernbruks-ekonomien,* Stockholm: Associations-boktryckeriet.

Bilaga 1 Exempel på stenmurverksdammar

1 Innehåll

Detta dokument innehåller exempel på olika stenmurverksdammar. Beskrivning av dammtyperna finns i huvuddokumentet och i denna bilaga visas exempel på olika dammtyper.

Bilagan innehåller följande delar:

Kapitel 2 - Murdammar med sten i bruk. Damm 1 – 8.

Kapitel 3 - Murdammar med tätande uppströmssida och dränerande dammkropp. Damm 9 – 12.

Kapitel 4 – Damm bestående av dubbelsidig mur med central tätning. Damm 13.

Kapitel 5 - Grundläggning

2 Murdammar med sten i bruk

2.1 DAMM 1

Dammen byggdes 1911 och är uppbyggd i form av en helt igenom murad konstruktion med mellanliggande cement/bruk. Vid något tillfälle har uppströmssidan försetts med ett lager av sprutbetong.

Vid ombyggnad för nytt kraftstationsintag bilades dammen ner med hydraulhammare varvid fotografierna nedan togs.

Stenarna på uppströmssidan är huggna och ligger välordnat och ligger tätt emot varandra. Även på nedströmssidan är stenarna huggna och välordnade. Invändigt förefaller stenstorlekarna vara mer varierande och stenarna är inte lagda i samma ordnade mönster. Detta är vanligt förekommande för denna typ av konstruktion, att det utvändigt är välordnat medan det invändigt är mindre ordnat, med varierande stenstorlekar, ibland till och med större hålrum.

Grundläggning förefaller vara utförd på berg.

Figur 2.1. Uppströmssidan och invändigt vid bilning.

Figur 2.2. Invändigt vid bilning.

Figur 2.3. Utvändigt, innan bilning.

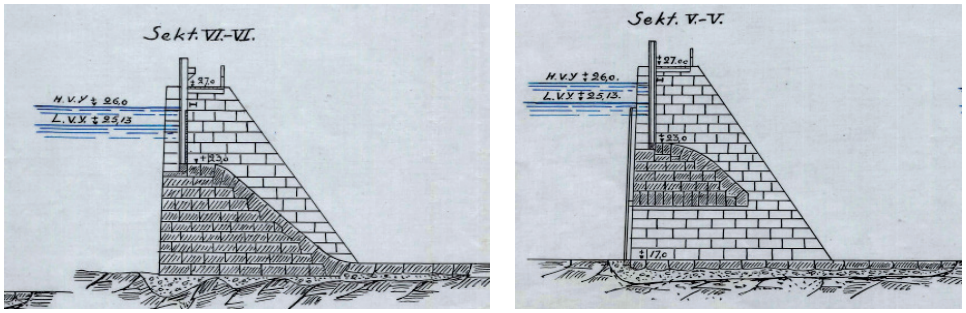
2.2 DAMM 2

Regleringsdammen har utskovspelare av fogat stenmurverk. Dammen byggdes 1906. På ritningar från Svea hovrätt (daterat 1920) visas utförande. Där förefaller det som att dammen även invändigt ska bestå av ett jämnt format murverk. Pelarna är relativt smala och troligen utförda på detta vis. I skiborden är det däremot troligt att murstenarna på uppströms och nedströmssidan är utfört på detta vis, men att det invändigt kan vara mer ojämnt (se damm 1).

Bottenutskoven är något valvformade och smala, vilket förklarar sektionen i Figur 2.5.

På ritning visas att dammen grundlagts på berg som avjämnats med betong.

Figur 2.4. Foto från nedströmssidan av regleringsdammen.



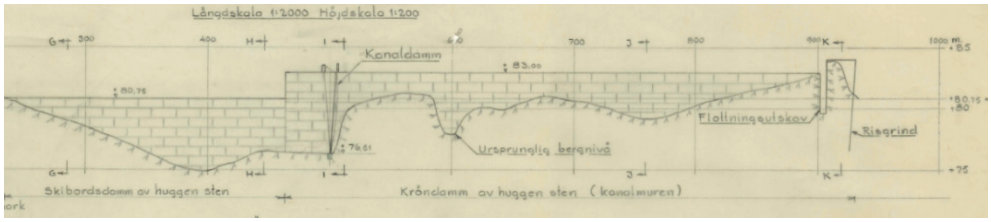
Figur 2.5. Sektion av ytutskov och bottenutskov. Från vattendomsansökan 1920.

2.3 DAMM 3

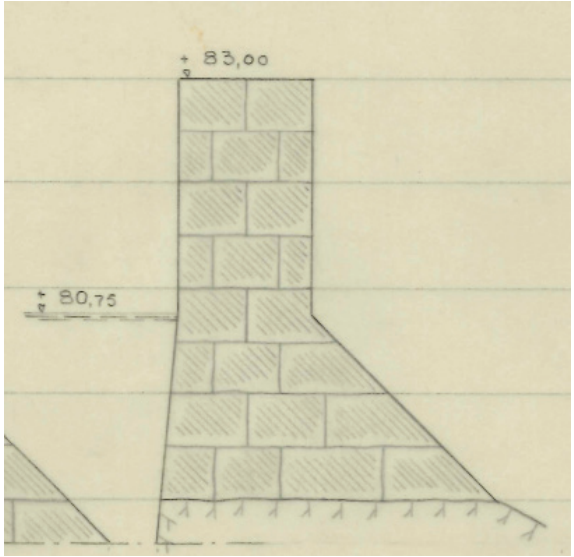
Dammen byggdes 1926-1930, vilket är sent för denna dammtyp då det vid denna tid blivit vanligare med betongdammar. Bygget tilläts troligen ta lång tid på grund av svåra tider och utförandet kan misstänkas vara extra noggrant av detta skäl.

Ritningar från byggtiden finns ej, men på ritning från uppmätning 1957 indikeras ordnad stensättning i hela konstruktionen. Foton från byggnadstiden samt från inspektion visar en damm med ordnad stensättning av relativt tunna stenskivor av huggen sten på nedströmssidan och huggen ordnad sten på uppströmssidan (oklart om det även där är tunnare stenskivor). Invändigt består konstruktionen av oordnad-ordnad sten i varierande storlek med mellanliggande cement/fogar.

Grundläggningen förefaller vara berg.



Figur 2.6. Nedströmsvy, från uppmätningsritning 1957.



Figur 2.7. Sektion, från uppmätningsritning 1957.

Figur 2.8. Dammen under uppbyggnad. Foto från 1926.

Figur 2.9. Dammen vid inspektion 2009.

Figur 2.10. Närbild av skada där murstenar försvunnit i dammtån. Notera de tunna murstenarna. Dammen vid inspektion 2009.

2.4 DAMM 4

Från FDU framgår att dammen är grundlagd på berg och är en massivdamm ursprungligen byggd av stenmurverk. Ombyggnader, höjning av krönet och reparationsåtgärder har utförts av betong så dammen får idag betraktas som en kombinerad murverks- och betongdamm. Bilder från 1900-talets början visar att dammen då var en överströmningsbar kröndamm. Längst till höger fanns ett luckutskov. Den höjning av dammen som häradsrätten gav tillstånd till 1902 och som kom till stånd 1926 utfördes i betong. Av äldre ritningar kan man utläsa att det tidigare krönet låg ca 1,6 m under det nuvarande och att dämningen höjdes ca 1,2 m genom dammhöjningen.

På fotografier framgår att stensättningen på dammens nedströmssida var relativt oordnad. Stenarna är av varierande storlek och på många ställen (särskilt i de övre delarna) har mindre sten lagts i för att fylla ut utrymmen mellan större stenar. Det förefaller som att det delvis finns fogmaterial mellan stenarna, men inte mellan samtliga. Det är oklart om fogmaterial har försvunnit.

I dagsläget är dammen ombyggd med en nedströmsliggande betongkonstruktion med lameller.

Figur 2.11. Närbild från nedströmssidan. Notera stensättningen av stenar med olika storlek.

Figur 2.12. Översikt.

2.5 DAMM 5

Dammen stod färdig 1909. Inga ritningar finns. På beskrivning från 1909 framgår att ”Dammen hade en tjocklek i krönet av 2 meter och i botten av 9,5 m samt var försedd i foten med ett grundavlopp av 1,2 kvadratmeters sektionsarea och i krönet med ett bräddavlopp utav tillsammans 10,86 meters bredd och 0,46 m djup.”

Vid ombyggnad utfördes borrning på nedströmssidan. Slutsatsen var att det var en gediget byggd konstruktion med en vattentät stenmur på uppströmssidan (sten och fogar utgjorde tätningen) och en fint fogad nedströmssida. Däremellan fanns en stenfyllning som utgjorde egenvikt. Stenfyllningen hade på vissa ställen stora hålrum. Borrningarna tydde på att den inte var murad i förband hela vägen igenom.

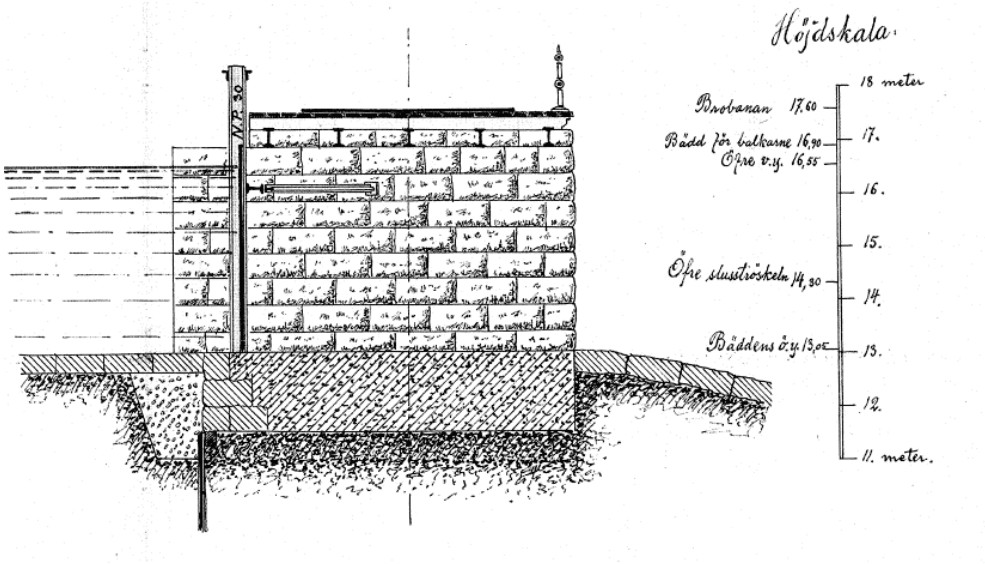
Dammen var byggd i en trång skreva vilket troligen bidragit till att den ”kilas fast” av vattentrycket (viss valvverkan).

Vid ombyggnad gjordes injektering av de inre håligheterna för att öka egenvikten och förbättra stabiliteten. Det gjordes även omfogning på upp- och nedströmssidan.

Figur 2.13. Översikt av dammen före ombyggnad.

2.6 DAMM 6

Ritningar från 1898 visar utskovsdammen där pelarna är utförda med murverk. Skiborden förefaller vara utförda i betong och uppströms och nedströms har förstärkning av grundläggningen gjorts med stensättning för att skydda mot erosion. Dammen är jordgrundlagd och en spont är nedslagen uppströms om skibordet. Uppströms om sponten har tätjord lagts.



Figur 2.14. Snitt genom utskov.

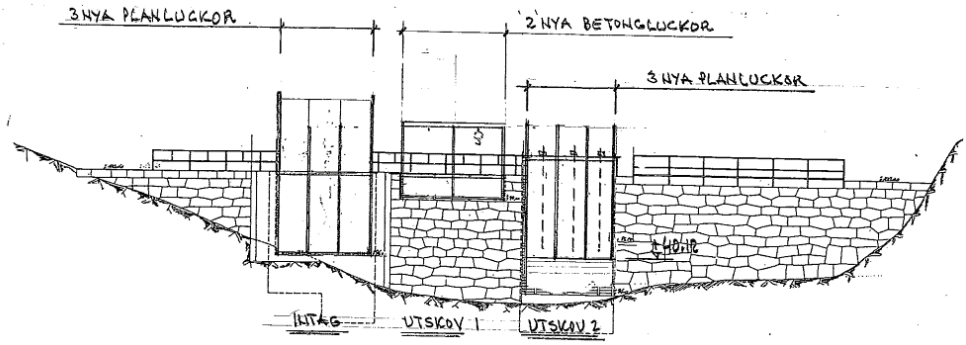
Figur 2.15. Foto på pelare, från inspektion.

Anläggningen består förutom reglerdammen av en kraftstation som är grundlagd på rustbädd. Borrningar har på senare år visat att rustbädden fortfarande efter mer än hundra år var i gott skick.

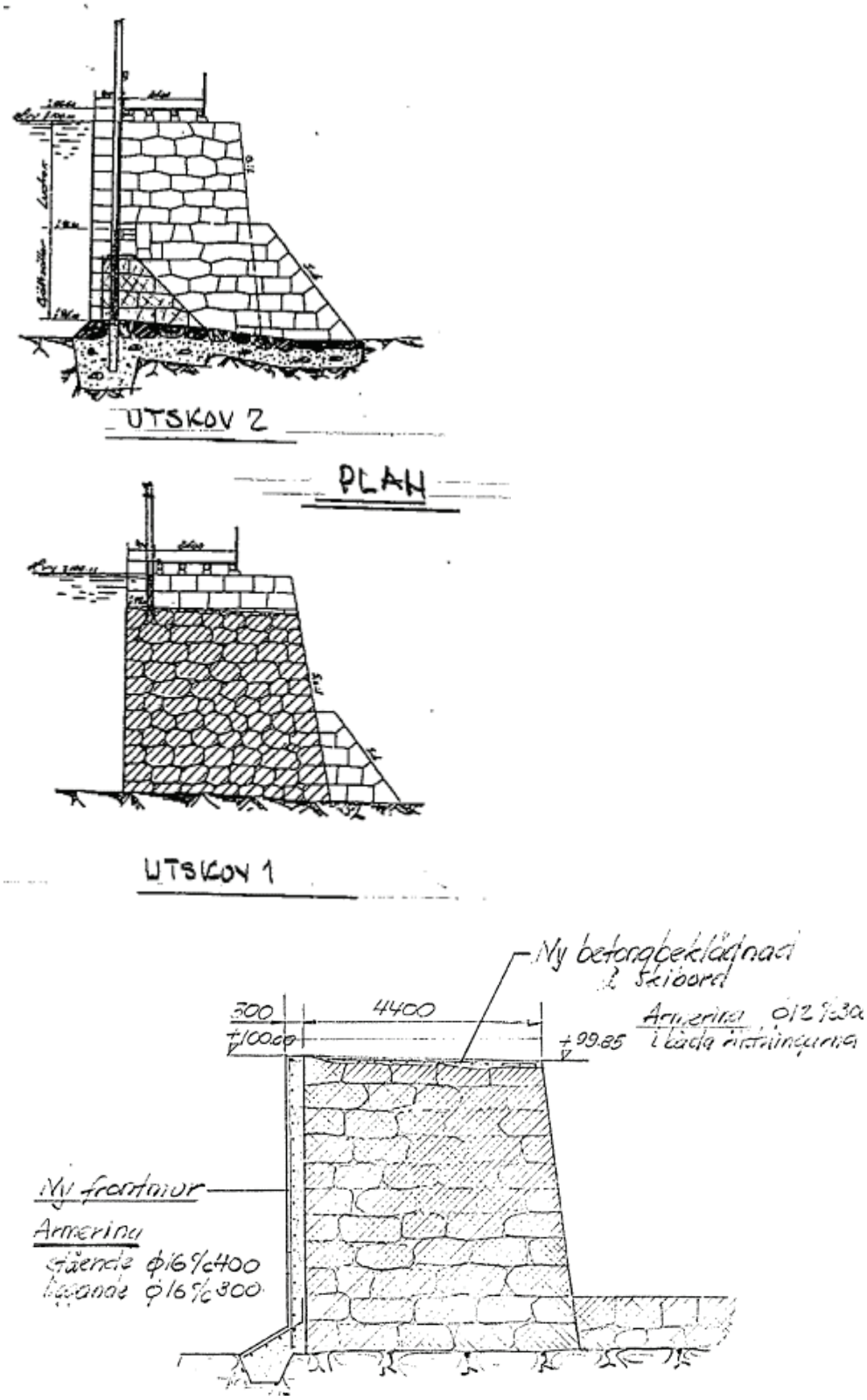
2.7 DAMM 7

Reglerdamm utförd som stenmurverk, togs i drift 1921. Dammen är av typ fogad stendamm där kärnan består av stenfyllnad. Grundläggningen är av berg. Utskov 1 har lagats (under 1950-talet) med armerad frontplatta i betong och pågjutning på skibordet.

Figur 2.16. Översiktsfoto.



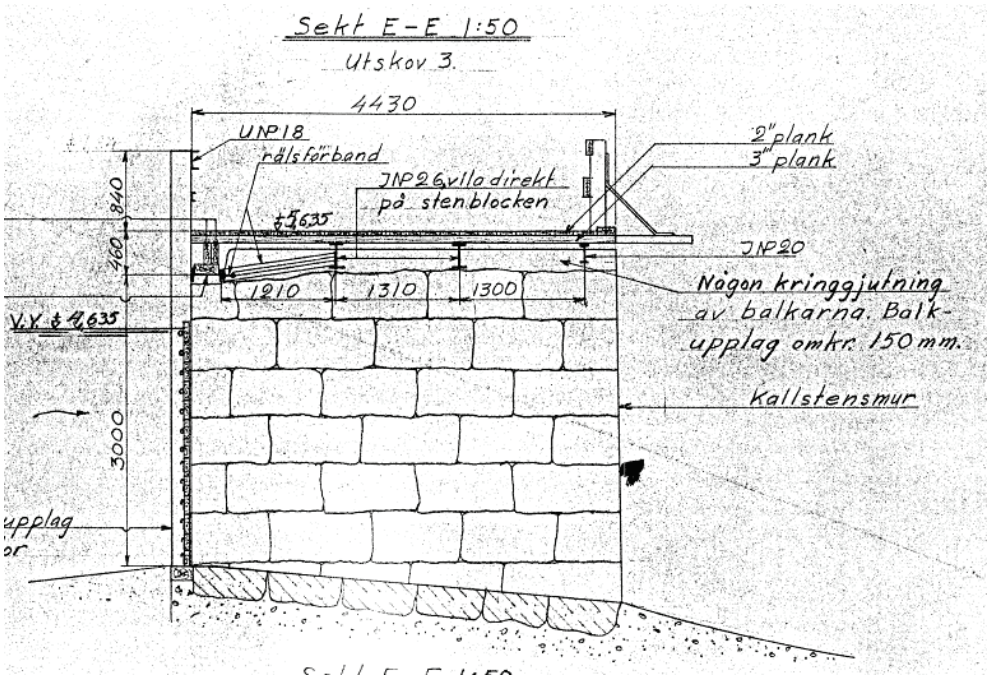
Figur 2.17. Översiktsritning.



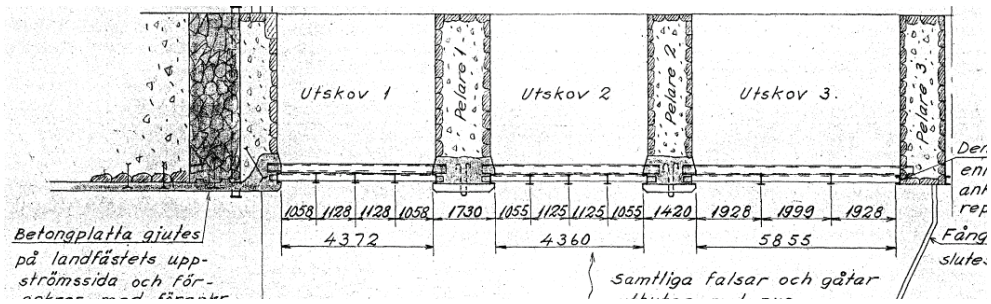
Figur 2.18. Sektioner genom utskov samt sektion som visar lagning med betongbeklädnad uppströms.

2.8 DAMM 8

Reglerdamm som utförts som stenmurverk. Åtgärder på anläggningen utfördes 1951 varvid det bland annat gjöts en tätande betongplatta på uppströmssidan. Ritningarna nedan kommer från detta tillfälle och det framgår att dammpelarna, trots begränsad bredd om ca 1,4-1,7 m, har ett yttre skal av mursten men ett inre av betong.



Figur 2.19. Sektion genom utskov med betongpågjutning på uppströmssidan.



Figur 2.20. Horisontalsektion genom utskovspelare.

Figur 2.21. Bild av anslutning.

3 Murdammar med tätande uppströmssida och dränerande dammkropp

3.1 TÄTJORD

Det finns flera olika varianter av dammar som är tätade med uppströms tätjord. Här har de indelats efter dammkroppens utformning i kallmur och skalmur.

3.1.1 Kallmur

Damm 9

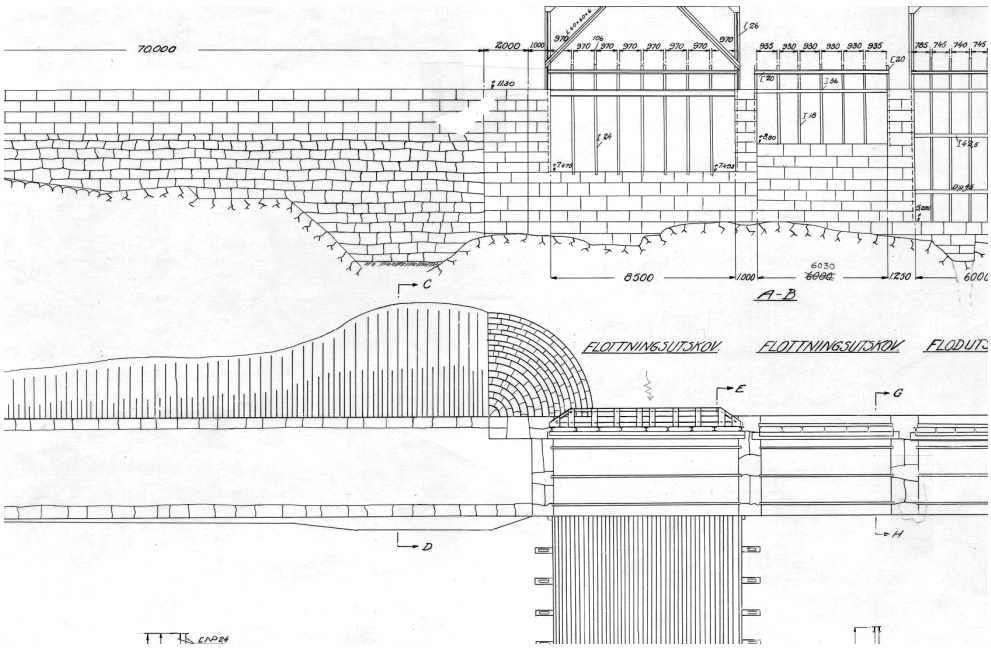
Förslagsritningar inför en ombyggnad vid dämningsupptagning 1942 visar möjliga utföranden för utskovströskel samt murverkskonstruktion. För murverkskonstruktionen har sedan uppdaterats (utifrån undersökning 1948) hur utförandet blev gjort.

Troligen visar ritningen faktiskt utförande, eftersom ändringar införts 1948. Dammen är senare delvis ombyggd.

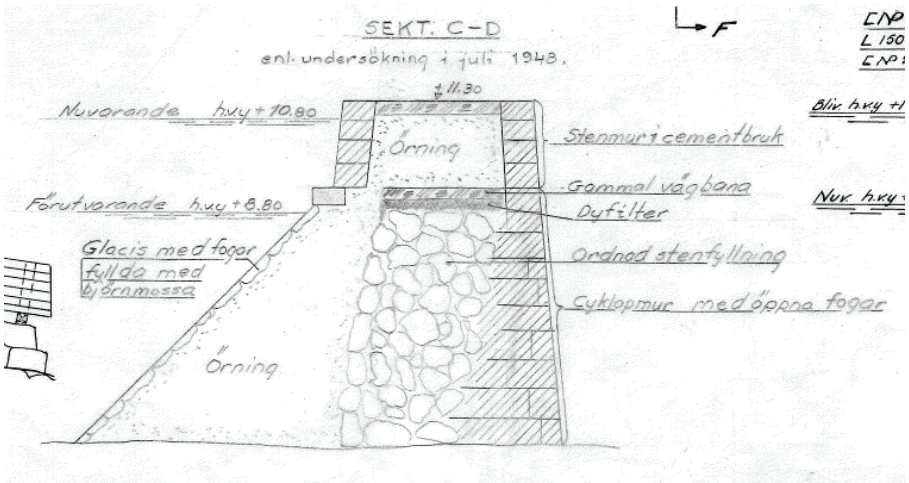
Högerdammen utfördes med en ordnad stenmur med öppna fogar (dränerande) på nedströmssidan (kallad cyklopmur), uppströms om denna ordnade stenfyllning (grov sten) och uppströms om detta tätjord (örning). På örningens uppströmssida skulle tätmaterialet skyddas av glacis med fogar fyllda av björnmossa. Vid dämningsupptagning byggdes övre delen av dammen om och höjdes ca 2 m. På nedströmssidan lades då en stenmur med cementbruk ovanpå cyklopmuren, uppströms om denna lades tätjord (örning) och mot uppströmssidan byggdes en stenmur ovanpå glacisen. Den gamla vägbanan (grusad) har delvis lämnats kvar inuti konstruktionen.

Utskovet är byggt med upp- och nedströmsmurar av ordnad sten, med betong i mellanrummet (betongdamm med stensatta sidor, behandlas inte vidare inom ramen för uppdraget).

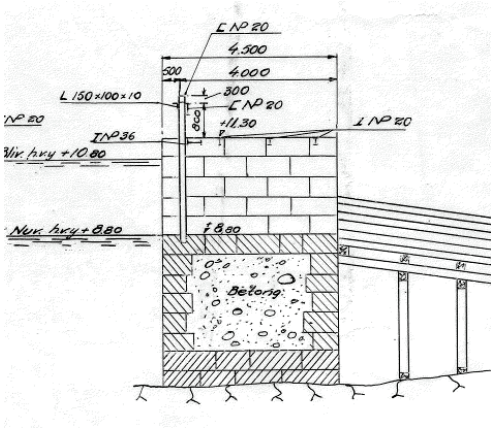
Det är oklart vilken grundläggning dammdelen har.



Figur 3.1. Nedströmsvy samt plan över dammen.



Figur 3.2. Sektion C-D, på höger sida av utskovet.



Figur 3.3. Sektion genom utskov.

Damm 10

Dammen är uppförd under 1500-talet. Vid utskovet utgörs dammen av ett kallmurat stenmurverk som är motfyllt med fyllningsmassor på uppströmssidan.

Figur 3.4. Nedströmsfoto av det kallmurade stenmurverket.

3.1.2 Skalmur

Exempel på skalmur med uppströmsliggande tätjord finns (känt av rapportförfattarna), men har ej kunnat medtas i denna exempelsamling.

3.2 BRUK

Det finns flera olika varianter av dammar som i sin uppströmssida har tätning i form av bruk. Här har de indelats efter dammkroppens utformning i kallmur och skalmur.

3.2.1 Kallmur

Inga exempel har hittats, men dammtypen beskrivs av (NVE, 2011).

3.2.2 Skalmur

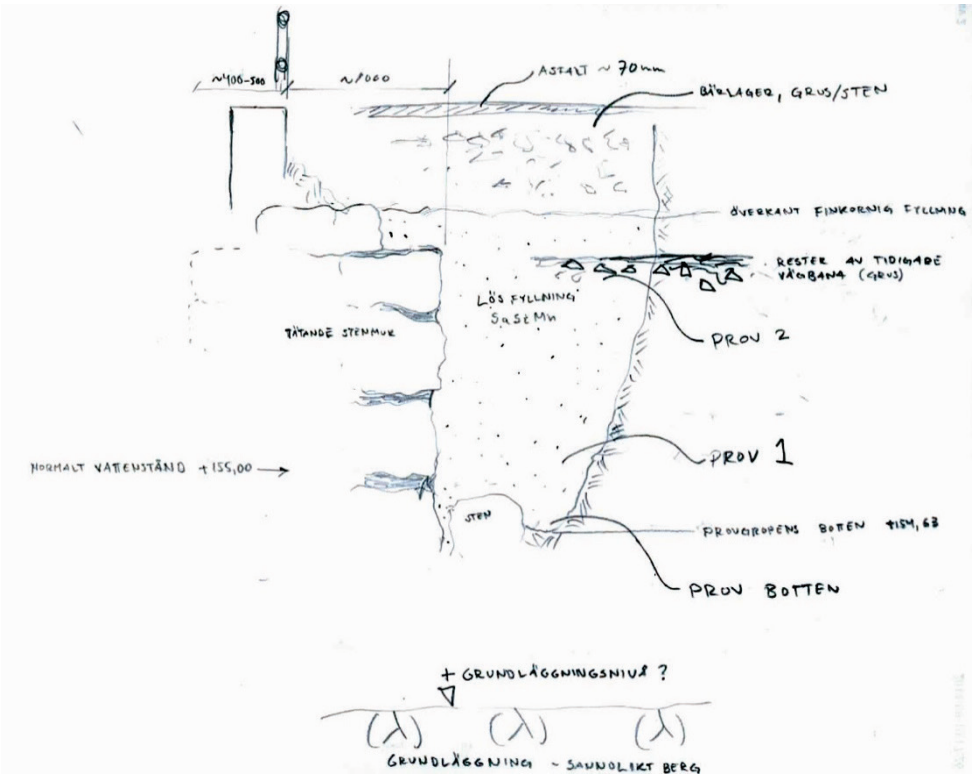
Damm 11

Dammen byggdes på 1870-talet och byggdes om vid ombyggnad 1930. Troligen är stenmurverksdelarna ej ombyggda. Nedanstående text är tagen från beskrivningar i FDU om anläggningen.

Dammens högra landanslutning utgörs i synliga delar av stenmurverk, närmast utskovet utformat som en dammpelare med samma dimensioner som mellan utskoven (utförda med fogade murstenar), och därifrån med väggar av stenmurverk på upp och nedströmssidan. Ritningar eller annan dokumentation som redovisar landanslutningens utförande i dolda delar saknas.

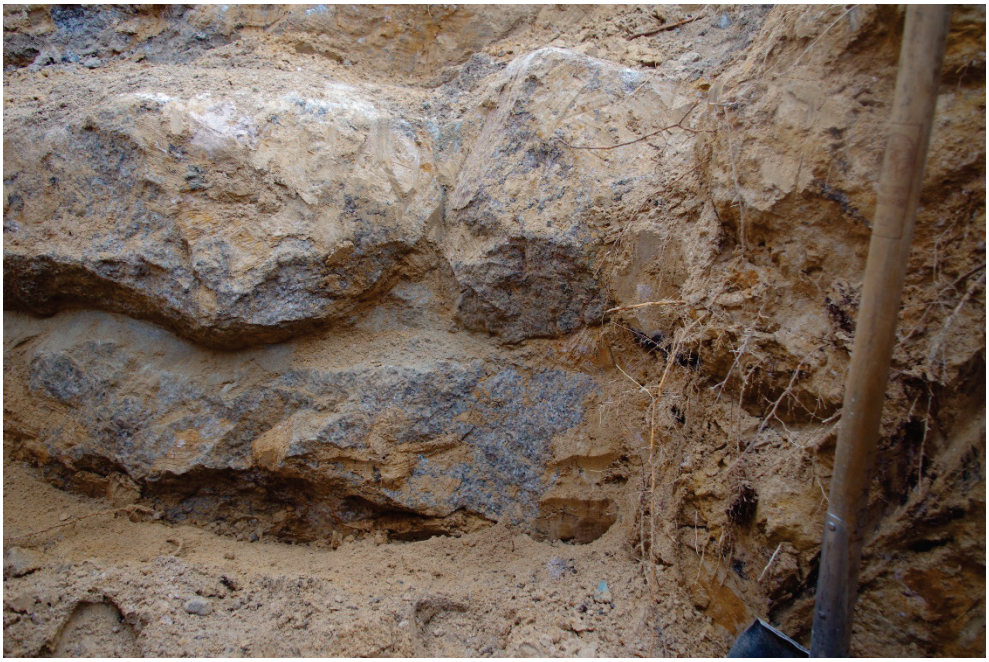
Figur 3.5. Höger landanslutning från nedströmssidan.

I samband med FDU gjordes provgropsgrävning och det kunde konstateras att höger landanslutning består av murar av stenmurverk i upp- och nedströmskant. Mellanrummet mellan murarna är fyllt med förhållandevis löst lagrat, ej packat, fyllningsmaterial av moränkaraktär (siltig sand – grusig siltig sand, prov 1 och 2) längre ner och bärlager för vägbanan högre upp, se Figur 3.6.



Figur 3.6. Skiss som beskriver utförandet av utskovsdammens högra landanslutning.

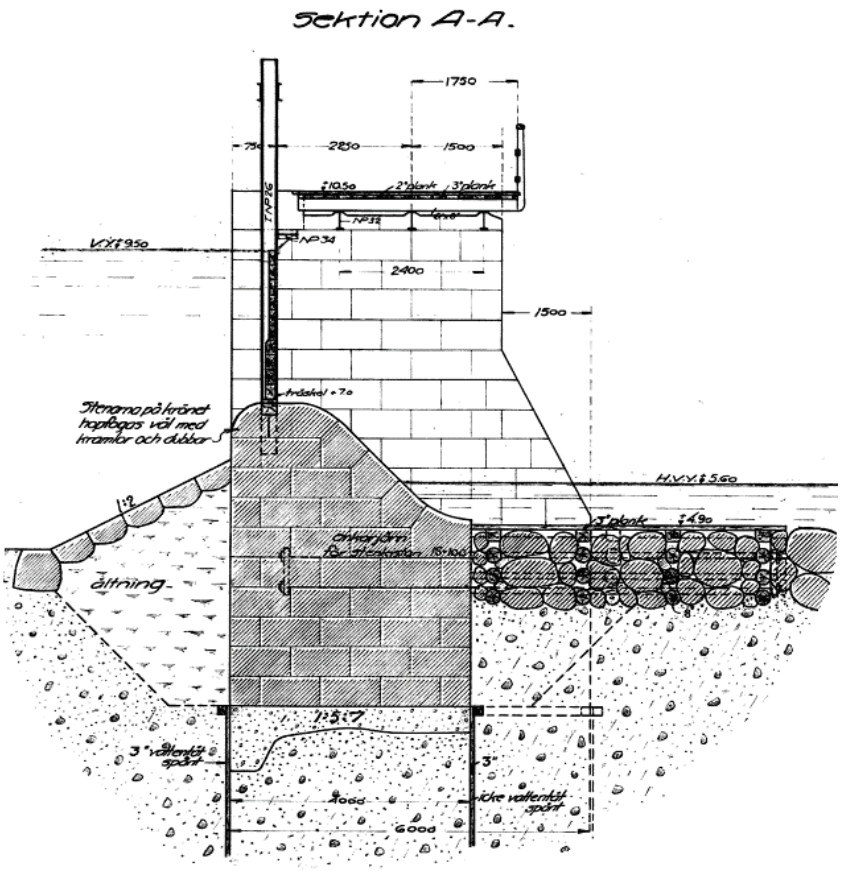
Stenmuren vid dammdelens uppströmskant är ca 1,4 – 1,5 m bred och omsorgsfullt fogad. Dammens konstruktion bedöms, med ledning av uppströmsmurens utförande och det faktum att jordfyllnaden i dammen inte var packad, vara sådan att uppströmsmuren utgör dess tätande funktion och fyllningen endast utgör stöd för muren. Dammdelen bedöms fungera som avsetts och inga skador avseende den tätande konstruktionen upptäcktes. En bild av muren vars nedströmssida schaktades fram i provgropen redovisas i Figur 4.8.



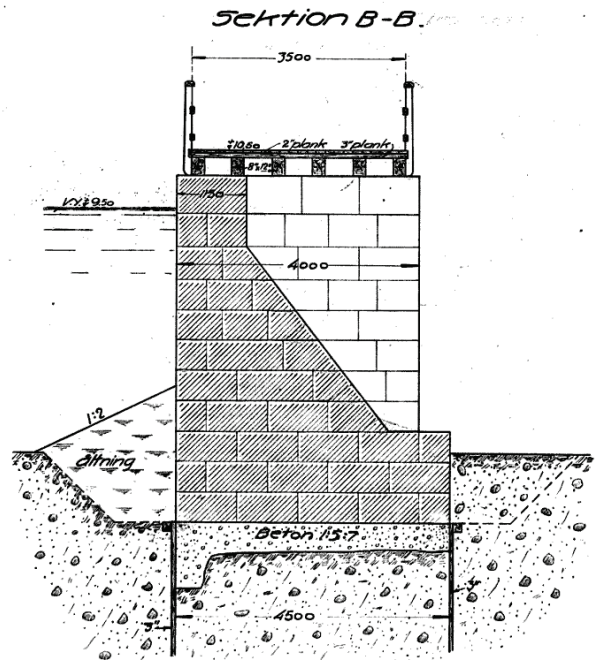
Figur 3.7. Muren som schaktades fram i provgropen som grävdes i utskovsdammens högra landfäste. Stenarna är omsorgsfullt fogade och inga sprickor eller andra skador kunde konstateras.

Damm 12

Följande information är hämtad från en kommande Energiforskrapport om utrivningen av dammanläggningen (Rosenqvist & Strand, 2021).
Dammen byggdes ca 1918. Förslagsritningar från perioden 1905-1908 visar på att dammen var tänkt att utföras med pelare och utskovströsklar av huggen sten på en gjuten betongplatta grundlagd på jord. Den faktiska utformningen skiljer sig troligen mot förslagsritningarna eftersom kraftverket var tänkt att ligga på höger strand, men sedan placerades på vänster strand.



Figur 3.8. Sektion A-A enligt förslagsritning från 1908.



Figur 3.9. Sektion B-B enligt förslagsritning från 1908.

Utrivning av dammen utfördes under 2020. Nedan visas bilder från rivningen av pelare 2. Pelare 3 och pelare 5 beskrivs vara utformade på likartat vis med samma typ av innandöme, medan pelare 4 var gjuten i betong.

Figur 3.10. Pelare 2. I fotografiet syns pelarens vänstra sida och nedströmssida. Fotografi från 2020-06-17.

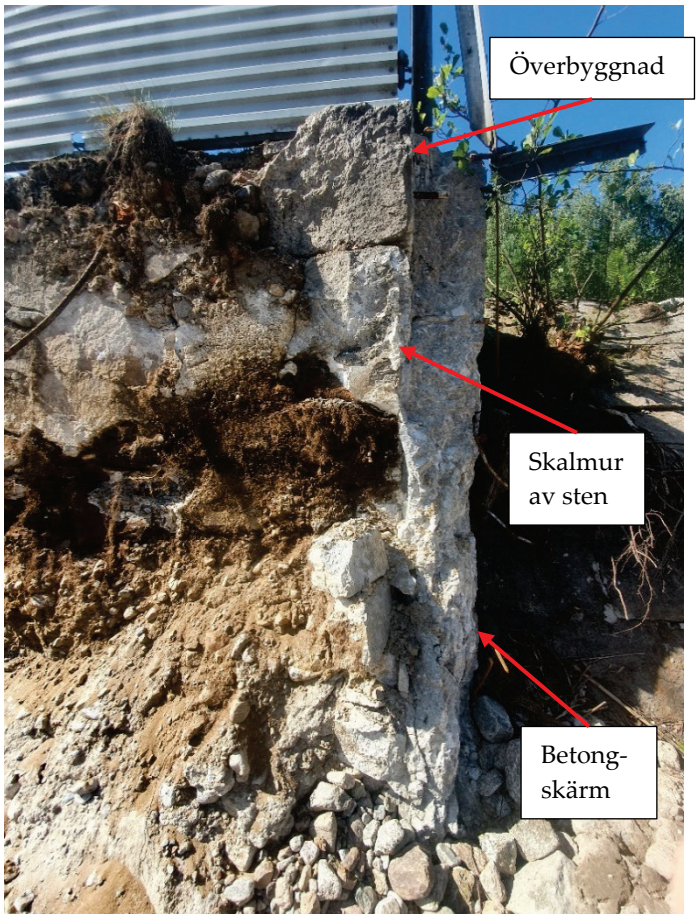
Figur 3.11. Pelare 2. Pelaren har delvis rivits ut och dess uppbyggnad framgår av fotografiet (2020-06-30).

Figur 3.12. Pelare 2. Närbild på pelarens inre bestående av sparsten och ett sandigt material (2020-06-30).

På bilderna framgår att pelaren hade ett murat skal av huggen sten. Stenarna var ca 35 cm långa, 15 cm höga och 20 cm djupa. Materialet emellan kunde liknas vid ett packat jordliknande material. Det noterades även stora stenar med rund form. Materialet beskrivs som att det inte liknar stampbetong då de för stampbetong vanliga lagren mellan olika skikt inte kunde noteras. Samtidigt hade materialet viss hållfasthet och gick inte att gräva i. Vissa kramlor noterades i materialet efter rivning. Äldre hus uppfördes ibland med kalkblandad fyllning. En möjlighet som ej bekräftats är att pelaren invändigt bestod av sådant material.

Höger anslutning föreföll enligt rapporten vara en skalmur av sten med mellanliggande jordmaterial av grusig sand. Utvändigt fanns en betongskärm. Rötter noterades i fyllningsmaterialet.

Figur 3.13. Anslutningen till västra sidan (2020-08-04).



Figur 3.14. Närbild av Figur 3.13 på uppströmssidan som visar betongskärmen framför muren med sten bakom (2020-08-04).

3.2.3 Betongplatta

Betongplattor gjuts ofta uppströms vid reparation. Exempel på detta finns från damm 8 .

4 Damm bestående av dubbelsidig mur med central tätning

4.1 TÄTJORD

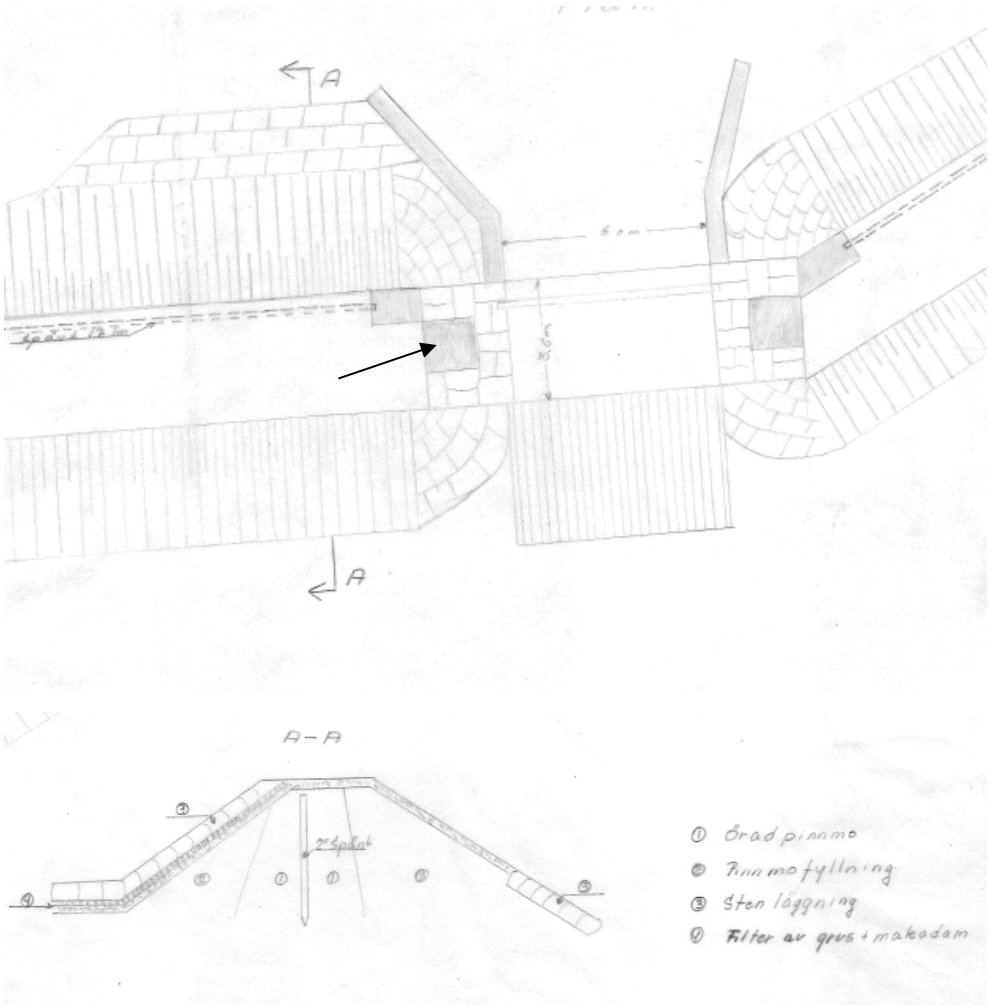
Endast ett exempel med tillräcklig information har framkommit. Det är dock troligt att det finns ytterligare exempel på detta, till exempel kan anslutningarna i damm 6 vara av denna typ. Även anslutningen i Damm 12 var troligen utförd på detta vis.

Damm 13

Dammen består av en fyllningsdamm med ett utskov av murverk och betong. Utskovet var från början utformat med en murad konstruktion där fyllningsdammens tätjord anslutits in i den murade konstruktionen. Ett dammbrott inträffade 1949 varefter konstruktionen gjordes om något med betong invändigt i murverket och sponter som anslöts till murverkets uppströmssida. Foton från den raserade dammen visar tydligt hur tätmaterialet tidigare varit förlagt.

Grundläggning av murverkskonstruktionen förefaller ha varit utförd på berg, för dammen i övrigt framgår inte grundläggning på ritning.

Byggnadsår för originaldammen är oklart, även syftet är oklart (kan ha varit flottningsdamm).



Figur 4.1. Plan och sektion över damm 13. Pilarna visar nu igengjutna utrymmen där tätjord tidigare var förlagt. Ritningen är från återuppbyggnad av raserad damm.

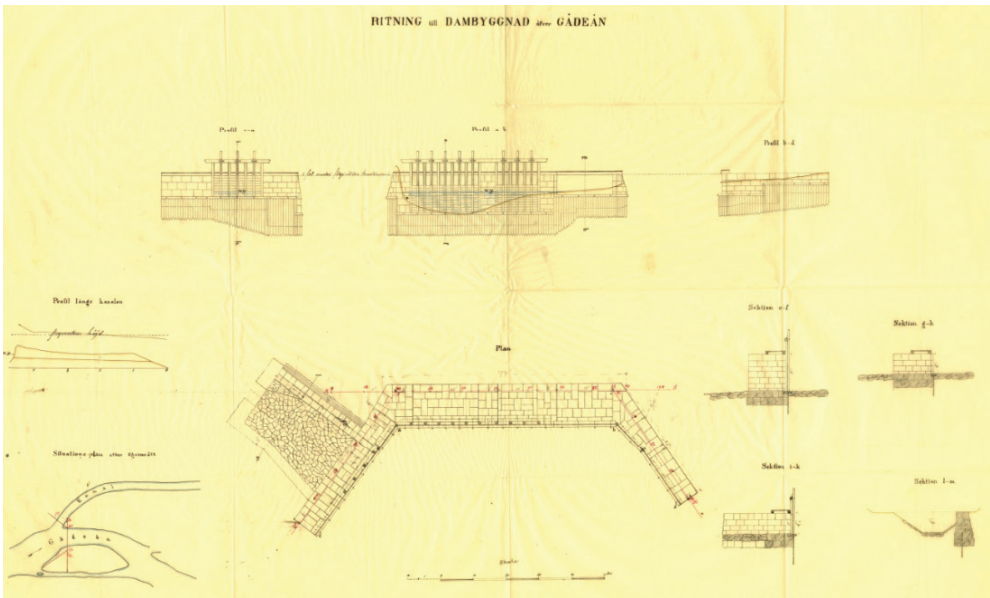
Figur 4.2. Foto efter dammbrott. Notera utrymmet där tätjord anslutits till murverket.

Figur 4.3. Foto efter dammbrott. Närbild på utrymmet där tätjord anslutits till murverket. Notera även att det tätjorden varit förlagd på underliggande murstenar.

5 Grundläggning

5.1 SPONT

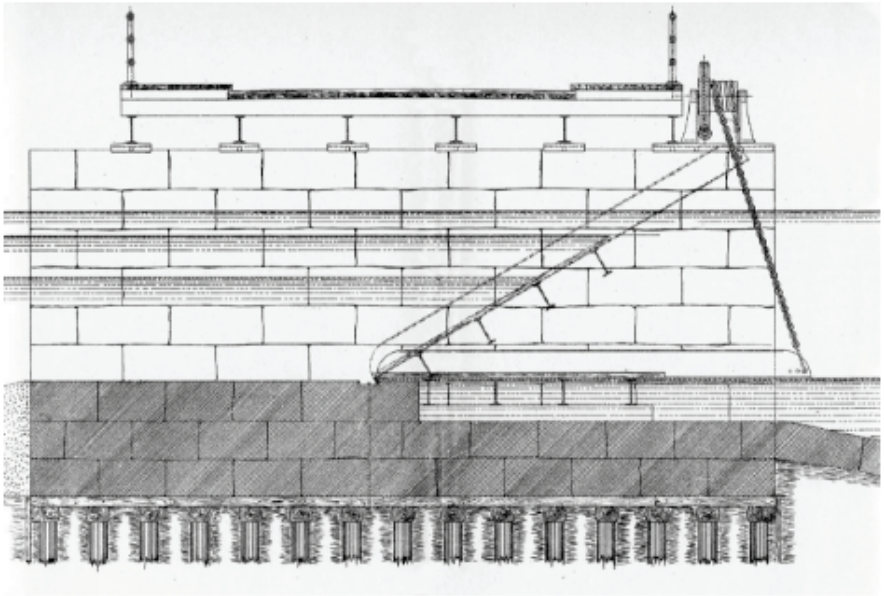
Spont förekommer i många konstruktioner, se t.ex. damm 6. I Figur 5.1 visas en flottningsdamm i där grundläggning med spont förekommer.

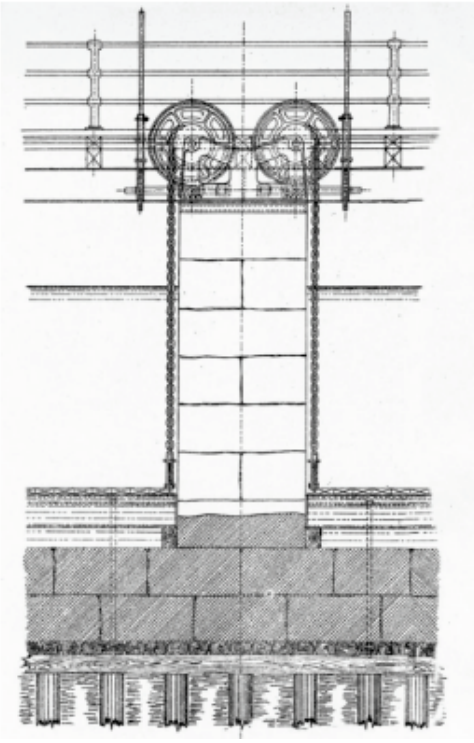


Figur 5.1. Föreslagen flottningsdamm Gådeån i dokumentet Gådeån 1 från Johan Fredrik Cornells arkiv (Cornell, 1892).

5.2 PÅLGRUNDLÄGGNING

Av (Spade & Knutson Udd, 2011) framgår beskrivning av Arboga elektricitetsverk med tillhörande damm. Den 51 m långa dammen uppfördes 1897-99 i Arbogaån. Av rapporten framgår att *"Dammkroppen utfördes av huggen sten, lagd på en bädd av plank. Bädden vilade i sin tur på ett pålverk som var nödvändigt för att bära upp tyngden i de mjuka jordlagren i åns botten. I dammkroppen fanns fem öppningar med en bredd av 9 meter, fyra för flodvatten (utskov) och en för drivvatten till turbinerna."*





Föregående sida: Dammen vid Roddartrappan utfördes med fem stora öppningar varav den vänstra var avsedd för drivvattnet till turbinerna. Ritningen visar vyn från nedströmssidan.

Ovan: Tvärsnitt genom en av dammens frivattenöppningar med kättingspel och höj- och sänkbar klafflucka.

Till vänster: Vy av mellanstöd i dammen med spakdrivna kättingspel till klaffluckorna.

Ritningar från Teknisk Tidskrift 1900

Figur 5.2 Ovan: Tvärsektion av dammen. Till vänster: Vy av mellanstöd i dammen med spakdrivna kättingspel till klaffluckorna. Plankbädd kombinerad med pålar noteras som grundläggningsmetod i båda figurerna (Spade & Knutson Udd, 2011).

Figur 5.3 Nedströmsvy av dammen vid Arboga elektricitetsverk. Pelarna och dammen består av bruksmursdamm.

Bilaga 2 Uppbyggnad och felmoder för stödmurar

1 Introduktion

Det finns på många håll i världen en stor mängd stödmurar utförda som stenmurverk.

I (Brady & Kavanagh, 2002) beskrivs att det i Storbritannien finns ca 9000 km vägar som är byggda på stenmurverk och att dessa är mycket vanliga även i övriga Europa, Hong Kong, Japan mm. I (Bishop & Koor, 2000) framgår att det i Hong Kong finns ca 6000 stödmurar av denna typ.

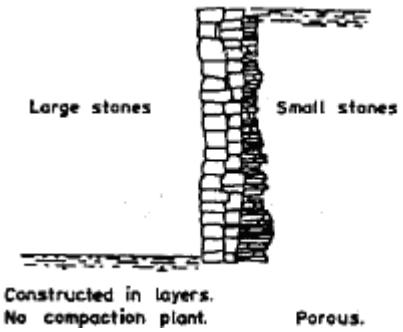
2 Utformning

I (Eschenasy, 2015) framgår att det i vårt moderna språkbruk beskriver äldre murverkskonstruktioner som ”gravity walls” eftersom stabiliteten är beroende av egentyngd. Vid tiden för uppförande skiljde man däremot på vilken typ av sten som användes för uppförandet där man antingen använde en högre ”klass” av stenar som var precict huggna, eller mer ojämna stenar som antingen inte var huggna, eller inte huggna med raka vinklar. Ofta byggdes stödmurar med en jämn utsida bakom vilka sten av lägre kvalitet placerades eller tippades. Det beskrivs även att ”precis som vilken mur som helst som består av flera separata vertikala sektioner måste dessa sammanbindas med bindestenar”. Murar bestående av en frontmur och en bakmur var därmed nödvändiga att binda ihop med hjälp av bindestenar.

Murar som byggts utan mellanliggande bruk benämns kallmurverk (dry walls på engelska). Ibland lades mindre stenar för att fylla ut gap mellan större stenar, dessa kallas pinning. Dessa såg även till att hålla kvar större stenar i rätt position.

I Storbritannien är enligt (Brady & Kavanagh, 2002) det vanligaste att stödmurar av stenmurverk är kallmurade. För kallmurade stödmurar kan dränera ut genom stenmurverket. Det är då ett oönskat tillstånd att olika processer sätter igen detta dränage och orsakar vattentryck på murverkets baksida. Det beskrivs därför som att det är av största vikt att säkerställa att så torra förhållanden som möjligt råder bakom en stödmur.

En typ av kallmur som var vanligt förekommande i bland annat Yorkshire beskrivs i (Chan, 1996, reprint 2000) ha större block utvändigt, bakom vilket mindre platta stenar läggs. För att undvika sättningar lades långa bindestenar för att öka murens stabilitet. Liknande konstruktioner, men ofta med lutande front återfinns i Japan och Korea.



Figur 2.1. Exempel på vanligt förekommande stenmur från (Chan, 1996, reprint 2000).

I Hong Kong finns en stor mängd stödmurar. Influens för byggandet kommer framförallt från Kina, men även i viss mån från Storbritannien, Korea och Japan. Enligt (Chan, 1996, reprint 2000) kan dessa delas in i sju olika typer:

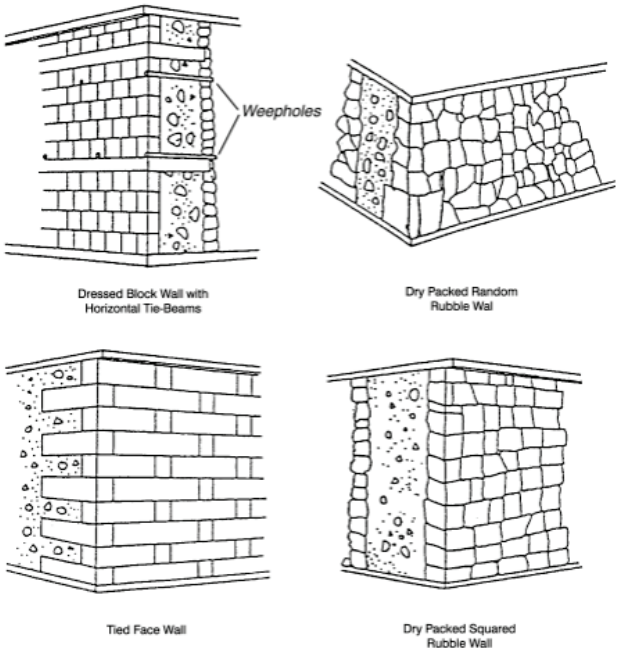
- Kallmurade med obearbetade stenar
- Bruksmurar med obearbetade stenar
- Kallmurade med olikformade rektangulära stenar

- Bruksmurar med olikformade rektangulära stenar
- Kallmurade med olikformade rektangulära stenar och horisontella bindestenar
- Bruksmurar med olikformade rektangulära stenar och horisontella bindestenar
- Murar med huggna stenar
- Murar med huggna stenar och horisontella bindestenar

(Bishop & Koor, 2000) summerar dem istället till tre kategorier: tied face walls, stone rubble walls and stone pitching.

Tied face walls används oftast till att stabilisera grävda slänter.

Stone rubble walls täcker in en stor kategori som är utförda på många olika sätt, från de med obearbetade stenar i slumpmässigt mönster till de med huggna stenar, med eller utan horisontella bindestenar. De har ofta ett yttre lager av sten hög kvalitet, en bakre lager av sten med lägre kvalitet (mindre ordnade/mindre stenar) och en kärna av material av olika form och storlek, där de största stenarna kan vara i samma storlek som murblocken. Ibland består fyllningen av cementerad jordfyllning. Exempel på utformning visas i figuren nedan och byggnadssättet i yy.

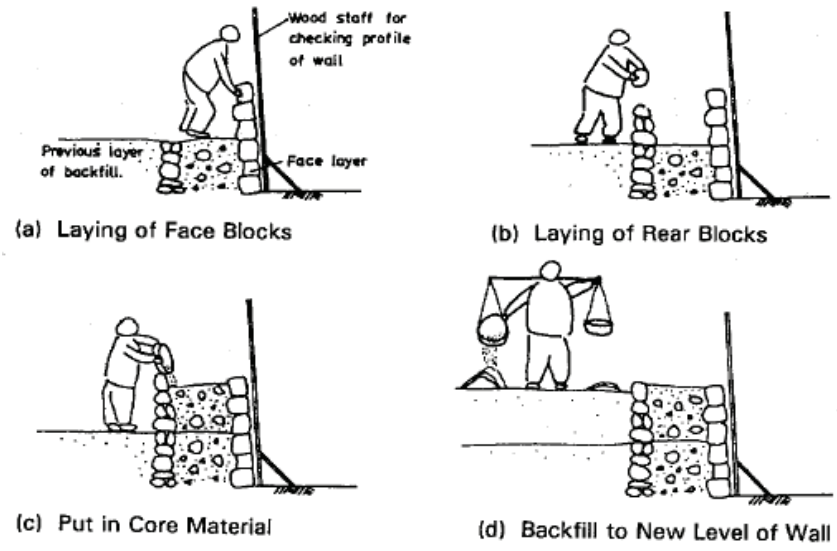


'ig. 1. Typical forms of old masonry wall construction in Hong Kong after Jukes *et al.* 1986.

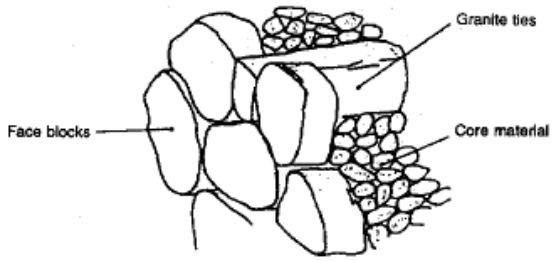
Figur 2.2. Exempel på typiska murar i Hong Kong. Från (Bishop & Koor, 2000).

För murar med huggen sten är utsidans stenar vanligen lagda i kalkbruk.

Exempel på användandet av bindestenar visas i Figur 2.4. Många av stödmurarna i Hong Kong är utformade med horisontella stabiliserande lager, antingen av jord som förstärkts med kalk eller betong (se övre högra figuren i Figur 2.2).



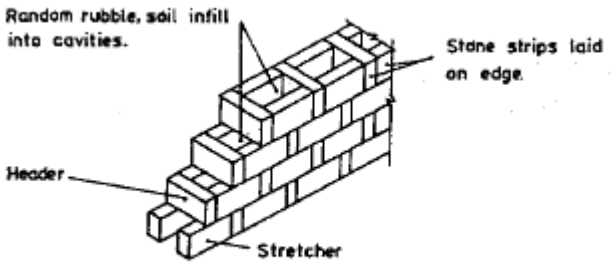
Figur 2.3. Exempel på uppförandet av stone rubble, från (Chan, 1996, reprint 2000).



Figur 2.4. Placering av bindesten, från (Chan, 1996, reprint 2000).

Stone pitching används framförallt som förstärkning av slänter mot vatteninträngning och erosion.

I Hong Kong finns även exempel på stödmurar lagda med så kallad ”box-bond” (en metod från Kina där stenarna läggs i ”boxar” och låser varandra) och ”tied face” (genomgående murade med längs och tvärgående stenar), men de senare var dyra att hugga och transportera ((Chan, 1996, reprint 2000)).



Figur 2.5. Box-bonded retaining wall.

3 Belastning

Den inre strukturen kan variera beroende på byggnadssätt, men är viktig för stabiliteten. Belastningen på en stödmur består i första hand av belastning från jord. Jordtrycket beror på friktionsvinkeln för friktionsmaterial. Hos kohesivt material (lera, silt) beror jordtrycket på jordens totala skjuvhållfasthet (friktion och kohesion) och skjuvhållfastheten minskar med ökat portryck, vilket därmed ökar jordtrycket. En undersökning i Storbritannien visade att ingen av de undersökta stenmurverken hade bakfyllning av lermaterial (Brady & Kavanagh, 2002).

Enligt (Chan, 1996, reprint 2000) kan en tunn mur inte få statisk jämvikt mellan pådrivande jordtryck och stabiliserande krafter, vilket gör att muren rör på sig. Rörelsen kan ge en minskning av jordtrycket som är tillräckligt stor för att jämvikt ska kunna etableras, eller också sker ytterligare rörelse så att muren inte längre kan hålla emot jordtrycket och brott inträffar. Denna typ av brott föregås ofta av att sprickor uppstår och vidgas på krönet, samtidigt som det sker en rörelse av krönet. Det beskrivs att detta är en trolig felutveckling för stödmurar av stenmurverk.

Även i (Eschenasy, 2015) beskrivs detta fenomen där en utåtriktad deformation minskar trycket från vilojordtryck till aktivt jordtryck, varefter en ny jämvikt uppnås. Det poängteras att jämvikten på nytt kan störas av efterföljande händelser (tex en regnig säsong) som på nytt kan öka trycket.

Enligt (Chan, 1996, reprint 2000) har noggranna undersökningar av jordtryck bakom stödmurar visat att de vanligen antagna linjära jordtrycksfördelningen endast är tillämpbar om fyllningen deponeras naturligt och inga rörelser sker i muren under fyllningsprocessen. Om jorden kompakteras, om deformationer av muren sker osv kommer jordtryckets fördelning bli annan. Som exempel nämns att när stödmurar av stenmurverk uppförts i Hong Kong gjordes det ofta utan användning av tunga kompaktionsmaskiner. Kompaktionstrycket är därför litet. Dessutom användes torrt material som bakfyllning. Som resultat av dessa två faktorer beskrivs att trycket för stödmurar i Hong Kong kan förväntas vara lägre än enligt vanliga antaganden.

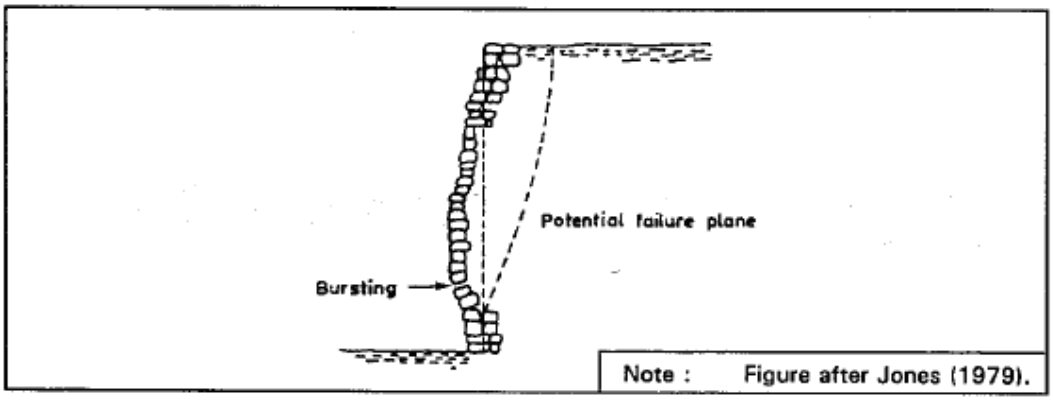
Olika faktorer som påverkar stabiliteten hos en stödmur är hållfastheten hos jorden, geometrin av muren, grundens lutning och grundvattennivån bakom muren. Enligt (Chan, 1996, reprint 2000) har hållfastheten i jorden endast liten påverkan på erforderlig murtjocklek (ca 10%) medan fullt vattentryck gör att erforderlig murtjocklek ökar med 70% jämfört med torra förhållanden. Om muren är dränerande och vatten står endast till halva murhöjden blir ökningen 25%. Lutande markyta ger också stor påverkan. 30% lutning ger ökningen 20 %, 39% lutning ger ökning 50%.

En faktor som inte ska tas hänsyn till vid beräkning enligt RIDAS är friktion mot murens baksida. I (Chan, 1996, reprint 2000) beskrivs att friktionsvinkel kan vara mellan $\frac{1}{2}\phi - \frac{2}{3}\phi$. Vanligtvis ger friktion mot murens baksida ett positivt bidrag till stabiliteten, men i fall då muren satt sig i förhållande till bakfyllningen ger det upphov till en uppåtriktad komposant som är negativ för stabiliteten.

4 Felsätt och felmoder

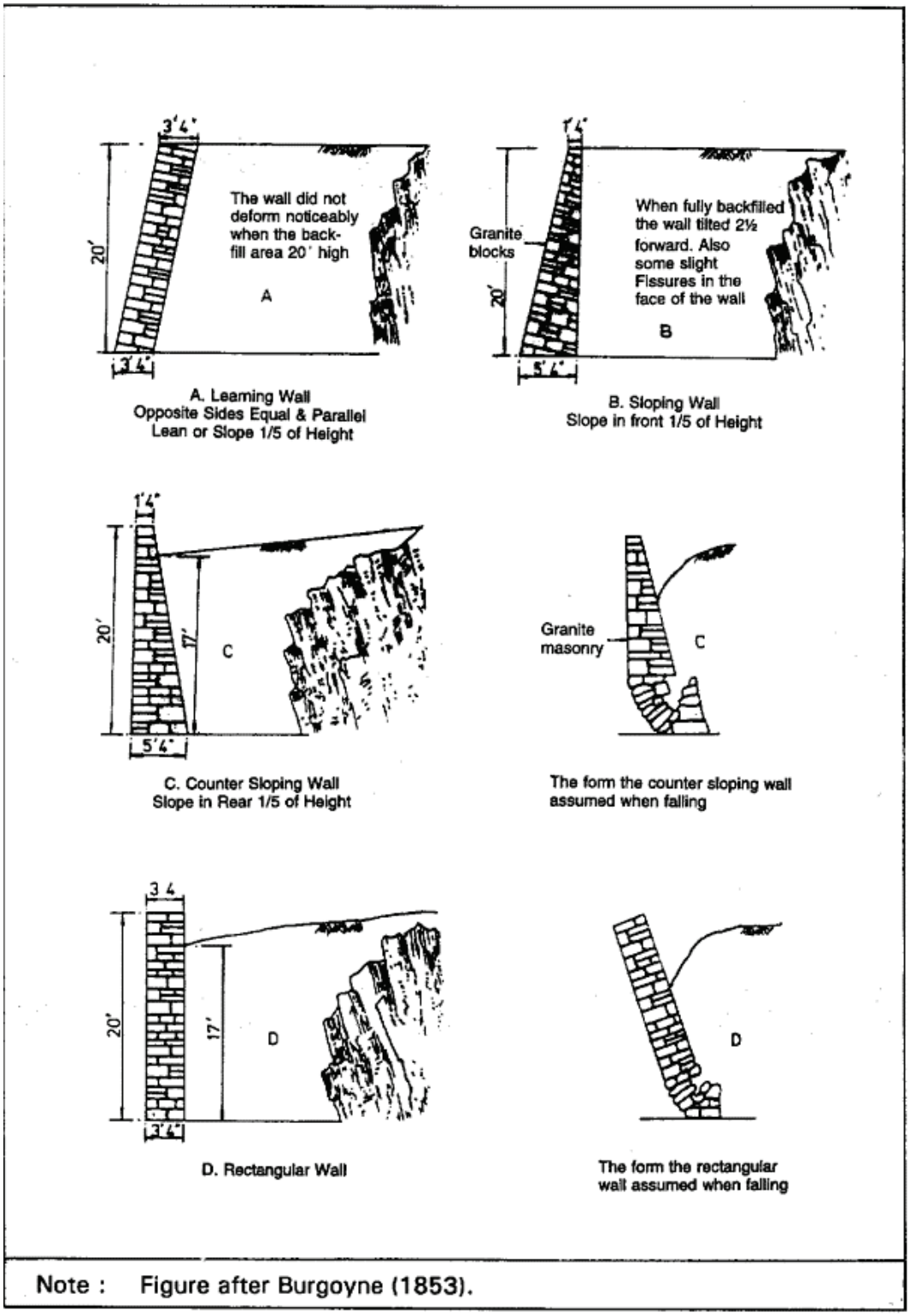
I (Brady & Kavanagh, 2002) beskrivs behovet av att göra försök (helst i full skala), men att detta endast gjorts i begränsad omfattning. I (Chan, 1996, reprint 2000) och (Brady & Kavanagh, 2002) beskrivs fysiska försök som utfördes 1834 där olika av upprättstående kallmurverk med olika geometri (ca 6,1 m hög med bas 1,6 resp. 1 m) höga byggdes upp och bakfylldes under noggrann kontroll varvid deformation och brott inträffade. Fyra olika geometrier testades. Två gick till brott, en fick stor utböjning och en hände inte så mycket med. För de där brott inträffade noterades innan brottet en rörelse av krönet, sprickor på framsidan och slutligen en utbuktning och utåtrotation av muren (stjälpning). Resultat från experimenten visas i Figur 4.2. Ytterligare experiment från 1874 visade enligt (Chan, 1996, reprint 2000) att det blev en utbuktning på murens mitt före själva brottet.

Enligt (Chan, 1996, reprint 2000) observerades i en studie på 1970-talet ett ökande antal brott beroende på nedbrytning av stenarna med tiden och på grund av att murarna ändrat form. Brotten beskrevs vara oförutsägbara, men kunna föregås av en lång period då muren haft en böjd form som visas i Figur 4.1.



Figur 4.1. Exempel på utbuktning. Från (Chan, 1996, reprint 2000).

I (Brady & Kavanagh, 2002) beskrivs att hållfastheten hos en stenmurverksmur beror på egenskaper och interaktion mellan blocken. Nedbrytning av blocken kan leda till lokal deformation eller kollaps. Murar som byggts av kantiga formade stenar är mer stabila än de som uppförts av stenar av ojämn storlek och form, men det finns begränsad information av effekten av fogmönstret på stabiliteten. En undersökning genomförd av TRF (det forskningsinstitut som (Brady & Kavanagh, 2002) tillhör) analyserade plain-strain men det konstaterades att lokal stabilitet, till exempel utböjning, i en ”random rubble wall” styrs av tredimensionella effekter. Storleken på block som använts för att bygga upp muren är viktigt. Precis som andra konstruktioner som bygger på egentyngd är murgeometrin mycket viktig för stabilitet (se vidare nedan).



Figur 4.2. Experiment av Burgoyne år 1834, från (Chan, 1996, reprint 2000). Olika konfigurationer av mur testades, A, B, C och D. A hände inte mycket med. B rörde sig framåt när den var fullt uppfylld bakom. C och D gick till brott innan markytan var fullt uppfylld och brottbeteendet visas i figuren.

Även (Chan, 1996, reprint 2000) poängterar att det för en korrekt utvärdering av stabiliteten hos en murverkskonstruktion är nödvändigt att analysera spänningsfördelningen. För att beräkna en korrekt spänningsfördelning skulle

behövas detaljerad kunskap om bindningen mellan blocken och de mekaniska egenskaperna hos dem. Som en första approximation kan murens material antas vara homogent, isotropt och elastiskt.

Ett antal felmoder definieras enligt (Brady & Kavanagh, 2002) vanligen för stödmurar:

1. Kollaps genom stjälpning
2. Glidning längs en glidyta som skär genom muren
3. Glidning längs en glidyta som skär under muren
4. Glidning längs murens bas
5. Stora sättningar i grunden eller i bakfyllningen
6. Stora rörelser i murens utsida (troligen resultatet av någon av de ovanstående)

De fyra första betraktas som brottgränstillstånd och de två sista som bruksgränstillstånd.

(Chan, 1996, reprint 2000) diskuterar möjliga brottsätt av ”Stone rubble retaining walls” och diskuterar följande:

- Otillräcklig bärförmåga
- Dragbrott
- Buckling (delmängd av 1?)
- Skjuvning

Dessa kan betraktas som att de ingår i de felmoder som definieras ovan, men beskrivs mer i detalj nedan.

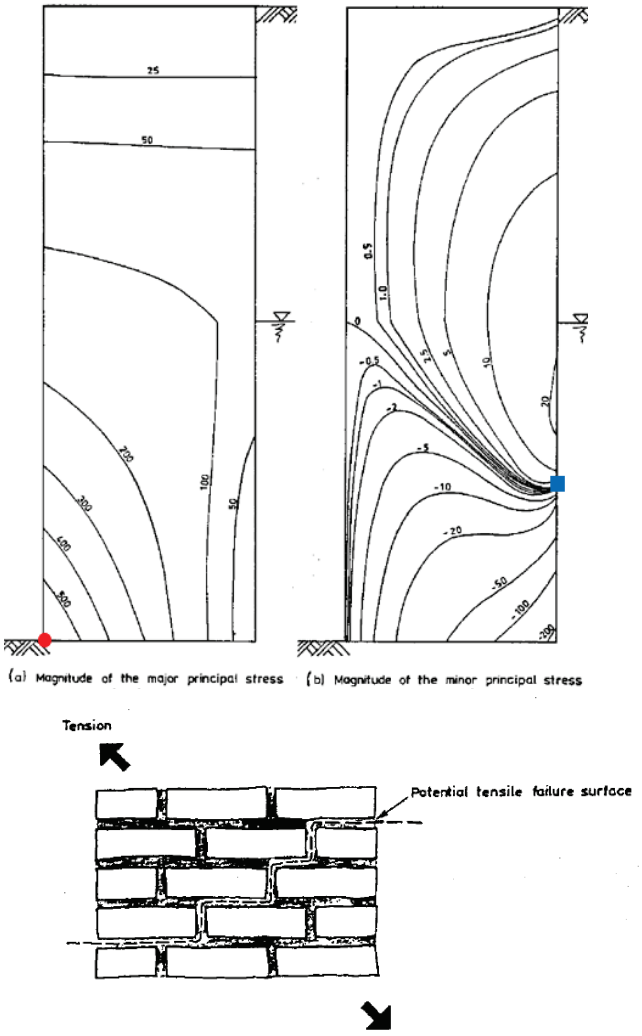
(Chan, 1996, reprint 2000) beskriver en brittisk, en kinesisk och en amerikansk standard och hur dessa definierar tryckhållfasthet (beror på typ av mur), draghållfasthet (nämns ej, men kan vanligtvis antas till noll), skjuvhållfasthet (det beskrivs att som grova skattningar kan 45 graders friktionsvinkel, jämförbart med råa bergsprickor, antas för sten mot sten, medan ca 30 grader kan antas i bruk, men då har bruket även en draghållfasthet).

4.1 OTILLRÄCKLIG BÄRFÖRMÅGA

Om tryckhållfastheten i grunden överskrids kommer brott att inträffa. I praktiken ger detta troligen sättningar i grunden eller stjälpning (felmod 1 eller 5 ovan).

4.2 DRAGBROTT

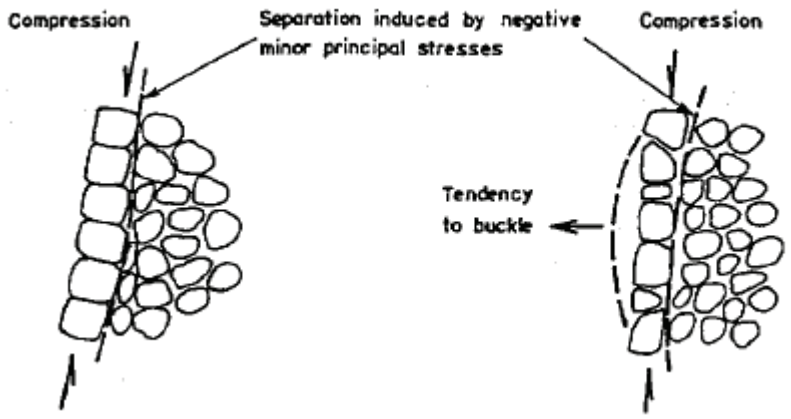
Vid försök (av Burgoyne, beskrivna ovan) visade det sig att en triangulär del av sten var intakt på insidan av muren efter inträffat brott. Detta beror enligt (Chan, 1996, reprint 2000) troligen på att dragspänning uppstår en bit upp på murens baksida och ger upphov till dragsprickor som går igenom fogar och sprickor i muren, se nedan. Detta relaterar främst till felmod 1 (stjälpning) men kan troligen även bidra till glidning längs ytor i muren.



Figur 4.3. Överst: exempel på maximal huvudspänning och minsta huvudspänning. Maximal tryckspänning inträffar i tån (se blå punkt i vänstra bilden) och nollspänning (övergång mellan tryck och drag inträffar en bit upp på murens baksida (se röd kvadrat i högra figuren). Underst: dragspricka i mur. Från (Chan, 1996, reprint 2000).

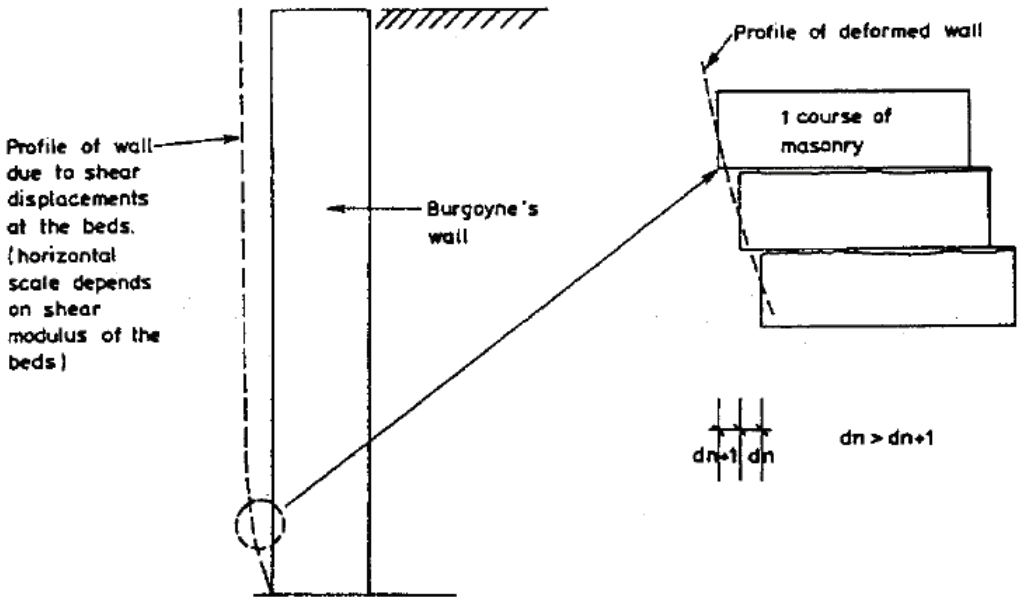
4.3 BUCKLING

Om muren inte har bindestenar, och kärnmaterialet är av liten storlek är ofta ytstenarna dåligt bundna till innandömet. Muren kan då bete sig som att den är uppbyggd av olika ”vertikala pelare” som inte fullt samverkar. Det är då möjligt att ytstenarna bucklas på grund av vertikal tryckspänning. Detta kan ses som en utbuktning av nedre delen av muren. Om muren har bindestenar kommer dessa motverka formeringen av ”vertikala pelare”.



Figur 4.4. Separation pga dragspänning och tryckspänning i kombination med avsaknad av bindesten kan ge upphov till buckling. Från (Chan, 1996, reprint 2000).

Skjuvning kan inträffa längs med olika ytor, bland annat mellan stenarna. Om skjuvningen orsakar förskjutning rör sig muren lite framåt för varje lager av sten. Skjuvkraften är större i botten och muren kommer därför få en kurvad profil, liknande det som observerades i försöken av Burgoyne (1834) innan brott, se nedan.



Figur 4.5. Deformation av stenmur på grund av skjuvdeformation mellan stenarna. Från (Chan, 1996, reprint 2000).

5 Observationer av avvikelser

I (Chan, 1996, reprint 2000) beskrivs brott av ett tiotal stödmurar av stenmurverk i Hong Kong, varav hälften haft observerbara avvikelser så som utbuktningar, sprickor och rörelser innan brottet. För några av de övriga är det oklart om tecken funnits.

I (Eschenasy, 2015) beskrivs att erfarenheterna från New York City är att tecken vanligtvis syns innan en kollaps, men att även en mur i god kondition kan gå till brott utan föregående varning om belastningen ökar.

I (Eschenasy, 2015) påtalas att åldrande stenytor kan uppvisa tecken på nedbrytning genom delaminering, avskalning erosion, nedbrytning av bruk mm. En visuell inspektion måste särskilja sådana åldringstecken från sådana som kan indikera möjlighet till mer allvarliga brott eller olyckor. Som exempel nämns sprickor som orsakats av temperaturrörelser (vertikala sprickor) som bedöms som mindre allvarligt. Utbuktning av en mur är ett signifikant tecken på förebådande kollaps som kan orsakas av minskad hållfasthet, brott i underliggande jord (eller ovan beskrivna orsaker). Det är ofta svårt att bedöma om murens yta ändrats på något vis, eftersom originalritningar sällan finns. Över en lång tid kan belastning (tex regn eller ispåverkan) och reduktion av friktion göra att muren sakta har rört sig från sin från början lutande eller vertikala position.

Följande tecken nämns i (Eschenasy, 2015):

- Utåtrörelser efterföljs ibland av sjunkhål och dragsprickor i murens överkant.
- För långa murar kan obeservationer om vinkelförändringar hos en del av muren indikera differentiella rörelser.
- Svällning av jorden på marken framför muren kan indikera utåtrörelse som tyder på en utåtglidning.
- Utbuktningar kan vara lokala och då tyder de på lokala svagheter så som felaktigt placerade stenar. Större utbuktningar över en area är ett tecken på överskriden bärförmåga och glidning på grund av spänningskoncentrationer. Det kan också orsakas av otillräcklig förekomst av bindestenar.

Vidare beskriver (Eschenasy, 2015) att murar ofta är utsatta för en stor del av sin designlast direkt efter uppförandet. Ökande laster kan uppkomma i samband med förändringar av olika slag, till exempel ökade jordlaster på grund av andra byggnader, ändringar i vattenflöden osv. Många brott har inträffat under regniga säsonger, antingen för att dränage varit underdimensionerade eller för att de satt igen. Transport av finmaterial kan reducera dränagets kapacitet. Omfattande beväxning kan vara ett tecken på kontinuerlig tillgång till vatten/bristande läckage.

Isformation och rötter från träd kan skapa ”kilar” som kan leda till lokal nedbrytning.

Figur 5.1. Vertikal spricka i rubble wall. Från (Eschenasy, 2015).

Figur 5.2. Utåtbuktning av mur. Från (Eschenasy, 2015).

STENMURVERKSDAMMAR – UPPBYGGNAD, GRUNDLÄGGNING OCH POTENTIELLA FELMODER

Syftet med projektet har varit att underlätta förvaltningen av stenmurverksdammar och att ge underlag för framtida dammsäkerhetsarbeten genom att öka kunskap och förståelse för uppbyggnad och funktion hos denna typ av dammar. Rapporten ska ses som en första ansats till att sammanställa underlag om stenmurverksdammar.

Resultatet av arbetet visar på att det finns flera olika typer av stenmurverksdammar och grundläggningsmetoder. De skiljer sig relativt mycket åt konstruktionsmässigt. Av underlaget kan det konstateras att det fanns en god kunskap om problematiken kring uppbyggnad och förvaltning av dammar långt tillbaka i tiden.

Resultatet av rapporten visar att vidare fördjupning behöver göras i hur dammarnas stabilitet ska beräknas. Det finns också ett behov av att sammanställa erfarenheter av undersöknings-, övervaknings- och förstärkningsmetoder för stenmurverksdammar.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se

Energiforsk