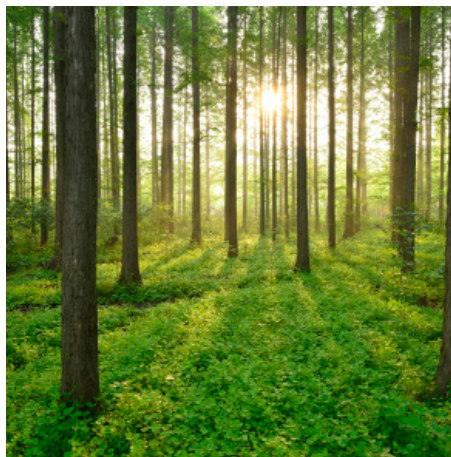


SVENSKA FYLLNINGSDAMMAR AV ”ÄLDRE UTFÖRANDE”

RAPPORT 2023:943



DAMMSÄKERHET



Svenska fyllningsdammar av ”äldre utförande”

En kunskapssammanställning

ANDERS ENQVIST
SUSANNA JANNUNG BOLIN

ISBN 978-91-7673-943-3 | © Energiforsk maj 2023

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

Förord

I denna rapport beskrivs utformning och grundläggning för fyllningsdammar av "äldre utförande", som inte är uppbyggda enligt moderna riktlinjer. Projektet har beställts av Energiforsks dammsäkerhetsprogram i syfte att underlätta förvaltningen av äldre fyllningsdammar genom ökad kunskap om dammarnas uppbyggnad och funktion.

Projektet har genomförts av AFRY med Anders Enqvist (projektledare) och Susanna Jannung Bolin som utförare. En referensgrupp bestående av Maria Bartsch (Svenska kraftnät), Daniel Sjöstedt (Skellefteå kraft), Peter Viklander (Vattenfall) och Olle Runnéus (Fortum) har följt projektet.

Författarna vill tacka dammägarna, referensgruppen och Gunnar Sjödin som bidragit med underlag, goda råd och synpunkter på arbetet.

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

Sammanfattning

Det finns många fyllningsdammar i Sverige som är uppförda en lång tid tillbaka och inte är uppbyggda enligt moderna principer och riktlinjer. Dammarnas uppbyggnad och grundläggning är ofta okänd och bedömning av dammarnas säkerhet är därför komplicerad att göra. Denna rapport syftar till att sammanställa information om uppbyggnads- sätt och grundläggningsmetoder; att identifiera potentiella felmoder och felorsaker; samt att ge information och exempel om olika undersöknings-, övervaknings-, reparations- och förstärkningsmetoder för dessa fyllningsdammar.

Rapporten är baserad på underlag som erhållits av olika dammägare samt från en arkivgenomgång. Projektet är inriktat på fyllningsdammar av "äldre utförande" och under arbetets gång har avgränsningar gjorts utifrån det. Med begreppet "äldre utförande" avses i denna rapport fyllningsdammar som är byggda innan ca 1950-talet. Design och materialval för dessa fyllningsdammar skiljer sig till viss del från vad som normalt används idag. Aktuella svenska riktlinjer för dammsäkerhet beskriver inte dessa dammkonstruktioner och är därför inte heller helt applicerbara.

Av genomgången underlag har det framkommit att fyllningsdammars tätande skikt uppförda fram till ca 1950-talet ofta har utförts med spont/skärm av trä, stål eller betong. Kunskap om bland annat packningsmetoder var ej tillräcklig innan ca 1950-talet och sättningar uppkom ofta vid uppdämning. Sponten/skärmen ansågs utgöra en extra säkerhet i dammen. Det har också varit vanligt att konstruera dammar med en lutande eller stående tätkärna av lera eller som homogena fyllningsdammar. Många dammar har också byggts i samband med äldre tiders anläggande av kanaler och torrläggning, flottning m.m. Dessa dammar är ofta utförda med material från intilliggande markområde (eller från schakt av dike eller kanal). Under 1950-talet ökade dammbyggnadskunskapen och höga fyllningsdammar med tätkärna av morän började byggas.

Av identifierade dammtyper gjordes en avgränsning inom projektet till homogena fyllningsdammar och fyllningsdammar med tätkärna av lera (lutande och stående). För dessa dammar har potentiella felmoder och felorsaker listats. Dammtyperna är känsliga för inre erosion då filterfunktion saknas eller (sannolikt) är bristfällig. Som de flesta fyllningsdammar är de också särskilt känsliga för läckage och inre erosion vid anslutningar, genomföringar, vid ojämna grundläggningsförhållanden m.m. Båda dammtyperna bedöms mer känsliga mot skador till följd av rötter, skador till följd av djur samt av tjälnedträngning än "moderna" fyllningsdammar uppbyggda med filter. Homogena dammar bedöms särskilt känsliga för instabilitet p.g.a. höga portryck samt att källsprång kan bildas vilket kan utvecklas till materialtransport. Dammar med lutande lertätkärna bedöms särskilt känsliga för instabilitet av uppströmsslänten vid hastig avsänkning av magasinet.

Vid förstärkningar eller reparationer bör det verifieras att dammen inte tar skada av tilläggsbatter. Dammar byggda på "mjuk/svag" grund samt dammar uppförda

av kompressibelt jordmaterial bedöms kunna ta skada vid belastning. Överfart med tung utrustning eller trafik bedöms kunna skada dammen. Möjligen kan utskiftning av jordmaterial göras för att höja dammsäkerheten avseende stabilitet eller täthet. "Nyare" material som plastspont och geomembran kan övervägas vid reparationer/förstärkningar då dessa material är relativt lätta och inte tillför någon större extra belastning. Materialen kan ev. installeras med enklare metoder.

Inom detta projekt har ett antal förslag på fortsatta studier listats. Dessa berör bland annat andra fyllningsdammskonstruktioner (som avgränsats inom detta arbete), beständighetsfrågor, stabilitet m.m.

Nyckelord: fyllningsdammar, jorrdammar, kanaldammar, invallningsdammar, homogena fyllningsdammar, vallar, fördämningar.

Summary

There are many embankment dams in Sweden not built according to modern principles and guidelines. The construction and foundation are often unknown which makes the dam safety assessment complicated. This report aims to compile information about how these embankment dams have been constructed and founded; to identify potential failure modes; and to give examples of suitable investigation methods, surveillance methods and repair and reinforcement measures.

The report is based on examples offered from dam owners and on an archive search. The project focus is on "old" embankment dams and delimitations have been made during the project to emphasize these types of structures. In this report we define "old" embankment dams as built (around) 1950 or before. Design and construction materials for these embankment dams differs from what is commonly used today. "Old" embankment dams are not described in current Swedish guidelines for dam safety. The guidelines are therefore not always applicable.

Embankment dams have been constructed for various kinds of purposes. From the review of source material, it has been found, that most dams in Sweden before 1950 have been constructed with a core wall of concrete, wooden or steel sheet piling. The knowledge about compaction methods was not sufficient before the 1950 and settlements occurred after commissioning (first filling). The core of concrete, wood and steel was considered an extra safety margin. Many dams have also been constructed with a puddle core (central and inclined) and as homogeneous dams. In Sweden, a lot of small dams have been constructed due to establishment of canals, rafting and dikes. These dams are often constructed with materials from the immediate surroundings. Around 1950 the knowledge about how to construct embankment dams increased and an era of high embankment dams with only moraine/till as the impervious core begun.

Potential failure modes have been listed for homogenous embankment dams and dams with puddle core (central and inclined). As most embankment dams, these dams are also sensitive for leakages and internal erosion in connections with abutments, conduits, irregularities in foundation etc. The dam types are considered more sensitive to internal erosion while they lack filtering functions compared to "modern" embankment dams. The dams might also be more sensitive to ingrowing root systems, animal burrows and thawing. Homogeneous dams are more sensitive to instability due to high pore pressure and for internal erosion, when seepage exits on the downstream slope. Dams with inclined puddle core are considered more sensitive to instability in the case of rapid drawdown of the reservoir.

When refurbishment and reinforcement are considered, it must verify that the embankment dam can handle additional loading. Dams constructed of, or founded on, soft and compressible soils can be damaged. Heavy load from traffic or equipment can also harm the construction. There might be a possibility to "shift out" construction materials to increase the dam safety. "Newer" and lighter

materials as geomembrane and plastic sheet piles, might be suitable for refurbishment and reinforcement since the additional loadings are small and might be installed with simple methods.

The project has listed several recommended additional studies. The studies involve embankment dam constructions, materials duration, stability, enhanced studies of initiation phases for potential failure modes etc.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Syfte	10
1.2	Metodik	10
1.3	Innehåll	11
1.4	Omfattning och avgränsningar	11
2	Nomenklatur	13
3	Fyllningsdammar av "äldre utförande"	15
3.1	Allmänt om dammar	15
3.2	Fyllningsdammar med olika ändamål	17
3.3	Svenska fyllningsdammar – vägledande litteratur	24
3.4	Jordartsindelning	26
3.5	Uppbyggnad	28
3.6	Grundläggning	61
3.7	Dammanslutningar	72
3.8	Beståndsdelar	75
4	Potentiella felmoder	86
4.1	Otillräcklig hållfasthet och beständighet	87
4.2	Otillräckligt fribord kopplat till yttre erosion	91
4.3	Otillräcklig täthet	93
4.4	Otillräcklig stabilitet	97
5	Undersökningsmetoder	100
5.1	Inledande arbete/bedömning	100
5.2	Okulär kontroll	100
5.3	Inmätning	101
5.4	Undervattensinspektion	101
5.5	Geotekniska undersökningar	102
5.6	Geofysiska mätmetoder	103
6	Övervakningsmetoder	104
6.1	Okulär kontroll	104
6.2	Rörelsemätning (deformationsmätning)	105
6.3	Läckagemätning	106
6.4	Portrycksmätning	106
6.5	Temperaturmätning	107
6.6	Turbiditetsmätning	107
6.7	Tilläggs­mätningar	107
6.8	Geofysiska mätmetoder	107
7	Reparations- och förstärkningsmetoder	108
7.1	Otillräcklig stabilitet	108

7.2	Otillräckligt fribord	109
7.3	Otillräcklig täthet	111
8	Slutsatser	114
9	Rekommendationer	116
10	Referenser	118

1 Inledning

Det finns många fyllningsdammar i Sverige som är uppförda en lång tid tillbaka och inte är uppbyggda enligt moderna principer och riktlinjer. Dammarnas uppbyggnad och grundläggning är ofta okänd och bedömning av dammarnas säkerhet är därför komplicerad att göra. I rapporten behandlas svenska fyllningsdammar med "äldre utförande". Med begreppet "äldre utförande" avses i denna rapport fyllningsdammar som är byggda innan ca 1950-talet. Design och materialval för dessa fyllningsdammar skiljer sig till viss del från vad som normalt används idag. Aktuella svenska riktlinjer för dammsäkerhet beskriver inte dessa dammkonstruktioner och är därför inte heller helt applicerbara.

Denna rapport sammanställer information om uppbyggnadssätt, grundläggning och potentiella felmoder för fyllningsdammar av "äldre utförande". Dessutom ges information och exempel om olika undersöknings-, övervaknings-, reparations- och förstärkningsmetoder för fyllningsdammar av "äldre utförande". Arbetet har baserats på en litteraturgenomgång och underlag från svenska dammägare. I rapporten läggs särskilt fokus på homogena fyllningsdammar och fyllningsdammar med tätning av lera.

1.1 SYFTE

Syftet med detta arbete är att underlätta förvaltningen av fyllningsdammar som uppförts innan moderna anvisningar togs fram. Genom att öka kunskapen och förståelsen för dammarnas uppbyggnad, grundläggning och funktion kan det ge stöd till framtida dammsäkerhetsarbeten samt att ge rekommendationer för fortsatta arbeten inom området.

1.2 METODIK

Rapporten bygger på genomgång av underlag, sammanställning av underlag och diskussioner inom projektgruppen. Underlag har inhämtats genom mejlförfrågan och att ett antal dammägare bidragit med exempel. Dammägarna till de exempel som redovisas i rapporten har givit sitt godkännande.

Underlag har också inhämtats från litteratur och diverse söktjänster med digitaliserat material. Bland det digitaliserade materialet har ingått tidskrifter med beskrivningar av hur specifika dammar konstruerats samt också några generella handlingar och uppslagsverk med beskrivningar av olika dammtyper. Eftersom projektet varit inriktat mot svenska fyllningsdammar har endast en mycket begränsad genomgång gjorts av internationella handlingar.

Avseende fyllningsdammarnas potentiella felmoder har författarna diskuterat utifrån de som avser otillräcklig täthet, otillräcklig stabilitet, otillräcklig beständighet och hållfasthet samt otillräckligt fribord kopplat till yttre erosion. Felorsaker till dessa potentiella felmoder har listats och beskrivits.

Utifrån de identifierade dammkonstruktionerna och potentiella felorsaker har författarna gjort en bedömning av lämpliga tillvägagångssätt för att undersöka fyllningsdammar samt vilka metoder som kan vara lämpliga för övervakning. I rapporten beskrivs också generella reparations- och förstärkningsåtgärder som kan vara lämpliga.

1.3 INNEHÅLL

Rapporten innehåller följande delar:

Nomenklatur. Här definieras viktiga ord och begrepp kopplade till svenska fyllningsdammar av "äldre utförande". Förklaringar av ord är hämtade från ett flertal referenser.

Fyllningsdammar av "äldre utförande". Här ges en allmän beskrivning samt historik för dammar som uppförts i Sverige och för vilket ändamål de tillkommit. Inom kapitlet har en enklare sammanställning av vägledande litteratur för fyllningsdammar gjorts samt en beskrivning hur jordartsindelning och benämning skiljt sig åt över tid. I kapitlet beskrivs identifierade fyllningsdammar avseende uppbyggnad, grundläggning och beståndsdelar. Beskrivningen baseras på insamlat och tillgängligt material.

Potentiella felmoder. Här beskrivs potentiella felmoder och tänkbara felorsaker som bedöms kunna förekomma för kartlagda dammkonstruktioner och grundläggningssätt. För att arbetet inte ska bli för omfattande har projektet begränsats till att omfatta homogena fyllningsdammar och fyllningsdammar uppförda med lertätning.

Undersökningsmetoder. Här beskrivs övergripande hur undersökningar av fyllningsdammar kan användas för att försöka definiera fyllningsdammars uppbyggnadssätt.

Övervakningsmetoder. Här beskrivs övergripande olika övervakningsmetoder som kan vara lämpliga för fyllningsdammar uppförda innan moderna riktlinjer fanns.

Reparations- och förstärkningsmetoder. Här beskrivs övergripande olika reparations- och förstärkningsmetoder som kan vara lämpliga för olika typer av fyllningsdammar av "äldre utförande". Reparations- och förstärkningsmetoderna baseras på det urval som gjordes vid identifiering av potentiella felmoder.

Rapporten avslutas med slutsatser och rekommendationer från projektet.

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 genomföras. Sannolikt finns också mycket underlag hos dammägare som ej blivit tillfrågade alternativt inte har kunnat delge information. Det finns också dammar där underlag från byggnadstiden saknas helt.

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. Inom projektet har störst fokus lagts på att identifiera olika typer av fyllningsdammarna utifrån konstruktion och grundläggning, men också utifrån vilket ändamål som de använts till. Projektet fokuserar på "äldre utförande" av fyllningsdammar, varför avgränsningar har gjorts utifrån det. Efter genomgång av insamlat underlag gjordes en avgränsning för de fyllningsdammskonstruktioner som kan anses vara av "äldre utförande".

Inom projektet har ett urval gjorts utifrån de dammtyper som identifierats i arkivgenomgången. Av de dammtyper som beskrivs har fyllningsdammar med lertätning och homogena fyllningsdammar valts att gå vidare med. Dels då de utgör en stor andel av dammbeståndet, dels för att dessa dammars uppbyggnad skiljer sig markant från de rekommenderade utformningarna, som idag beskrivs i RIDAS. I båda dessa kategorier förekommer bland annat bevattnings-, kanal-, invallnings-, flottnings- och vattenkraftsdammar. Även om ett urval gjorts har de andra dammtyperna som identifierats liknande felorsaker som bör beaktas, liknande sätt att övervakas, undersökas och kommer även de att ha liknande felmoder och felorsaker.

Inom projektet ingår inte gruvdammar, stenmurverksdammar, grunddammar, fångdammar, fyllningsdammar uppbyggda med filter (enligt RIDAS) eller fyllningsdamm med frontplatta av armerad betong. Begränsat fokus har lagts på fyllningsdammar med central betongskärm, fyllningsdammar med träspont, strandtätningar och panurer. För fördjupning om fyllningsdammar med träspont hänvisas till Energiforsk 2023:915 (Påhlstorp, 2023) och för fyllningsdammar med betongskärm Energiforsk 2018:481 (Rosenqvist, 2018).

Rapporten ska inte ses som en komplett sammanställning utan som en första ansats i att sammanställa underlag för fyllningsdammar av "äldre utförande" och dess uppbyggnad, grundläggning och beståndsdelar samt också som ett inledande arbete med att diskutera potentiella felmoder, undersöknings- och övervakningsmetoder samt reparations- och förstärkningsmetoder.

I denna rapport kommer äldre benämningar av jordarter etc. att förekomma i text och figurer. Ingen korrigerings görs i rapporten för att de äldre benämningarna ska stämma överens med den för närvarande aktuella jordartsbenämningen.

Inom projektet har inga fältarbeten eller faktiska försök utförts.

2 Nomenklatur

Vid genomgång av underlag har ett flertal ord och benämningar identifierats som inte är vanligt förekommande i dagens litteratur och riktlinjer. I syfte att förenkla för läsaren har därför denna nomenklatur upprättats. Den är dock inte komplett. I vissa fall inkluderas även författarnas tolkning, vilket då framgår i kursiv text.

Chikan – I (Avén, 1985) nämns att chikan, bestående av stål, användes vid branta betonganslutningar. I (Wåhlin, 1949) beskrivs två jorddammar med chikaner av betong som anlagts mellan berggrund och tät kärna för att minska läckningen mellan damm och grund. Ordet chikan används också vid en konstruktionsritning av en träspont. *Tolkning av ordet chikan inom vattenkraft är att det används för att förhindra/förlänga vattenströmning i anslutningen mellan jord och ett hårt/fast material.*

Faskin - bunt sammanbundna grenar, risknipa (Svenska Akademien, 2022). Hopbuntade trädgrenar och ris som används som underlag vid byggnadsarbete (Svenska Akademien, 2021).

Hårt sammanbunden knippa av grenar/ris som användes till beklädnad av branta jordsluttningar. Användes till exempelvis strandskoningar, grundläggning på sank mark m.m. (Svenska Akademien, 1893-).

Floddamm - Floddammar anläggs utskjutande (emellanåt parallellt) från stranden för att ombilda en flods stränder och bädd (Nordisk familjebok, 1880). Inom floddammar nämns skydds-, drift-, sjö-, strand-, led-, skilje-, gräv- och spoldammar. Strand- och sjödammar anläggs parallellt med stränder för att stänga ute vatten vid flod (dvs dagens invallningsdammar) eller för att stänga inne vatten för att låta ev. bördigt slam avsättas (vilka senare kan tömmas på vatten). Skyddsdammar anges skydda dammen mot utskärning. Driftdammar utförs för att orsaka en urskärning av den motsatta stranden. Gräv- och spoldammar uppförs för att åstadkomma upprensning/fördjupning av flodbotten. Skiljedammar används för att dela ett vattendrag.

Fångdamm - Fångdammar används för att torrlägga arbetsplatser. Fångdammar kallades tidigare ofta för kajdamm och koffertdamm.

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

I (Nordisk familjebok, 1880) anges att hålldammar hade till ändamål att:

- uppdämma vatten antingen för att fördjupa en flod/ström och göra den flottnings- eller seglingsbar eller
- att dämna upp en fallhöjd för industriell verksamhet alternativt
- att möjliggöra avvattning av ängsmarker/sanka trakter eller hindra fientliga anfall.

Hålldammar indelas i överfalls-, underfalls- och grunddammar. Hålldammar är ofta försedda med utskov. Dammtypen anges kunna utföras som rörliga, vilket innebär att de snabbt kan tas bort eller återuppbyggas.

Puddla –älta och stampa (lera). Exempelvis blanda och stampa lera och finsand till en för vatten ogenomtränglig massa med vilken en byggnadskonstruktion under vattentryck kan tätas (Svenska Akademien, 1893-).

Puddel – *avser bearbetad jord, vanligtvis lera eller lera uppblandat med annat jordmaterial. Exempelvis förekommer puddellera.*

Risvas – riskärve (Svenska Akademien, 1893-). *Användes som erosionsskydd i vissa dammsammanhang.*

Älta – kraftigt bearbeta jordmaterial genom omrörning eller knådning för att få till en lämplig konsistens (Svenska Akademien, 2021).

Pinnmo – hårt packad bottenmorän (Svenska Akademien, 2022).

Pinnmo 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).

Glacis – Släntbeklädnad av rå tuktad sten (el. betong) (Svenska Akademien, 1893-). Av (Wåhlin, 1949) framgår att strandskoningar kunde göras med glacis bestående av huggna stenar eller betongblock som bakfylldes med stenskärv eller makadam och grus.

Rismatta – Strandbeklädnad kan utföras av faskiner och rismattor (Svenska Akademien, 1893-).

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

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. eroderar jorden under något (Svenska Akademien, 1893-). *Underskärning innebär erosion eller inre erosion i grunden. Skärning kan vara inre erosion i dammkroppen.*

Örjord – en sand- eller mojord blandad med små klappersten som vanligtvis användes till dammar eller vägar (Rinman S., 1789).

3 Fyllningsdammar av "äldre utförande"

I detta avsnitt ges beskrivningar av fyllningsdammars uppbyggnad, grundläggning samt beståndsdelar. Beskrivningarna baseras på genomgång av litteratur samt exempel på fyllningsdammar som erhållits av dammägare.

3.1 ALLMÄNT OM DAMMAR

I Sverige finns dokumentering av dammbyggnationer från medeltiden, vilket finns omtalat i skrift från 1200 – 1300-talet. Lärandet om dammbyggnadskonsten hämtades från kontinenten och klostren. Användningen i Sverige anges ha varit till mjölkvarnar, sågkvarnar, ben- och textilstampar, linoljeslagerier, gruvor, hyttor, smältsmedjor, valsverk och vattenkraftverk (Dicksson & Spade, 2016).

Dammar har använts för att reglera vattenstånd och/eller vattenföring för bland annat vattenkraft, flottning och skeppsfart. Dammar har också byggts för att magasinera vatten, och då använts till bland annat vattenkraft, flottning, bevattning, fiskodling. Invallningsdammar har byggts för att förhindra vatten från att översvämma lågt belägna områden (Wählin, 1949).

Av (Svenska kraftnät, 2019) framgår en indelning av dammar vilken ofta sker efter syfte eller verksamhet. Följande kursiverad text är hämtad från rapporten:

***Vattenkraftdamm** – damm som hjälper till att tillvarata vattnets lägesenergi och/eller magasinera vatten för elproduktion.*

***Gruvdamm** – damm som skapar utrymme för lagring av restprodukter, till exempel anrikningssand, från gruvverksamhet.*

***Kvarndamm** – damm som tillvaratar vattnets lägesenergi för direkt drift av kvarn.*

***Flottningsdamm** – damm som magasinera vatten för att under viss tid skapa vattenföring som kan användas för flottning av trästockar.*

***Vattenförsörjningsdamm** – damm som magasinera vatten för att säkra långvarig tillgång på vatten för hushåll eller industriändamål.*

***Invallningsdamm** – damm som syftar till att hindra vatten från att breda ut sig över ett markområde. Om dammen är temporär och området är en arbetsplats för ett byggnadsverk kallas den fångdamm.*

***Kanaldamm** – långsträckt damm (kanalbank) som möjliggör sjöfart på kanaler där marknivån är lägre än vattenytan. Begreppet används också för damm vid kanal som leder vatten för något ändamål, till exempel intagskanalen vid ett kraftverk.*

***Spegeldamm** – damm som syftar till att skapa en vattenspegel. En grunddamm är en variant där dammens krön överströmmas (dvs. krönet ligger under vattenytan).*

Ytterligare indelning av dammar kan göras för att mer tydligt beskriva den nytta eller funktion som är förenad med dammen. Vattenkraftdammar indelas således i till exempel:

***Kraftverksdamm** – syftar till att genom uppdämning koncentrera fallhöjden i ett vattendrag.*

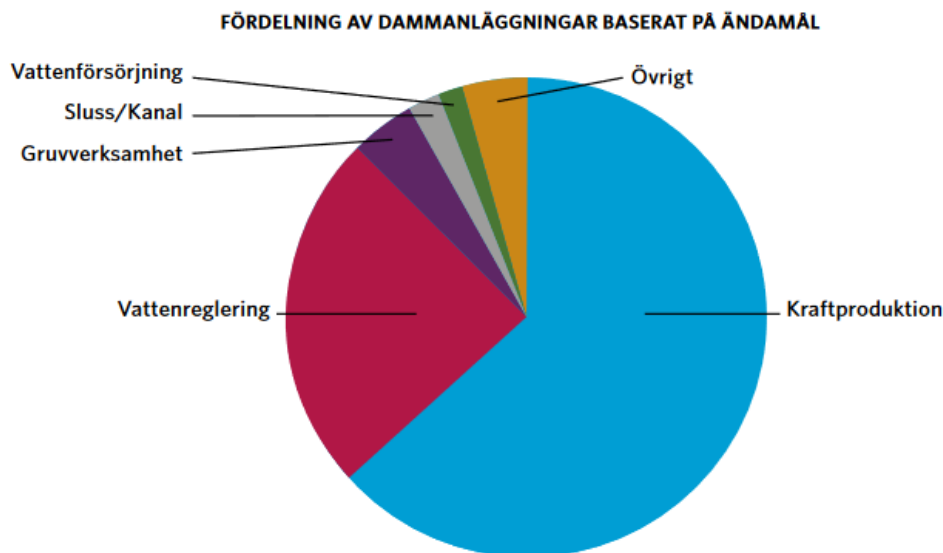
***Regleringsdamm** – syftar till att skapa ett vattenmagasin och därigenom kunna reglera vattenföringen genom att kunna styra vattentappningen över tid.*

Spärrdamn – en sekundärdamn som förhindrar att uppdämt vatten strömmar ut via lågpunkter längs det uppdämda områdets stränder.

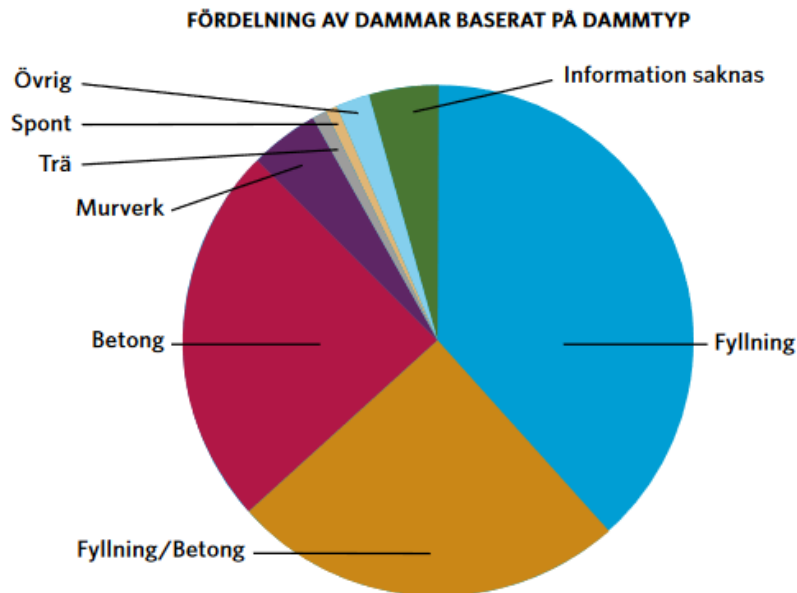
En **dammanläggning** kan utgöras av en eller flera dammar som tillsammans dämmer upp ett magasin och/eller skyddar lägre liggande områden från översvämning. Begreppet innefattar även dammar som reglerar vattenytor i anslutning till magasinet. Om anläggningen består av flera dammar är de åtskilda från varandra av naturliga terrängformationer. Dammarna kan i dessa fall fylla olika funktioner. Även teknisk utrustning som hör till en damm ingår i dammanläggningen.

Det bör påtalas att benämningen av dammar har varierat genom åren. Vid en kontroll av ordet "Damm" i Svenska akademins ordbok (Svenska Akademien, 1893-) framgår ett antal olika benämningar varav alla inte är aktuella i dag: exempelvis bruks-, drif-, flod-, fång-, grund-, gräf-, hafs-, hammar-, hamn-, håll-, jord-, kaj-, kist-, koffert-, kvarn-, led-, luck-, lös-, nål-, parallell-, reglerings-, reservoar-, rull-, sjö-, skilje-, skydds-, sluss-, spol-, spärr-, sten-, strand-, styr-, stört-, såg-, tvär-, underfalls-, var-, vattenverks- och överfallsdamn m.fl. Benämningarna tycks även förr i tiden utgå från utformning eller användningsområde. I äldre litteratur stavas emellanåt damm som dam.

Det bedöms att ca 10 000 dammar finns i Sverige idag (Svenska kraftnät, 2021). Konsekvensutredningar har utförts för drygt 1000 svenska dammanläggningar (Svenska kraftnät, 2019). Ca 90 % av dessa används för vattenkraftproduktion och vattenreglering (Figur 3.2). Fyllningsdammar utgör ca 40 % av detta dammbestånd. Fyllningsdammar som inkluderar betongkonstruktion utgör ca 25 % (Figur 3.2).



Figur 3.1 Fördelning av dammanläggningar baserat på ändamål (Svenska kraftnät, 2019).



Figur 3.2 Fördelning av dammar baserat på dammtyp (Svenska kraftnät, 2019).

Utöver detta finns också många lägre fyllningsdammar som ej behöver konsekvensutredas. Flertalet av dessa dammar bedöms falla in under detta projekts beskrivning/omfattning.

3.2 FYLLNINGSDAMMAR MED OLIKA ÄNDAMÅL

I detta avsnitt beskrivs dammar som uppförts med olika syften. Konstruktionsmässigt kan dessa skilja sig åt. I avsnitt 3.5 beskrivs fyllningsdammarna utifrån uppbyggnadssätt.

3.2.1 Vattenkraftsdamm

För att nyttja vattenkraft har dammar ofta används för att lagra och reglera vattentillförseln. I (Lübeck, 1924) nämns att vattenkraftsutnyttjandet har pågått sedan medeltiden, men att det endast i sällsynta fall finns lämningar kvar. De första vattenkraftverken bedömdes vara för kvarnverksamhet (skvaltor) och sågverk (sågkvarnar). I handlingen nämns mindre vattendrivna kvarnverk, hushållssågar och benstampar. Under 1400- och 1500-talen grundlades den svenska järnindustrin där hyttor och stångjärnshammare lokaliserades nära vattenfall och god tillgång på träkol. Industriutvecklingen ledde till att vattenkraft började användas för väverier, spinnerier, valsverk, mekaniska verkstäder och motsvarande industrier. Ett utvecklingssteg togs under 1870-talet då träsliperier för tillverkning av pappersmassa (trämassa) började användas. Vid denna tidsepok började vattenturbiner användas och då även för större fallhöjd och högre flöden (kraftmängd). När växelströmsgeneratorerna uppfanns i början av 1890-talet behövde inte längre vattenkraftverken placeras i "vattenfallens omedelbara

närhet". Vattenkraftsutbyggnaden från början av 1890-talet till 1907 kännetecknas av ett stort antal medelstora och mindre anläggningar för särskilda industrier och för distribution av elektricitet. 1906–1908 nämns som speciella år då utbyggnaden av ett flertal kraftverksutbyggnaden påbörjades i Trollhättan, Lagan, Gullspångsälven, Mörrumsån och Helgeå med flera. Vid denna tidpunkt började vattenkraftverken få större betydelse än bränslekraftverken.

3.2.2 Kanaldamm

Möjligheten att transportera gods och människor vattenvägen, utgjorde det bästa och mest använda förfarandet i äldre tider (Handboken BYGG, 1949).

Uppgifter gör gällande att i mellersta Sverige har upprensnings- och kanalarbeten utförts i omgångar sedan slutet på 1500-talet. Kanalbyggandets guldålder var under 1700-talet samt 1800-talets första hälft, med avstannande under järnvägsbyggnadsepoken. Dock utgjorde kanaltransporter en billig metod för att transportera stora volymer och förflytta gods. Detta ledde till ombyggnation av exempelvis Trollhättekanalen i början av 1900-talet. Ytterligare konkurrens inom transportsektorn kom från den snabbt växande bil- och lastbilstrafiken. Andra världskriget tydliggjorde dock behovet av säkra och helt inom svenskt territorium liggande farleder. (Handboken BYGG, 1949)

Syftet med att anlägga kanaler var ofta att kunna framföra båtar med gods och/eller människor, utföra flottning alternativt leda vatten till önskvärd geografisk punkt, med visst djup och bredd på kanalen. De grävda kanalernas nedströms förlagda vallar, byggdes i många fall av från kanalens framschaktade jordmaterial samt erforderlig förstärkning och/eller erosionsskydd på dess slänter. (Handboken BYGG, 1949)

Kanalvallarna utformades ursprungligen ofta av i tvärsektion relativt homogena dammar, med material som schaktats upp från kanalen, alternativt närområdet. Det innebär att längs dammens sträckning, kan dammarna utgöras av relativt inhomogena dammkroppar beroende på sammansättningen av omkringliggande jordmaterial. (Handboken BYGG, 1949)

I en skrift från slutet på 1800-talet beskrivs utförandet och fördelarna av grävning av kanaler, i syftet att underlätta flottning, då mer regelbundna former för framförandet av dessa fås (T.H., 1898). Det noteras även att grävning relativt enkelt kan utföras i jord- och stenmaterial såsom myrmark, grus- och sandåsar samt erforderlig släntförstärkning.

3.2.3 Invallningsdamm

Invallningsdammar förekommer i olika sammanhang för att torrlägga platser eller för att stänga ute vatten från områden. Av (Wählin, 1949) framgår en beskrivning av en invallning som anlagts för att torrlägga ett område för åkermark. En invallning består normalt av vallar, samlingskanaler och pumpstation.

Invallningsdammar uppförs även som ett översvämningsskydd. Exempelvis pågår ett sådant projekt i Kristianstads kommun för att stänga ute vatten från staden (Kristianstads kommun, 2022). Staden är lågt belägen och närliggande

vattendraget Helgå, pågående havshöjning samt kraftiga skyfall innebär ett hot mot översvämning av staden.

Invallningsdammar förekommer också vid vattenkraftsanläggningar som uppförs längs med lågpartier inom magasinsområdet. Invallningsdammen är då inte integrerad i huvuddammen men tillhör anläggningen och utgör en del av den dämmande konstruktionen antingen permanent eller i samband med överdämningssituationer.

Enligt (Nordisk familjebok, 1951) utförs skyddsdammar (d.v.s. invallningsdamm) för att skydda lågt liggande terräng. Skyddsdammar anges vara utförd av jord och sten med en kärna av betong eller med dubbla spontväggar där mudderslam pumpas in (s.k. hydraulisk fyllning).

Av ordboken (Nordisk familjebok, 1906) framgår ordet invallning. Invallning användes för att skydda lågt liggande marker mot översvämning (från hav, vattendrag och sjöar). Invallning har resulterat i att stora områden av bördig mark har erhållits. Det var vanligt att läckaget genom vallarna behövde pumpas bort.

3.2.4 Flottningsdamm

Flottning var ett sätt att transportera timmer i strömmande vattendrag. Flottning påbörjades i större skala under ca 1300–1400-talet i samband med att gruvdriften utökades. I mitten av 1700-talet blev flottningen mer omfattande då även sågverk var i behov av virke. Under början av 1800-talet arbetades nya flottningsleder fram (Wikipedia, 2022). För att göra vattendragen flottningsbara uppfördes då flottningsbyggnader eller strömbyggnader, där bland annat fyllningsdammar ingick.

I (T.H., 1898) beskrivs att byggnadssättet för vattenbyggnadskonstruktioner (strömbyggnader) varierar mycket utifrån lokalisering. I artikeln beskrivs de vanligaste och mest praktiska vattenbyggnaderna i mindre vattendrag. I artikelns avslutande delar skrivs att *"Innan vi avsluta denna anspråkslösa uppsats i ett ämne, som kanske allt för litet behandlats i skrift..."* vilket indikerar att det finns i begränsad dokumentation om dammbyggnationer till flottning vid artikelns publikation 1898. Efterföljande stycken har skrivits utifrån innehåll i artikeln.

Dammbyggnader (eller spardammar) används för att reglera och magasinera vårfloden (T.H., 1898). Byggnaderna uppfördes både i flottleden samt i mindre vattendrag som små bäckar. Det hände också att man tog vatten från helt andra vattenområden vilket i sådant fall byggdes genom en jordvall (hejddamm) vid en sjös naturliga utlopp vilket innebar att sjöns vattenyta kunde stiga. Vatten togs sedan exempelvis genom en kanalgrävning över lågt liggande terräng till flottleden, vilket kunde regleras med en mindre dammbyggnad i sjöns nya utlopp. Dammarna byggdes vid utloppet av en sjö eller vid nedre änden av en större myr, äng eller liknande. Var stränderna för låga på något ställe uppfördes vanligtvis ett *"timrat kar"* förstärkt med en uppströmsliggande jordvall. Det påtalas i artikeln att det var viktigt att få till grundläggningen samt goda landfästen. Dammarna anges ofta byggas av dels trä, dels till större delen jord och ris så kallade jorrdammar och slutligen dels av sten i de fall man ville ha en *"säker och i alla tider bestående dam"*. Stendammar (stenmurverksdammar) var dyrare att konstruera men på grund

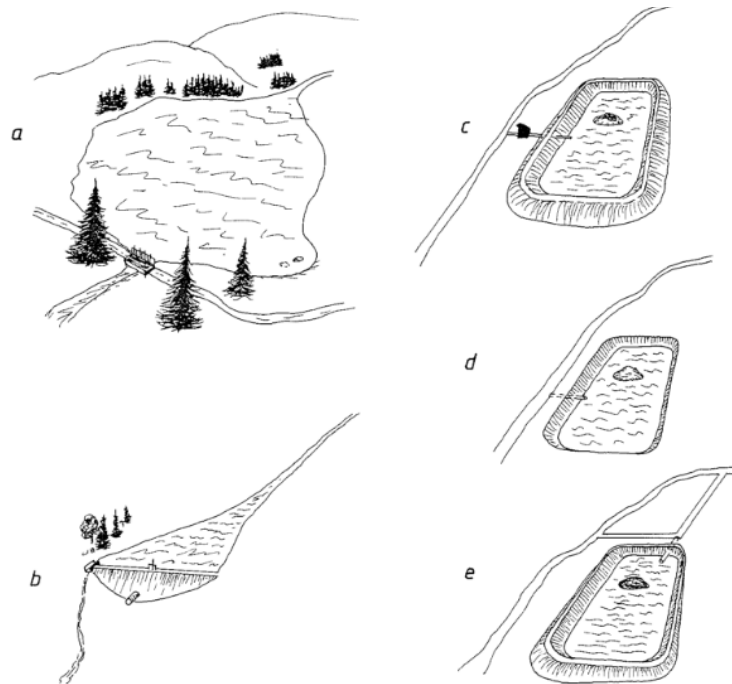
av beständigheten att föredra framför trädammar. Artikeln tar också upp rännbyggnader (användes exempelvis i branta bäckar med liten vattentillgång och i svåra forsar med stor lutning), fångdammar, bottenledningar, smärre kanalgrävningar, stenrensning och sprängning, flottsning och flyttuvor (som utgjorde ett stort problem). I artikeln beskrivs också att mindre dämmen utfördes av pålar, ris och jord med ett utskov med planlucka i mitten.

I boken (Näslund, 1915) finns dokumenterat olika flottsbyggnader. I boken anges att spardammar eller regleringsdammar uppfördes i flotleder där vattentillgången har kontinuerlig avrinning. Dammarna hade också som uppgift att höja vattenytan och göra flotlederna flottsbara. Sel och myrar användes som vattenmagasin. Flottsdammarna utfördes antingen som "grusbänkar" med eller utan tätning, av stenfyllda tråkistor, av stenar i kall- eller varmmurning (cement/betong). Vilken typ av dammkonstruktion som valdes berodde på kravställningen på dammen, dammens läge och grundförhållanden samt tillgången på material, vilket påverkar både teknisk och ekonomiskt.

3.2.5 Vattenförsörjningsdamm

Bevattningsdammar utfördes med syftet att även i torrperioder ha tillgång till rikligt med vatten för de grödor som odlades (Handboken BYGG, 1949). Rekommendationen var att anlägga dammen i närheten av sjöar, åar och större diken, men även grundvattenbrunnar nyttjades.

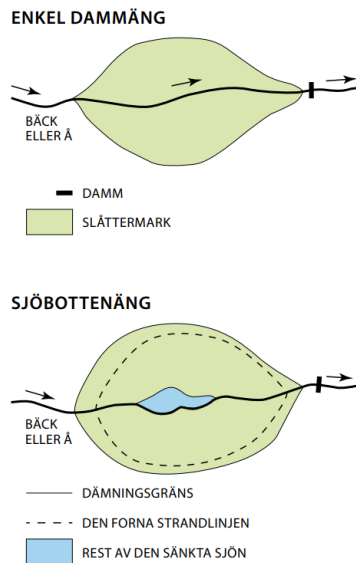
I handlingen *Vattenmagasin för bevattning* (Persson, 1984) nämns i förordet att Sverige har goda vattentillgångar men att den då ökande bevattningen skapat "oro och konflikter" på grund av vattenåtgången. Arbetet utfördes med bakgrund att beskriva magasinering av vatten. Vidare beskrivs olika typer av vattenmagasin (Figur 3.3). De som nämns är sjöreglering (a), damm i vattendrag (b), friliggande bassäng med pumpning (c), lågt placerad bassäng som fylls genom självfall i samband med högvatten (d) samt lågt belägna friliggande bassänger som fylls genom självfall från högre belägna vattenkällor (e).



Figur 3.3 Olika typer av vattenmagasin för bevattning (Persson, 1984).

Olika metoder för magasinering av vatten tillämpades, beroende på markens lutning och tillgången till lämpliga vattenmassor som skulle användas för bevattning (Handboken BYGG, 1949). Dämning var en metod, där vattnet i utloppet från exempelvis ett dike dämades upp 6–8 dm under markytan så att grödornas rötter kunde få vattnet till godo. Överdämning var en annan variant på denna metod. Då byggdes en damm i utloppet som lät vattnet dämmas ca 1 m över markytan under hösten/vintern. När vinterns snö och is sedan smält, kunde vattnet släppas fram och komma växterna till godo. Fördelen med denna metod var att marken skyddades från tjäle och växtlighetens tillväxt startade fort då vattnet tog med sig gödning till ängarna.

Dammängar var slättermarker med kanalsystem vilka dämades nedströmsåt i slutet av året för att öka näringsinnehållet i marken vilket gav bättre höskörd. Silängar kallades slättermarker som konstbevattades genom att leda vatten från ett högre liggande vattendrag ut över flackare ängsmarker. Dammäng och siläng är en form av konstbevattning där dammar/vallar användes för att dämna vattnet över ängsmarken. Gissningsvis utfördes dessa som låga dammar och var i många fall utförda som enklare trä- och/eller jordkonstruktioner. Sjöbottenäng utgjordes av en indämd avsänkt sjö i vars utlopp en dämning förlades för reglering av vattnet, se Figur 3.4 (Svensson & Moreau, 2012).



Figur 3.4 Enkel dammäng och sjöbottenäng för bevattning (Svensson & Moreau, 2012).

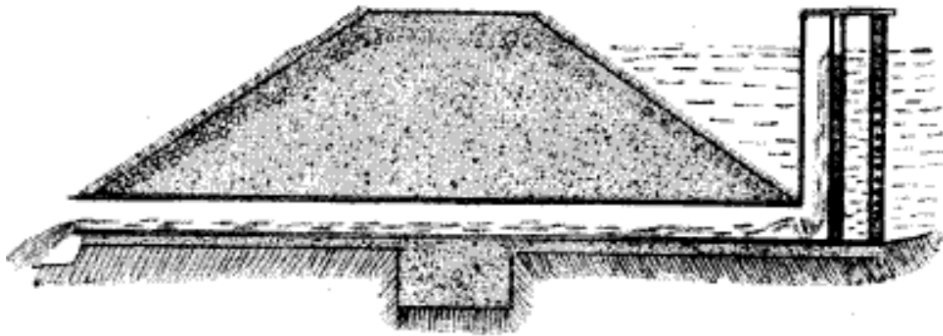
3.2.6 Fiskdamm

I lantmannens uppslagsbok från 1923 rekommenderades att inför byggnation av dämmande konstruktion med syftet att anlägga fiskdamm, skulle grundlig magasinbottenundersökning utföras för att säkerställa tätheten (Juhlin-Dannfeldt, 1923). Det ansågs vara av stor vikt då fiskdammar inte alltid anlades invid en bäckfåra med närhet för tillförsel av vatten. De utfördes då som nederbördsdammar där dagvatten utgjorde enda källan för uppdamning. Därav utgjorde botten tätheten en väsentlig del av konstruktionen för att säkerställa vattennivån i magasinet. Vidare beskrevs en alltför permeabel botten som negativ även för fiskbeståndet då påförd gödning dräneras ut. Jordmånen var även av stor vikt för lokaliseringen av fiskdammen då dess näringsinnehåll påverkar fiskbeståndets produktivitet. Det vanligaste konstruktionsmaterialet var väl förmultnad svart dyjord, dock krävdes gruslager på slänter och krön för stabilitetens skull, därav var närheten till grustäkt viktig. Det ansågs att morän utgör ett bättre byggmaterial p.g.a. de tätande egenskaperna, dock föredrogs god och fast lera. Dikning av området rekommenderades utföras innan uppförandet av dammarna för att vidare kontrollera botten täthet och vid behov fylla exempelvis djupare vattenfyllda håligheter med jord.

Dammens geometri rekommenderades utföras med släntlutning beroende på byggmaterial, med flackare slänter för dyjord (1:1,5), med fast lera tilläts slänten vara brantare (1:1,25). För större dammvallar förordades en krönbredd på minst 1,5 m. Grundläggningsutformningen baserades på markens egenskaper, dock skulle gräsvålen avlägsnas längs hela dammens bredd och sträckning. Ett centrumliggande dike 0,5 – 1 m brett under dammens blivande krön rekommenderades för schakt till bedömt fast material med avlägsnande av rötter och stenar, med minsta djupet 0,5 m. Byggnationen skulle sedan utföras genom utläggning av jord som tillstampades, föredragsvis i pallar. Med dyjord som huvudsakligt material byggdes dammen till sluthöjden och därefter påfördes ett gruslager om ca 25–30 cm.

Fiskdammens avbördningssystem kunde utgöras av en munk, placerad inuti magasinet. Det kunde bestå av en träkonstruktion med en horisontell rördel som ledde

vattnet tvärs genom dammsektionen, samt en vertikal del i magasinet som gjordes något högre än högsta vattenståndet som beräknas förekomma i magasinet. Munken grundlades så pass lågt att tömning av magasinet möjliggjordes. Tätning i botten samt runt rördelarna utfördes med lera eller dytorv som benämndes som ren och rotfri vilken packades hårt. Ett nödutskov förlades i dammar där stora vattenflöden väntades, även denna ofta i form av en trätunna, men försågs även med lutande galler av järnstavar för filtrering. För tillförsel av vatten kunde motsvarande konstruktion byggas för att leda in vatten från närliggande bäck, tilloppsmunk, även denna kunde förses med galler för att filtrera vattnet samt förhindra vildfisk från inträngning. Damarna både tömdes och återfylldes säsongvis i syftet att inventera fiskbeståndet vilket i äldre litteratur benämns som dammhushållning alternativt dammkultur. Av Figur 3.5 framgår ett exempel av en fiskdam utförd med ett utskov, s.k. "munk". Under den tid som dammen hölls avsänkt utfördes vid vissa anläggningar odling i det bördiga bottenslam som frilagts.



Figur 3.5 Tvärgenomskärning av en dammvall med munk, byggmaterial av dyjord med grusbelastning (Juhlin-Dannfeldt, 1923).

3.2.7 Övriga ändamål där fyllningsdammar förekommer

I detta avsnitt listas dammtyper som förekommer eller har förekommit i Sverige där fyllningsdammar kan vara (eller har varit) representerade i den dämmande funktionen. Utöver dessa används dammar t.ex. också för att lagra processvatten till industrier, för dricksvatten och på senare tid för snöproduktion.

Över tid kan dammens ändamål ha skiftats till ett nytt. Användningsområdena har i flera fall ändrats under åren, exempelvis används vissa dammar idag för rekreation och saknar övrig användning. Andra exempel är flottsdammar som idag används för magasinsreglering samt fiskdammar som uppförts för fiskodling men senare används för industriellt ändamål.

Skogsbruk

Inom skogsbruket utförs dikning av markområden och dämmande anläggningar anläggs ibland, dels för att kontrollera flödes hastigheter, dels för att minska risken för erosion och att sediment förs vidare i dikessystemet (Ring, 2018). Uppströms dämningen kunde ibland sedimentationsdammar anläggas för att minska på den mängd sediment som förs vidare längs diket. Dämningen utgjordes ofta av en vall byggd av jord eller sten samt ett rör för basflöden som förlades på en nivå som ger önskvärd vattenhastighet under normala flöden. För att kunna hantera höglödessituationer förlades även ett rör på en högre nivå (än röret för basflöden)

för att leda ytterligare vattnet genom vallen. Alternativt användes en kombination av basflödesrör och öppna diken, ovanför eller vid sidan av röret. Rören bestod av tegelrör eller betongrör (Handboken BYGG, 1949).

Branddamm och krigsbranddamm

Branddammar och krigsbranddammar är konstgjorda vattensamlingar med ändamålet att ha släckvatten till ev. bränder. Dessa var vanligare förr i tiden innan räddningstjänst fick bättre fordon. Vattensamlingarna kan utföras på olika sätt och är i de flesta fall grävda i befintlig mark. Författarna känner till en branddamm som anlagts i ett vattendrag intill en industrianläggning. Branddammen är utförd som fyllningsdammar med ett mellanliggande utskov av betong.

3.3 SVENSKA Fyllningsdammar – VÄGLEDANDE LITTERATUR

Inom detta arbete har handlingar som beskriver fyllningsdammar identifierats. Här ingår bl.a. anvisningar, vägledning, handböcker, standarder m.m. som framkommit under arkivgenomgången. Vägledande litteratur för fyllningsdammskonstruktioner har inom projektet inte kunnat identifierats tidigare än 1949 då *Handboken BYGG Band IV Väg och vattenbyggnad* gavs ut. Handboken är till viss del bakåtsyftande vilket ger en viss vägledning om hur man resonerat kring fyllningsdammskonstruktioner. Mycket av underlaget till denna rapport har inhämtats från exempel på fyllningsdammar erhållna av dammägare samt tekniska tidskrifter som beskriver olika typer av dammkonstruktioner från sent 1800-tal till tidigt 1900-tal. I dessa tidskrifter framgår också att omvärldsbvakningen var god. Internationella projekt och litteratur på bland annat tyska och engelska har lyfts fram i tidskrifter. Det kan hända att det funnits internationell litteratur som man använt sig av vid svensk dammbyggnation, men den/dessa har ej kunnat fastställas. Recensioner av internationell dammbyggnadslitteratur förekommer i tidskrifter. Möjligen lämnades ett större ansvar för konstruktören alternativt byggherren som då kan ha haft stort inflytande i hur dammen byggdes upp och grundlades. Av äldre lexikon har viss information kunnat erhållas om hur dammbyggnation utfördes vid en viss tidpunkt. För att bestämma dammens ungefärliga ålder kan möjligen historiska kartor och äldre skrifter användas.

Identifierade anvisningar, handböcker, riktlinjer etc. som framkommit under arbetet listas nedan i fallande kronologisk ordning.

RIDAS - 1997-2022

Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet (RIDAS). Första utgåvan utgavs 1997. Senaste utgåvan av huvuddokumentet utkom 2022. RIDAS innehåller bland annat en tillämpningsvägledning för fyllningsdammar samt också en för grundläggning. Senaste utgåvorna av tillämpningsvägledningarna för fyllningsdammar respektive grundläggning utkom i augusti 2020.

Klimatförändringarna och invallningen – 2009

En serie av informationsmaterial för hur tekniska system kan anpassas till klimatförändringarna, denna serie gällande invallningen (Jordbruksverket, 2009).

Jord- och stenfyllningsdammar - 1988

En handbok för jord- och stenfyllningsdammar togs fram 1988 (Statens vattenfallsverk, 1988). Utgåvan anges ersätta "*Anvisningar för utförande och kontroll av jorrdammar*" från 1958. Handboken togs fram för Statens vattenfallsverk, men förväntades också användas av privata aktörer.

Anvisningar för utförande och kontroll av jorrdammar (1954 och 1958)

Anvisningarna utgavs som en första version 1954. Inom projektet har denna version ej kunnat identifieras. Av (Statens offentliga utredningar, 1987) framgår att inga officiella fastställda bestämmelser finns för jord- och stenfyllningsdammar (då utredningen utfördes). Handlingen (Statens vattenfallsverk, 1958) anges ha varit normgivande vid uppförande av de flesta större fyllningsdammarna sedan 1950-talet. En ny utgåva angavs bli färdig våren 1988 (och avser då handboken (Statens vattenfallsverk, 1988).

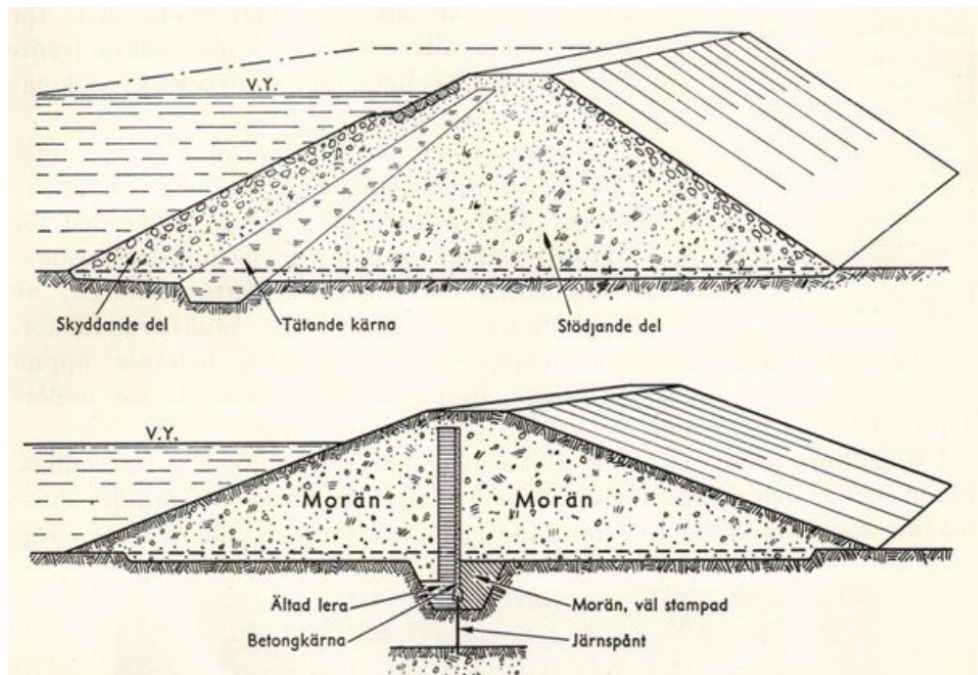
Handboken bygg IV Väg och vattenbyggnader (1949–1985)

Handboken BYGG IV Väg och vattenbyggnad gavs ut 1949, 1953, 1966 och 1985.

I utgåvan från 1949 (Wählin, 1949) finns ett kapitelavsnitt som beskriver jorrdammar och stenfyllningsdammar i god detaljeringsgrad. Handlingen tar också upp invallningsdammar, bevattningsdammar och kanaldammar. Referensen används inom flera delar av denna rapport. Inom detta projekt är detta den tidigast utgivna handlingen som bedöms kunna vara normgivande för den aktuella tidsperioden.

Handboken för driftpersonal vid statens kraftverk 1942–43

Jorrdammar beskrivs kortfattat i (Kungl. Vattenfallsstyrelsen, 1942-1943). Jorddammar anges utföras med en tätande kärna av lera som placeras antingen nära vattensidan eller centralt i dammkroppen. Längs med uppströmssidan utförs ett erosionsskydd av grus eller liknande. Bakom kärnan utförs fyllningen av ett mer genomsläppligt material, t.ex. sand, grus och eventuellt sten. Det anges att det finare materialet ska placeras närmast tätkärnan och det grövre materialet längre nedströmsåt. Det framgår också att kärnan kan utgöras av en betongvägg alternativt spontvägg av järn eller trä. Uppströms om dessa läggs tätande lera. I de fall järn eller trä användes avsåg man att genom utläggning av lera bakom kärnan kunna förhindra röta eller rostbildning.



Figur 3.6 Exempel av jorddammar från (Kungl. Vattenfallsstyrelsen, 1942-1943).

Lantmannens uppslagsbok - 1923

Uppslagsbok i alfabetisk ordning som ger information om och hantering av diverse aktuella ämnen för lantbrukare. Den anges vara framtagen av talrika fackmän samt redigerad av professor H. Juhlin Dannfelt. Här beskrivs bland annat bevattningsdammar och fiskdammar.

3.4 JORDARTSINDELNING

Vid genomgång av äldre svensk litteratur, ritningar, utredningar m.m. förekommer olika sorters benämningar av mineraljordarter. Över tid kan det leda till begreppsförvirring då de äldre benämningarna inte alltid stämmer överens med de som används idag. Av Tabell 3.1 framgår olika jordartsindelningar som hämtats från ett arbete utfört av SGF 1984 (Karlsson & Hansbo, 1984). Aktuell jordartsindelning för mineraljordar vid denna rapportens framtagande framgår av Tabell 3.2. Jordartsbenämningar görs, och har också tidigare gjorts, efter bildningssätt. Av Tabell 3.3 framgår ett exempel från 1984.

Vidare förekommer också indelningar av organiska jordarter så som torv, gyttja och dy samt även mossor vilka använts inom dammkonstruktion. Organiska jordarter förekommer i befintliga fyllningsdammar, även om aktuella riktlinjer (RIDAS) inte innefattar sådana jordarter.

Inom vissa branscher kan äldre benämningar fortfarande finnas kvar. Det ska också nämnas att jordartsindelningar i andra länder inte överensstämmer med de svenska (både i nu- och dåtid).

Tabell 3.1 Jämförelser mellan fraktionsindelning enligt olika system. Hämtad från (Karlsson & Hansbo, 1984).

Kornstorlek d mm	0,002	0,007	0,02	0,07	0,2	0,7	2	7	20	70	200	700	2000	
ATTERBERG, 1903														
Ler	Lättler		Mo		Sand		Grus		Sten		Block			
	Mjuna	Vesa	Mjäla	Fimma	Vanlig sand	Grand-sand	Gryske-grus	Ör-grus	Klapper-sten	Rull-sten	Block-sten	Flytt-block	Klipp-block	
	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200	600	2000	
ATTERBERG, 1905														
Ler	Lättler		Mo		Sand		Grus		Klapper		Block			
	Mjuna	Vesa	Mjäla eller fimmo	Fimma eller grofmo	Dyne	Grand- eller grofsand	Gryske- eller fingrus	Mal eller grofgrus	Singel eller småklapper	Grof-klapper	Block-sten	Sten-block	Klipp-block	
ATTERBERG, 1912														
Slam eller ler	Mjuna		Mo		Sand									
	Finare mjuna	Grofre mjuna	Mjöl-sand	Fin-sand	Vanlig sand	Grus-artad sand								
EKSTRÖM, 1927														
Ler	Mjäla		Mo		Sand		Grus		Sten		Block			
	Fin-mjäla	Grov-mjäla	Finmo	Grovmo	Mellan-sand	Grov-sand	Fint grus	Grov-grus	Mindre sten	Större sten				
JORDARTSKOMMITTÉN, 1953														
Ler	Mjäla		Mo		Sand		Grus		Sten		Block			
	Fin-mjäla	Grov-mjäla	Finmo	Grovmo	Mellan-sand	Grov-sand	Fin-grus	Grov-grus						
ISSMFE, Sub-Committee "Symbols, units definitions", Tokyo, 1977														
Ler	Silt			Sand			Grus		Sten		Block			
	Fin-silt	Mellan-silt	Grov-silt	Fin-sand	Mellan-sand	Grov-sand	Fin-grus	Mellan-grus	Grov-grus					
WENTWORTHS SKALA, 1922														
Ler	Silt			Sand					Grus		Sten		Block	
				Mkt fin sand	Fin sand	Mellan sand	Grov sand	Mkt grov sand						
	1/256			1/16 1/8 1/4 1/2 1 2							64 256			
SGFs LABORATORIEKOMMITTÉ, 1981*														
	0,0006	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200	600	2000
Ler	Silt			Sand			Grus		Sten		Block			
Fin-ler	Fin-silt	Mellan-silt	Grov-silt	Fin-sand	Mellan-sand	Grov-sand	Fin-grus	Mellan-grus	Grov-grus	Mellan-sten	Grov-sten	Grov-block		

Tabell 3.2 Indelning av mineraljord i kornfraktion (Larsson, 2008). Internationell standard som är aktuell för Sverige idag.

Huvudfraktion	Underfraktioner	Beteckning	Fraktionsgränser mm
Mycket grov jord	Stora block	LBo	> 630
	Block	Bo	> 200 till 630
	Sten	Co	> 63 till 200
Grovjord	Grus	Gr	> 2 till 63
	Grovgrus	CGr	> 20 till 63
	Mellangrus	MGr	> 6,3 till 20
	Fingrus	FGr	> 2 till 6,3
	Sand	Sa	> 0,063 till 2,0
	Grovsand	CSa	> 0,63 till 2,0
	Mellansand	MSa	> 0,2 till 0,63
	Finsand	FSa	> 0,063 till 0,2
Finjord	Silt	Si	> 0,002 till 0,063
	Grovsilt	CSi	> 0,02 till 0,063
	Mellansilt	MSi	> 0,0063 till 0,02
	Finsilt	FSi	> 0,002 till 0,0063
	Ler	Cl	≤ 0,002

Tabell 3.3 Indelning av jordarter efter bildningssätt (Karlsson & Hansbo, 1984).

Bildningssätt	Exempel på jordartsbenämningar
<i>Prekvartära bildningar</i>	
Vitringsjordar	Preglacialt vittringsgrus
Sedimentära jordar	Rät-liaslera
<i>Kvartära bildningar</i>	
<i>Glaciala</i>	
Moräner	Grusig sandmorän
Isälvs sediment	Isälvsgrus
Finkorniga havs- och sjösediment	Varvig lera
<i>Postglaciala</i>	
Vitringsjordar	Postglacialt vittringsgrus
Älvsediment	
Älvbottensediment	Älvgrus
Svåmsediment	Svåmsand
Deltasediment	Deltasand
Svallsediment	Svallsand
Finkorniga havs- och sjösediment	Postglacial lera
Vindsediment	Flygsand
Torvjordar	Kärrtorv
Organiska sediment	Gyttja
Kemiska sediment	Bleke

3.5 UPPBYGGNAD

Fyllningsdammar är utförda med flera olika utformningar vilket kan bero på byggnadstid och ändamål med dammen men även av tillgängligt byggnads-material och ev. projektör. I denna rapport har ett flertal olika typer definierats utifrån det underlag som gått igenom utifrån projektbeskrivningens omfattning. Det är dock sannolikt att det kan finnas fler fyllningsdammtyper och lokala varianter som inte framkommit i underlagsgenomgången. I denna rapport har avsnittsindelningen utförts efter fyllningsdammarernas tätande skikt. Efterföljande avsnitt innehåller exempel som insamlats i samband med den digitala arkivgenomgång och finns dokumenterat i litteratur samt från dammägares arkiv (vilka då ej anges med referens).

Valet av dammtyp anges i (Wählin, 1949) bero av byggnadsplatsens läge, grundens beskaffenhet, terrängens förhållande, ekonomiska synpunkter samt också behovet av utskovsanordningar. En jorddamms ansågs om förutsättningarna med jordtillgångar var tillräckliga vara mer ekonomiska att bygga samt också att underhållskostnaderna för en väl utförd jorddamms var avsevärt mindre än för en betongdamms.

I (Lundin, 2000) beskrivs att fler utvecklingssteg togs under 1940–50-talet inom dammkonstruktion. Detta avsåg packning, materialval, filterfunktion, sättningar m.m. 1951 uppfördes en hög fyllningsdamms med tätjärna av morän (utan spont). Influenser från USA bidrog till att betongskärmen kunde frångås. I rapporten (Löfquist, 1987) beskrivs erfarenheter från svenska fyllningsdammsarbeten. Bland annat våtpackningsmetod, hydraulisk uppspräckning och läckage diskuteras. Ett flertal dammar beskrivs också i rapporten.

I (Westerberg & Alm, 1946) nämner författaren, som arbetar på Vattenbyggnadsbyrån, att de eftersträvade att få dammarna så bra packade som möjligt och att de

har utarbetat jordartsbestämmelser i stil med betongbestämmelser. Detta gjordes för att över tid få ökad erfarenhet av packningsmetoder, sättningar och genomsippring.

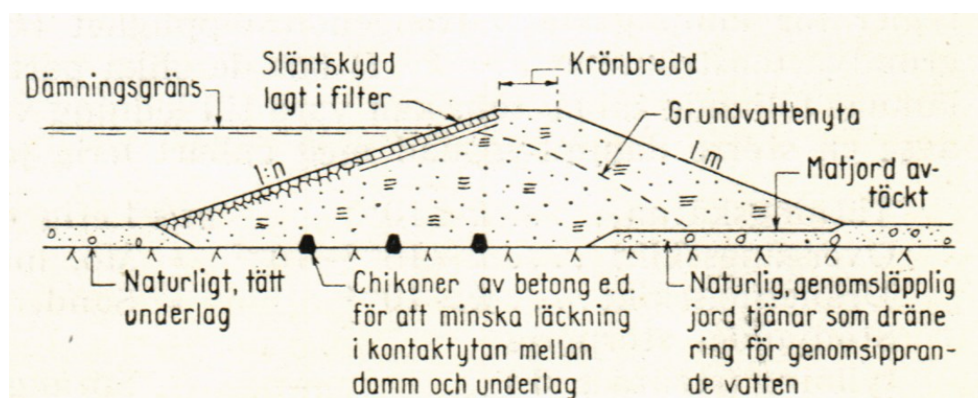
Av ovanstående information (tillsammans med annan information som presenteras i rapporten) har en avgränsning försökts att göras till vad som kan anses vara fyllningsdammar av "äldre utförande" i Sverige. Tyngdpunkten av nedanstående exempel är från tidsperioden innan 1950-talet, även om undantag förekommer.

3.5.1 Homogena fyllningsdammar

Homogen uppbyggnad av fyllningsdammar bedöms vara vanligt vid "äldre utförande" av dammar och vid låga dammhöjder. Homogena dammar finns uppförda av bland annat morän, grus, lera och dyjord. Exempelvis utfördes många invallningar av material från tillhörande dikesgrävning. Vid anläggandet av kanaldammar var dammarna ofta homogena, byggda av kanalens uppschaktade massor men med förstärkningar av exempelvis erosionsskydd på slänterna. Det finns också exempel från flötning, vattenförsörjning, vattenkraft, fiskodling m.m. där homogena dammar förekommer.

Exempel 1

Av Figur 3.7 framgår en homogen dammtyp utförd med en och samma jordart (Wählin, 1949). Dammen har ingen specifik tät kärna och är till största del grundlagd mot berg. Av figuren framgår att en permeabel grundläggningsjord har kvarlämnats under nedströmsstödfyllningen för att användas som dränering för genomsipprande läckage. Under dammen har "chikaner" (vanligtvis av betong) byggts in för att minska läckageflödet längs med kontaktytan mellan berg och damm. Av figuren framgår släntskydd som lagts i filterskikt längs med uppströmsslänten. Inga specifika mått framgår av slänlutning och krönbredd.



Figur 3.7 Homogen damm beskriven i (Wählin, 1949).

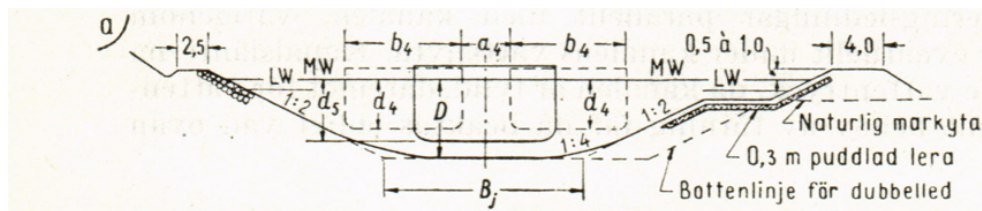
Exempel 2

Tvärsektionen i en grävd alternativt sprängd kanal utfördes traditionellt som trapetsformig, rektangulär eller med oval botten (Handboken BYGG, 1949). Med avseende på vattenhastigheten i kanalen, ansågs utformningen med oval botten

mest fördelaktig, se Figur 3.8. I jord förordades tvärsnittet med oval botten, där jordslänterna under vatten utfördes med lutning 1:2 eller flackare med avseende på släntens stabilitet. Ofta utfördes kanalsläntens krön 2,5 m bred och ca 0,5–1,0 m över högsta vattenytan av praktiska skäl. Släntens sträckning från 0,5 m ovan samt 0,5–1,0 m under vattenytan skulle skyddas med en strandskoning. I detta fall föreslaget som ett 0,5 m mäktigt lager sprängsten i lutning 1:2,5, där stenarna väger mellan 2–10 kg/st. Men om slänten utgörs av finkornigt material så förläggs grus och/eller rismattor under stenen.

I de fall då kanalen ansågs behöva tätas, när vattenytan ska ligga ovan grundvattenytan användes en beklädnad av slänten. Tätskiktet kunde bestå av 30–50 cm tjock puddlad eller stampad lera som överlagrades av 30 cm grus. I vissa fall utfördes inte tätning av kanalslänten. Det var aktuellt om vattenytan i kanalen låg lägre än grundvattenytan i omgivningen, då utfördes i stället dränering av slänterna längs kanalen för att undvika utveckling av glidytor.

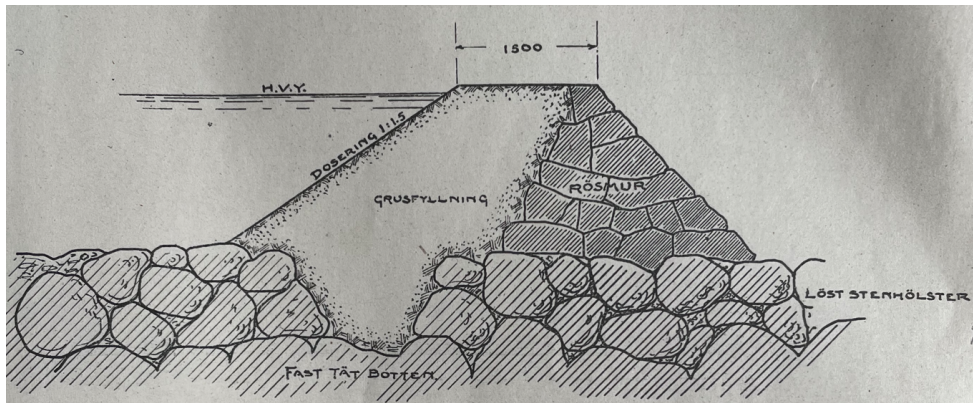
När enbart utgrävning inte var tillämplig byggdes vallar som gjordes täta. Det innebar att vallens krön behövde ha en bredd av minst 4 m och förläggas 1 m över högsta vattennivån.



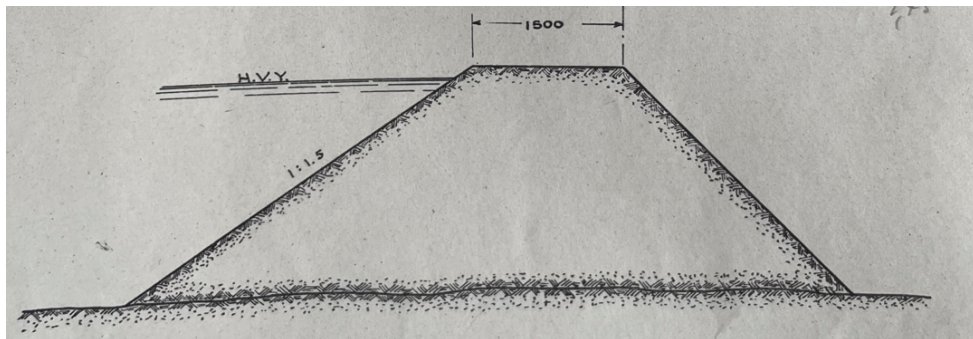
Figur 3.8 Normaltvärsnitt vid enkelspårig kanal, i grunden homogen damm, dock föreslås att dammen vid behov försågs med tätning i uppströmsslänten (Wählin, 1949).

Exempel 3

I (Näslund, 1915) ger ett par exempel av fyllningsdammar varav den ena är utförd med en stödjande rösmur (Figur 3.9) och den andra är utförd som homogen fyllningsdamm av grusfyllnad (Figur 3.10). Krönbredden anges till 1,5 m. Uppströmsslänten har en lutning av 1:1,5. I det fall dammen grundlagts på genomsläpplig grund (stenhölster) fördes grusfyllningen ned till fast och tät botten. Dammarnas nedströmsslänt har en lutning av 1:1. Dammarnas anslutning mot utskov anges ha utförts i koner som beklänts med glacismur.



Figur 3.9 Sektion av fyllningsdamm med stödjande rösmur (Näslund, 1915).



Figur 3.10 Sektion av homogen grusdamm (Näslund, 1915).

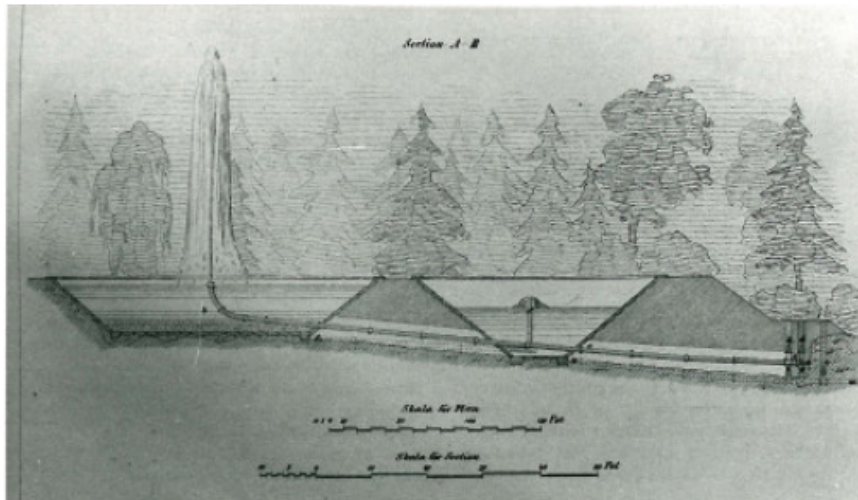
Exempel 4

I (Juhlin-Dannfeldt, 1923) anges att ett av dammens ändamål är för torrläggning och skydd mot översvämning eller för att indämma vatten vid bevattningsanläggning. En fast vall eller damm byggdes till 0,5 – 1,0 m (eller i vissa fall högre) över högvattenytan beroende av dess höjd. För att vallen skulle bli tät var den tvungen att grundläggas på tät grund. Eftersom den ytliga jorden ej uppfyllde detta skulle matjorden schaktas bort. Om det var nödvändigt grävdes en grav till tät bottenlager vilken sedan fylldes med puddlad lera som helst skulle vara uppblandad med sand. Vallen uppfördes sedan av tillgänglig jord vilken hopstampades i maxtjocklekar av "fottjocka" varv. Emellanåt gjordes enbart dammens kärna av stampad lera eller betong varpå annan jord fylldes runtom alternativt att dammens uppströmsslänt försågs med ett fottjockt lager av fet lera som stampats tätt. Uppströmsslänten skyddades mot bortslamning genom gräsbindning eller genom stensättning. Uppströmsslänten anges läggas i svag lutning, högst 1:1,5 vid stensättning eller högst 1:2 ("men med en svagare dosering") vid höga vallar och vid förväntat höga vattenhastigheter. Krönbredden skulle vara anpassad mot vallens höjd. Vid en meter hög vall skulle krönbredden vara 0,6 - 1 m. Vid en vallhöjd av 3 m skulle krönet vara 2 m brett.

Exempel 5

I Jönköping finns ett exempel av en bevattningsdamm från 1800-talet som är till hälften nedgrävd till fastgrund och till hälften uppbyggd av hårt packade

jordvallar (Andersson, 2011). Just i dessa vallar anges att man vågade utelämna den sedvanliga lerpuddeln då jordvallarna ansågs tillräckligt täta ändå. Insidan av dammen kläddes in med kalksten (Figur 3.11).

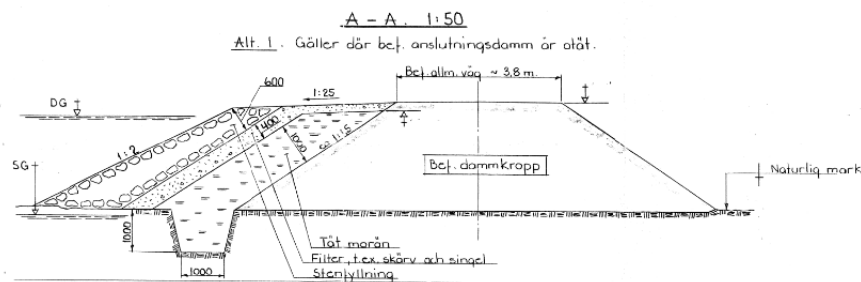


Figur 3.11 Reservoar och filterbassäng med jordvallar tillhörande Jönköpings vattenledning (Andersson, 2011).

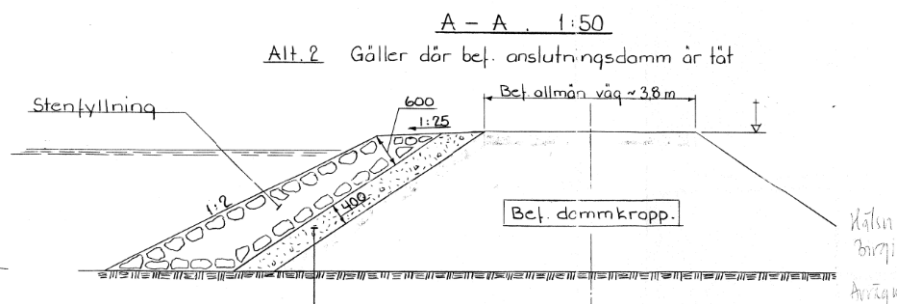
Exempel 6

Av Figur 3.12 och Figur 3.13 framgår en homogen fyllningsdamm av morän som bedömts vara mycket gammal. Inledningsvis användes den som en flottningsdamm men har därefter använts till reglering. Dammen bedöms vara uppbyggd av morän från närområdet. Sten har sorterats ut och lagts på nedströmssidan möjligen genom sortering eller hantering av stensträngar som bildats vid utläggning. Dammen har haft återkommande problem med sjunkhål.

Dammen reparerades med en ny tätning mot uppströmssidan som också kompletterades med erosionsskydd och övergångslager däremellan. Moräntätningens tjocklek anges till 1 m och förslöts mot grundläggningen med ett 1 m djupt och 1 m brett tätdike. I de lägen av dammen där den ansågs tillräckligt tät utfördes endast förstärkning av erosionsskyddet. Mot tätjorden utlades först ett övergångslager bestående av skärv eller singel med tjockleken 0,4 m. Därefter påfördes ett erosionsskydd av stenfyllningen med lutningen 1:2 och en översta tjocklek av 0,6 m. Reparationsarbetet utfördes under tidigt 90-tal. Anvisningarna hänvisar till (Statens vattenfallsverk, 1988), se Figur 3.14. I anvisningar anges att fiberduk fick användas om lämpligt filtermaterial saknas.



Figur 3.12 Dammreparation med ny tätning av morän samt förstärkningsåtgärder med erosionsskydd.



Figur 3.13 Förstärkningsåtgärder med nytt erosionsskydd.

Anvisningar

Arbetet utföres i tillämpliga delar enligt riktlinjerna i Vattenfalls handbok för Jord- och stenfyllningsdammar av år 1988 samt i samråd med dammkontrollant.

Tätningsslagret utföres av tät morän med torrpackning. Skikt tjocklek vid utläggning 0,3 m vid packning med 400 kg Vibroplatta eller motsvarande.

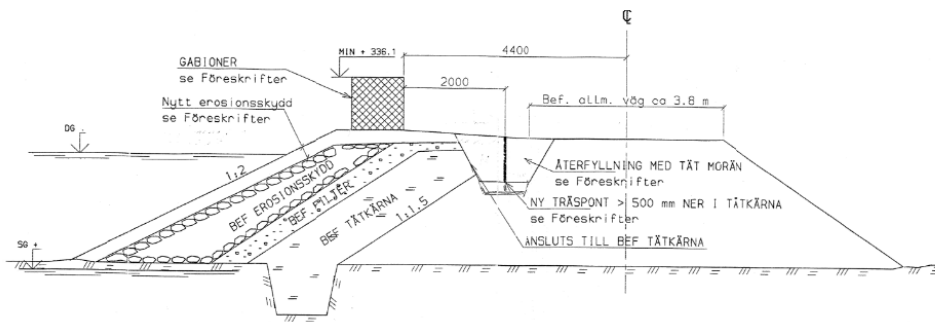
Filterlagrets kornfördelning anpassas till omgivande material så att ej separation uppstår. Fiberduk får användas om lämpligt naturligt filtermaterial ej kan anskaffas

Släntskyddet utföres med ett ytlager av stenblock med vikten minst 50 kg/st. Utläggningen skall i princip ske enligt nämnda handbok, kap. 7.12

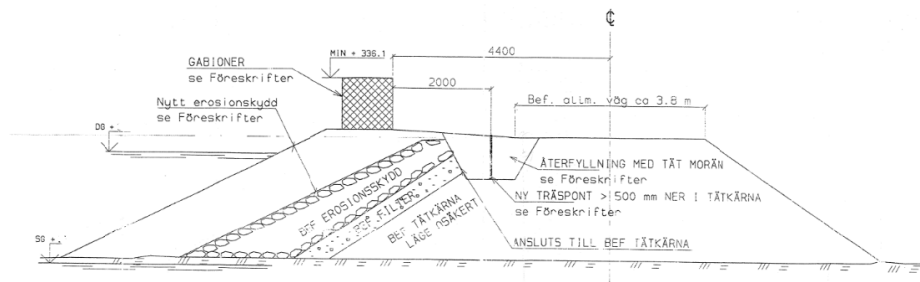
Figur 3.14 Anvisningar till dammreparation och förstärkning.

Efter några år förstärktes dammen på nytt och kompletterades med ett nytt lager erosionsskydd, våguppställningsskydd av stenfyllda nätkorgar samt en träspont omgiven av tät morän i dammens krön (Figur 3.15 - Figur 3.16). Träspont placerades något nedströms om befintlig tät kärna. Anvisningarna visar på att sponten skulle föras ned minst 0,5 m ned i tät kärnan. Återfyllning skedde med tätjord på båda sidor om sponten. Den befintliga tätningen och sponten förbinds därav med den återfyllda tätjorden.

Av ritning framgår att nätfyllda stenkorgar har placerats på uppströmskanten av krönet. Grundläggning skulle ske på ett 200 mm tjockt lager av grov singel eller makadam. Uppströmsslänten förstärktes också med ett kompletterande lager av stenblock med en minsta vikt av 50 kg/st. Utförande skulle ske vid tillämpliga delar enligt (Statens vattenfallsverk, 1988) samt i samråd med kontrollant, se föreskrifter i Figur 3.17. Stenfyllda nätkorgar användes också som erosionskydd intill utskovspelarna (antagligen pga platsbrist). De stenfyllda nätkorgarna grundlades då ca 1 m djupt ned i magasinsbotten med motsvarande grundläggningsskikt som ovan.



Figur 3.15 Kompletterande förstärkningsåtgärder på en (redan förstärkt och reparerad) homogen fyllningsdamm.



Figur 3.16 Kompletterande förstärkningsåtgärder på en (redan förstärkt och reparerad) homogen fyllningsdamm.

FÖRESKRIFTER

Arbeten utföres i tillämpliga delar enligt riktlinjerna i Vattenfalls handbok för Jord och stenfyllningsdammar av år 1988 samt i samråd med dammkontrollant.

Erosionsskyddet utföres med ett ytlager av stenblock med en minsta vikt av 50 kg/st. Utläggning skall i princip ske enligt nämnda handbok, kap. 7.12.

Filter utföres där så erfordras, enligt dammkontrollantens anvisningar, mellan tätkärna och övrig dammfyllning.

Träspont 145x45 utföres av spontat virke och spikas mot liggande regel 150x50, i över och underkant, träskyddsklass A.

Vinkeljärn för infästning av spont mot utskovspelare skruvas med expander-skruv mot pelare och med skruv mot spont och i bägge fallen med siltkor eller likvärdigt som tätande klämst.

Geobioner monteras ihop enligt leverantörens anvisning och grundläggs på en 200 mm tjockt lager av grov singel eller makadam.

Återfyllning kring spont utföres med tätmorän med följande egenskaper:

- # siltig, sandigtyp med finjordshalt (<0.06mm)
- 15-40 % av material <20 mm, sten > 100 mm sorteras bort.
- # permeabilitet 3×10^{-7} - 3×10^{-9} m/s

Spont och utskovsarbeten utföres i torrhet.
Vid behov kontaktas konstruktör.

Figur 3.17 Föreskrifter för dammförstärkningsåtgärder av en homogen fyllningsdamm.

Exempel 7

Ett dammhaveri inträffade vid en homogen kanaldamm där kanaldammen ansluter med en träspont mot ett utskovs parti (Figur 3.18). Dammen är uppbyggd vid tidigt 1900-tal. Haveriet skedde på vårkanten och det har bedömts som troligt att tjällossning intill sponten kan ha varit en bidragande orsak till haveriet. Kanalen är utförd längs med en naturlig moränslänt. Det uppgrävda materialet från kanalschakten bedöms ha använts till att bygga kanaldammen. Dammen är som högst ca 2–3 m och grundlagd på morän (dvs samma material som dammkonstruktionen).

I dammens genomskärning kan potentiell grundläggningsnivå och tidigare slänten noteras (Figur 3.19). I dammtån återfanns grövre material som antingen rullat ut vid fyllning eller sorterats ut för hand. Maskinisten som deltog vid reparationerna hade noterat att sådant förekommer även vid andra dammar med motsvarande konstruktion.

Vid reparation och återuppbyggnad av dammen användes material från intilliggande slänt, vilket bedömts som mest lämpligt eftersom ursprunglig dammkonstruktion utförts av detta material. Genom att nyttja detta material bör inga stora skillnader i vattenströmningshastighet eller stora risker för inre erosion mellan difört material och befintligt dammaterial erhållas. I samband med dammuppbyggnaden utfördes en nykonstruktion av dammens utskovsparti då dess träkonstruktionsdelar var i dåligt skick. I läget för dammhaveriöppningen samt för det nya utskovspartiet användes plastspont (Figur 3.20). För utförandet av arbetet och installation av sponten krävdes inga stora maskiner. Då plastsponten var lätt att hantera kunde arbetet göras med mankraft, grävmaskin och

packningsutrustning. I övrigt kan noteras att tung trafik inte var lämpligt över dammkrönet och att tillfartsvägar saknades.



Figur 3.18 Homogen fyllningsdamm vid kanal. Dammen bedöms vara uppbyggd av kanalschaktsmaterial. Foto: Mats Lund.



Figur 3.19 Homogen kanaldamm vid läge för dammhaveri. Foto: Mats Lund.

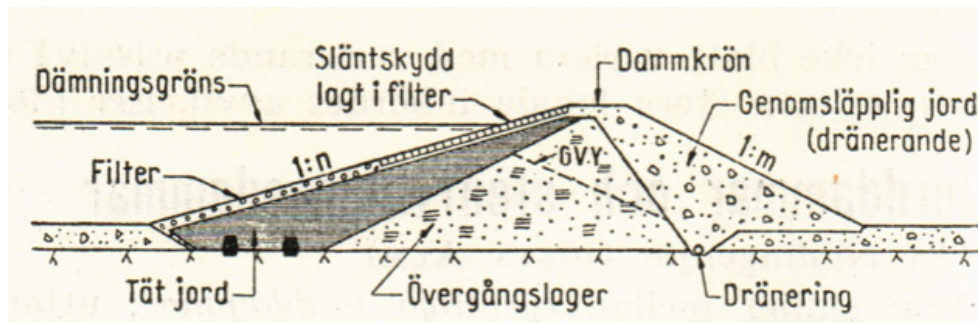


Figur 3.20 Plastspont installerades i stället för träspont. Foto: Mats Lund.

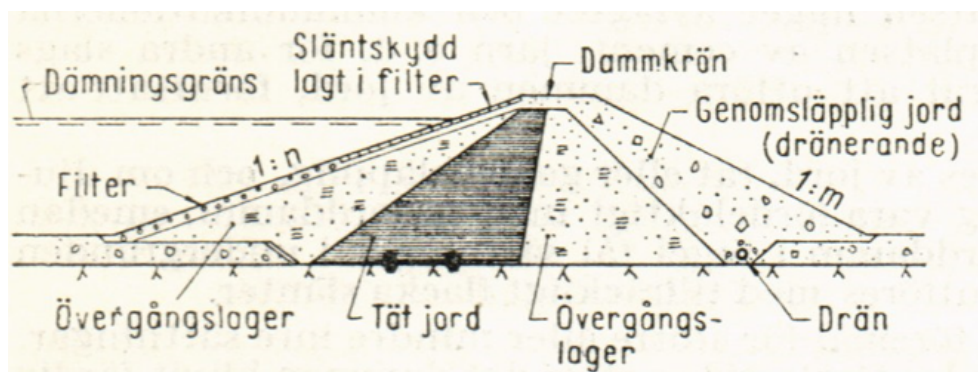
3.5.2 Fyllningsdammar med moräntätning

Inom arbetet har det framkommit få exempel innan ca 50-talets början där fyllningsdammar utförts med enbart tätning av morän. Fyllningsdammarna har i stor utsträckning utförts med spont, skärm eller tätning av lera. Homogena dammar av morän förekommer dock, vilket framgår av föregående avsnitt. Av (Westerberg G., 1944) framgår att hård pinnmo var svårt att schakta i med maskiner fram till 1920-talet. I samma artikel anges också att i åtminstone Norrland saknades lämpliga jordmaterial för att kunna bygga tätkärnan i höga fyllningsdammar, varför dammarna försågs med spont/skärm av trä, betong eller stål.

I (Wählin, 1949) beskrivs ett par dammtyper som börjar närma sig en mer modern utformning. I beskrivningen framgår att morän/pinnmo (men också andra jordmaterial) kunde användas till tätkärna. Av handlingen framgår en damm med frontal tätning (lutande tätkärna), vanligen bestående av en jordart med mycket låg vattengenomsläpplighet (Figur 3.21). Den andra (Figur 3.22) beskrivs som en damm med en central tätning omgiven av övergångslager och dränerande stödfyllning. Tätningen anges bestå av antingen tätjord med låg genomsläpplighet eller av en tätande skärm av betong, stål eller trä som (ofta) bäddats in i tätt jordmaterial. De jordmaterial som nämns ingår i tätkärnan (hydraulisk konduktivitet, $K < 10^{-9}$ m/s) är lerig eller mjällig jord, pinnmo (och liknande). I båda figurerna framgår släntskydd i flera filterskikt. Övergångslager ($K = 10^{-6} - 10^{-7}$ m/s) anges vara mo, moig sand, mager pinnmo (och liknande). Dränerande skikt ($K > 10^{-4}$ m/s) anges till sand, sandigt grus och grus. Stödjande jordmaterial anges till sprängsten, natursten, skärv och singel. Längs med grundläggningen av tätjorden framgår "chikaner" som gjutits mot berg. Även inbyggd dränering framgår av figurerna.



Figur 3.21 Dammsnitt med lutande tätkärna beskriven i (Wåhlin, 1949).



Figur 3.22 Dammsnitt med stående tätkärna beskriven i (Wåhlin, 1949).

Det anges i (Wåhlin, 1949) att dammarnas tätning alltmer började utföras som stående tätkärnor inuti dammkroppen (och ej som lutande) på grund av riskerna kopplat till utglidning i samband med avsänkning av magasinet. Detta eftersom portrycket i dammens tätkärna (nära uppströmsslänten) då kan kvarstå vid avsänkningen vilket kan leda till instabilitet av uppströmsslänten då det mothållande vattentrycket försvinner i samband med magasinsavsänkningen. Lutande tätkärnor har fördelen av mindre materialåtgång (tätjord) samt att nedströmsliggande stödjord bidrar till god stabilitet och dränering.

3.5.3 Fyllningsdammar med lertätning

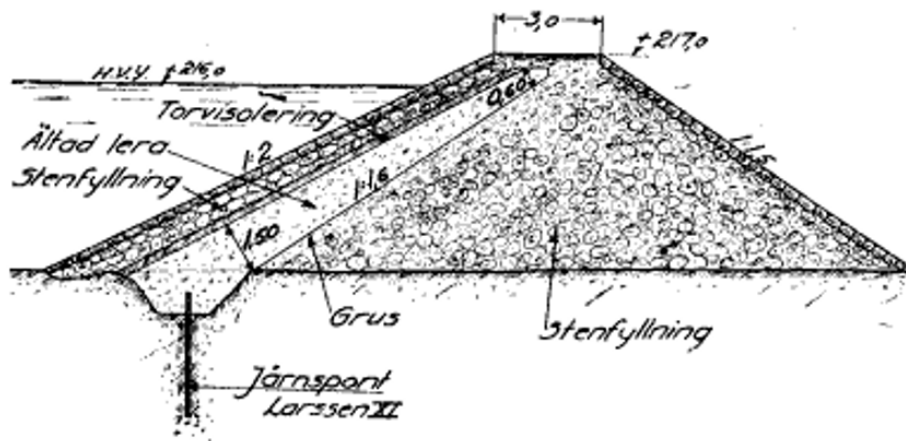
Dammar där lera använts som huvudsaklig tätning, bedöms ha utförts främst för att erforderligt material ofta fanns nära arbetsplatsen och var relativt lättbearbetad. Att jämföra med exempelvis välgraderad morän som oftare underlagrar lera och kan vara mer svårskaktad då delar av kornfraktionerna är större men ger tätare och mer stabila vallar (Juhlin-Dannfeldt, 1923).

Exempel 1

Av (Plass, 1933) framgår en jordfyllningsdamm som utformats med en lutande tätkärna (1:1,6) av ältad lera vilken grundlagts med järnspons (Larsen XI av kopparlegerat järnmaterial). Morängrundläggningen (pinnmo- och moränlager) anges vara hård men vattengenomsläpplig. Sponten är slagen ca 4 - 5 m. I detta fall ska den geologiska benämningen av tätjorden anses vara mjåla. Tätkärnans krön anges vara 0,6 m. Uppströms lertätningen finns en lager med torvisolering.

Nedströms och närmast lertätkärnan har grus- och jordskikt utlagts vilket är utfört som ett "omvänt filter". Stödfyllningen utgörs av stenfyllning. Uppströmsslänten har en lutning av 1:2 och nedströmsslänten en lutning av 1;1,5. Dammhöjden uppgår som mest till 8 m (ovan grunden). Dammkrönet anges vara 3,0 m. Läckningen genom den 280 m långa dammen anges till "några få liter per minut". Av Figur 3.23 och Figur 3.24 framgår tvärsektioner av dammen.

I (Löfquist, 1987) beskrivs erfarenheter från dammen. Dammens tätskikt anges här vara av små mått. Det nämns att USA hade haft flera "misslyckanden" med motsvarande dammutformning och att kunskapen av filterfunktion inte var tillräcklig. Dammen anges ha läckt och behövt reparerats i omgångar. Orsaken till att reparationerna behövt utföras framgår inte.



Figur 3.23 Damm med lutande tätning av ältad lera vilande mot grus. Torvisolering mot uppströmssidan (Plass, 1933).

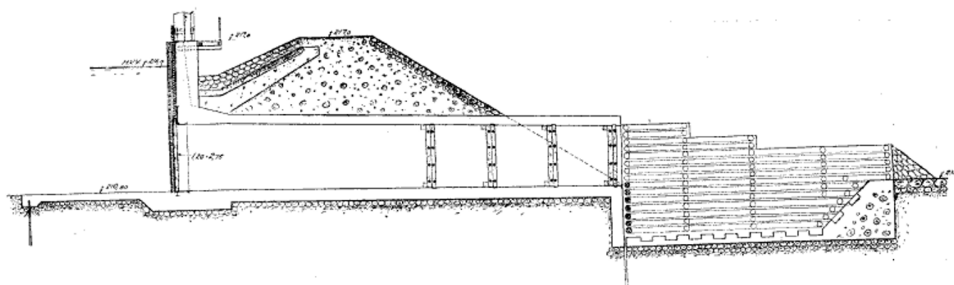


Fig. 9. Tvärsektion genom flodutskovet.

Figur 3.24 Dammens utformning vid utskovet (Plass, 1933).

Exempel 2

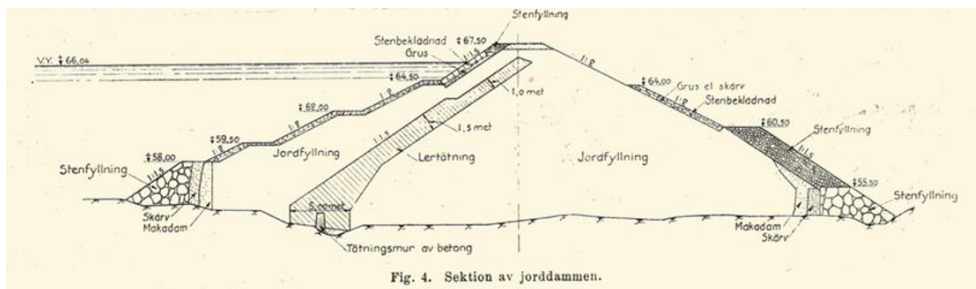
Av (Ekwall & Flodin, 1936) framgår en beskrivning av en jorddam, en kanaldamm och en jorddam till isbassäng. Jorddammen byggdes till 15 m höjd med ett 4 m brett krön samt en basbredd om 65 m. Den tätande delen utgjordes av en kärna som bestod av sand och väläktad plastisk lera. Kärnan utfördes med en lutning av 1:1,5. Kärnans bredd varierar mellan 1 m (övre delen) och 5 m (undre delen). Kärnan omgavs av en stödjande jordfyllning på nedströmssidan och en skyddande jordfyllning på uppströmssidan. Kärnan anslöts till fast mark

bestående av berg och hård morän (pinnmo). Av ritning framgår att grundläggningen sker med en tätningsmur av betong. Den översta slänten som ligger i vattenlinjen utfördes med stenkärladnad med ett grusskikt som övergångslager mot jordfyllningen. Det framgår också att delar av nedströmssidan är stenkärladnad, med övergångslager av grus eller skärv.

Av ritningen framgår att uppströmsslänten byggts med en lutning av 1:2 med flera terrasser. Avståndet mellan dammkrönet och den översta terrassen är som högst, 3 m. Därefter är differensen mellan terrasserna 2,5 m, 1,5 m och 1,5 m. Den lägsta terrassen som utfördes av grövre stenfyllning utfördes med en lutning om 1:1,5. I både upp- och nedströmssidan har filterskikt av makadam och skärv lagts in som övergångslager mellan jordfyllning och stenfyllning. Nedströmsslänten är i den övre delen utförd med en lutning av 1:2, medan den nedre delen är utförd med släntlutning 1:1,5.

Jordfyllningen utfördes enligt en för Sverige då ny metod. Järnvagnar om 4 m³, s.k. dumpvagnar (vilka hjul löpte på krypkedjor) användes vid dammbygget. Vagnarna drogs av traktorer (Bofors). Detta medförde att transport kunde göras i "obanad" terräng. Pålastning skedde till störst del med grävmaskin. Avlastning skedde genom luckor i vagnarnas golv då vagnarna rörde sig framåt. Detta medförde att jordfyllningen kunde bredas ut i tunna lager som erhöll en "synnerligen" kraftig vältning (packning) genom krypkedjornas tryck mot marken. Vid gynnsam väderlek användes också lastbilar som kunde ta sig fram på den av traktorerna och dumpvagnarna välpackade marken.

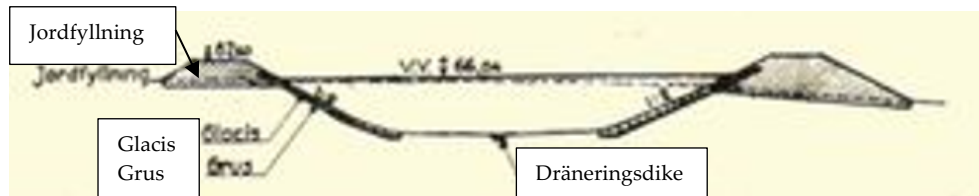
För att kunna följa ev. formförändringar/rörelser byggdes precisionsfixar in på frostfritt djup i dammens krön och sidor.



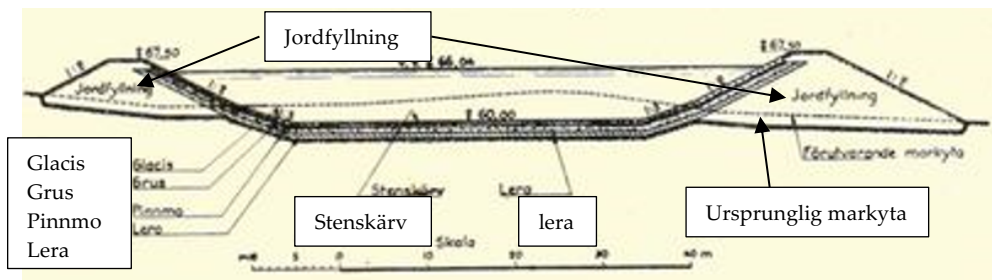
Figur 3.25 Fyllningsdamm med lutande lertätning (Ekwall & Flodin, 1936).

För grävning av tillloppskanalen (Figur 3.26) användes en elektromotordriven grävmaskin som togs sig fram på krypkedjor. Grävmaskinens skopa rymde ca 4 m³ och lades direkt utan omlagring och transport på ömse sidor om kanalen eller i de låga vallar som vid vissa sträckor utgör sidorna av kanalen. Packning skedde med skopa så att tillräcklig täthet erhöles. I de lägen där vallarna nådde större höjd användes samma packningsmetod som för jorddammen. Kanalens slänter och botten (där den bestod av "flytsand") bekläddes med sprängsten (grus och glacié enligt ritning) från bergschaktning som utfördes längs kanalen. Innan kanalen nådde fram till intagsrännan vidgades kanalen till en "isbassäng" (Figur 3.27). Denna hade som syfte att skydda kraftstationen mot isblockad. Av ritning framgår att

isbassängens botten är uppbyggd av lera, pinnmo, grus och stenskärv. Slänterna försågs med glacis. Isbassängsvallarnas nedströmsslänter utfördes i 1:2.



Figur 3.26 Tvärsnitt av tilloppskanalen (Ekwall & Flodin, 1936).



Figur 3.27 Tvärsnitt av isbassäng (Ekwall & Flodin, 1936)

Under arbetet med tilloppskanalen utfördes omfattande laborieförsök av SGU. Markens genomsläpplighet för vatten, kornstorleksfördelning samt hygroskopicitet (förmåga att ta upp och avge fukt) undersöktes. Av Figur 3.28 framgår normalvärden för genomsläppligheten k (cm/h). Jämförelsejordar från andra platser redovisas också. Med bakgrund till den låga hydrauliska konduktiviteten anges att särskilda tätningsåtgärden endast varit nödvändig i vissa fall. Det anges att beräkningar som utförts överensstämmer bra med det faktiska utförandet och att både jorddamm och tilloppskanal anges som "praktiskt taget fullkomligt tät".

	k cm/timme
Sandigt grus och grusig sand	5—0,1
Grovmo (fin sand)	0,7
	k cm/timme
Finmo (mycket fin sand)	0,03
Morän av ytmoräntyp	0,06—0,001
” ” bottenmoräntyp	0,001
Mellanlera från Högom (Sundsvall)	0,00007
” ” Albishof (Zürich)	0,00006
(se Bericht der Kommission für Ab- dichtungen des Schweiz, Wasserwirt- schaftsverbandes, 1927).	
Mycket styv lera från Ljungs tegelbruk använd som tätningsmaterial för jord- dammen	0,000009
Mycket styv lera (tertiär Septarienton) använd som tätningsmaterial för Mit- tellandkanalen	0,000005

Figur 3.28 Hydraulisk konduktivitet för jordar längs med inloppskanalen. Jordarna användes som byggnadsmaterial till jorddamm och inloppskanalens vallar (Ekwall & Flodin, 1936). Nuvarande standard är att ange hydraulisk konduktivitet i m/s.

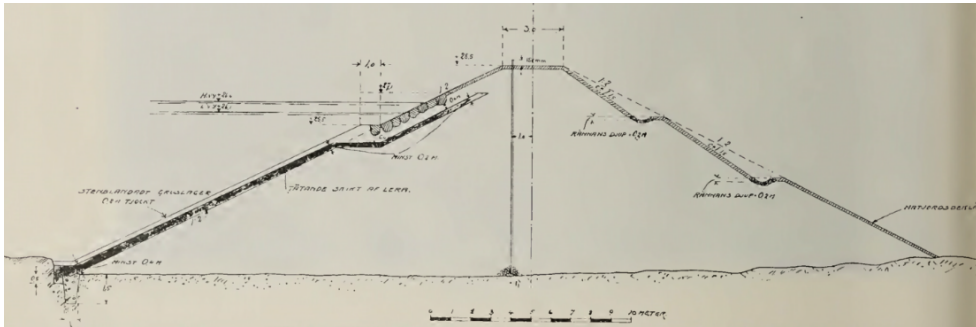
I (Löfquist, 1987) bedöms huvuddammen vara väl genomtänkt och välbyggd. Det anges att dammens stödfyllning (schaktmassor) var i tätaste lagret och att dränering i nedströmsdelen anordnades med sandlager och tegelrör. Stödfyllningen packades i skikt om 10–15 cm. Dammen tätskikt byggdes inledningsvis upp av lera som blandats med sand i en "lerbråkare". Senare erhöles leran färdigblandad i tegelstensformat från ett närliggande tegelbruk. Leran packades med träklubbor.

Exempel 3

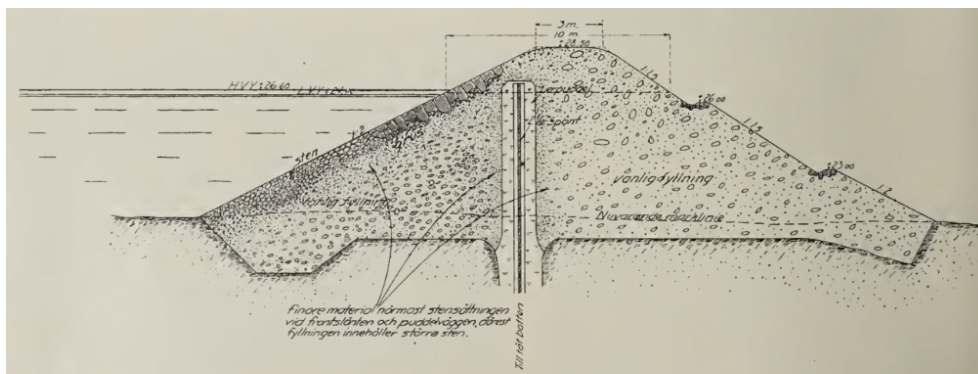
I handlingen (Lübeck, 1911) beskrivs ett flertal fyllningsdammar tillhörande ett antal anläggningar i samma vattendrag. En jorddamm som är mellan 8 och 11,4 m hög och har en längd av 320 m beskrivs i (Lübeck, 1911), se Figur 3.29. Dammen bedömdes vara den största i sitt slag i Skandinavien 1910. Längs ca 130 m skedde schaktning genom en mosse får att nå fast grund. Dammen består till störst del av lerhaltig sand- och grusmassa som tagits från de intilliggande kanalgrävningarna. Packning skedde under bevattning i 0,2 m lager. För att säkerställa den tätande förmågan utlades ett lera lager om 0,2 - 0,4 m tjocklek längs med uppströmsslänten. Tätjorden skyddades av ett lager med stenblandat grus där mossjord påförts (dock oklart var mossan förlades). I mitten av dammen har rör installerats var tionde meter för att kunna följa vattenståndet i dammen. Nedströmssidan är utförd med två avsatser och har klätts in med matjord. Avsatserna har försetts med 0,2 m djupa och stensatta regnvattenavlopp. Även uppströmsslänten är försedd med en avsats under vattenlinjen. Både upp- och nedströmsslänt har en lutning av 1:2.

Dammen var ursprungligen tänkt att utföras enligt ett förslag som framgår av Figur 3.30. Dammen var då tänkt att konstrueras med en 3" träspont omgiven av lerpuddel placerad i dammen för att säkra dammens tätande förmåga till det att dammen blivit stabil (antagligen förväntades sättningar). Förslaget som ej blev

utfört anges ha några fördelar jämte den konstruktion som blev utförd. Dels anges att tätskiktet är tunt och ligger ytligt vilket riskerar att spricka upp vid uttorkning samt att sprickbildning kan uppstå vid sättningar, dels nämns att det finns risk för övertryck vid avsänkning av magasinet. Det anges att det senare kan vara förklaring till en partiell utglidning som inträffat vid en avsänkning.



Figur 3.29 Fyllningsdammkonstruktion med ett 1,5 m tjockt lager av puddellera i dammens uppströmsslänt. (Lübeck, 1911).



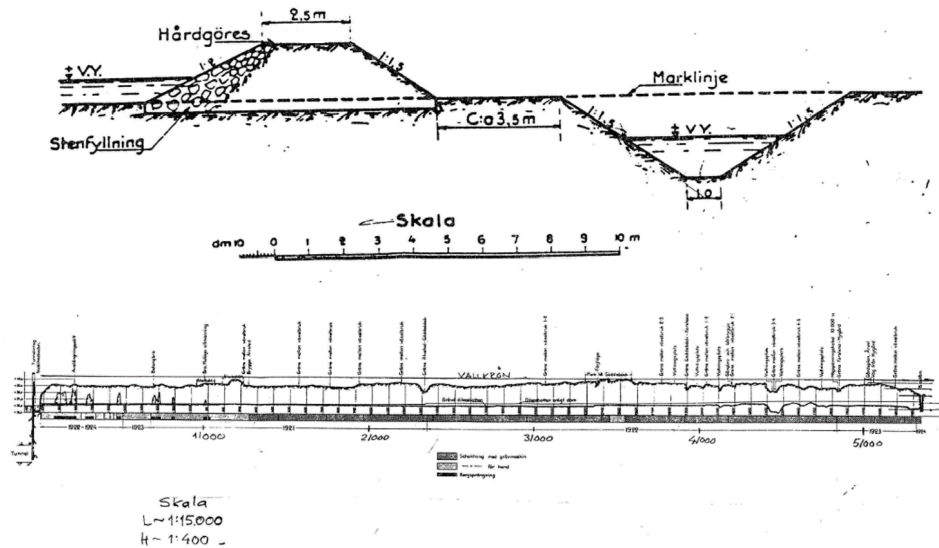
Figur 3.30 Föreslagen dammutformning som ej blev utförd (Lübeck, 1911).

Tilloppskanalen till en av anläggningarna är utförd genom schaktning av marken samt genom "bankning" (tolkas som byggnad av vall/damm). Kanalen nämns vara omsorgsfullt stenbeklädd. En stenvall har anlagts för att skydda jordvallen mot strömmande vatten, is samt vattenståndsvariationer (Lübeck, 1911).

Exempel 4

En dammvall och kanal utförd främst av lerjord, med gul åkerlera i ytan och på djupet blålera, framgår av Figur 3.31. Det ansågs vid byggnationen ej nödvändigt att bearbeta massorna eller att ordna kompletterande tätning, då det bedömdes som att erforderlig tätning erhöles genom det höga lerinnehållet. På nedströms-sidan av dammen fylldes ett tunt lager med matjord på slänten där sådd av växter utfördes. På uppströmsslänten anlades ett erosionsskydd av sprängsten och stenskärv, med ursprung från samtida närliggande sprängningsarbeten. Inför senare kompletteringar av erosionsskyddet utfördes en geoteknisk utredning i delar av vallen, samt delvis i kanalens botten. Resultaten från borrhörningarna visade på lera och silt med inslag av gyttja och ej förmultnade växtdelar. Dessa lösa jordlagars mäktighet i undergrunden uppgick till mer än 13 m. De mer ytliga

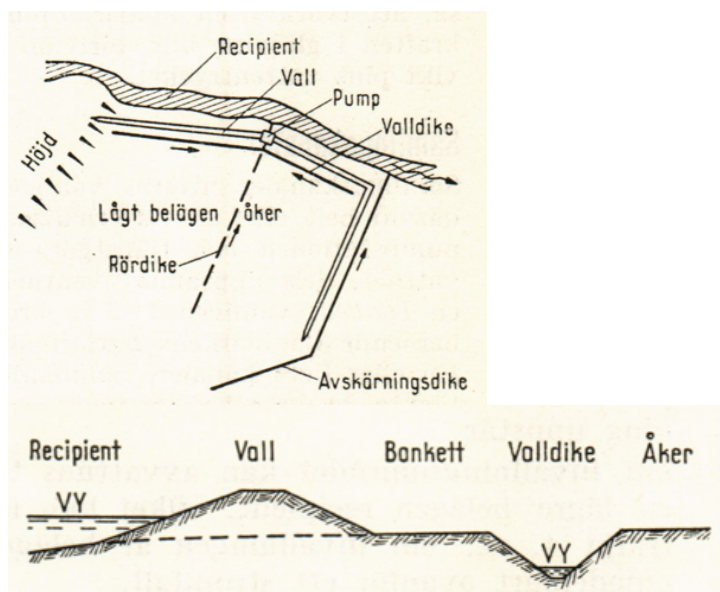
jordarna, lera och silt, visade på skjuvhållfasthetsvärden mellan 17–40 kPa. Dammkrönet som hårdgjordes angavs med bredden 2,5 m, avståndet i plan mellan nedströms dammtå och kanalen ca 3,5 m.



Figur 3.31 Sektion och längdprofil av kanaldamm av lera.

Exempel 5

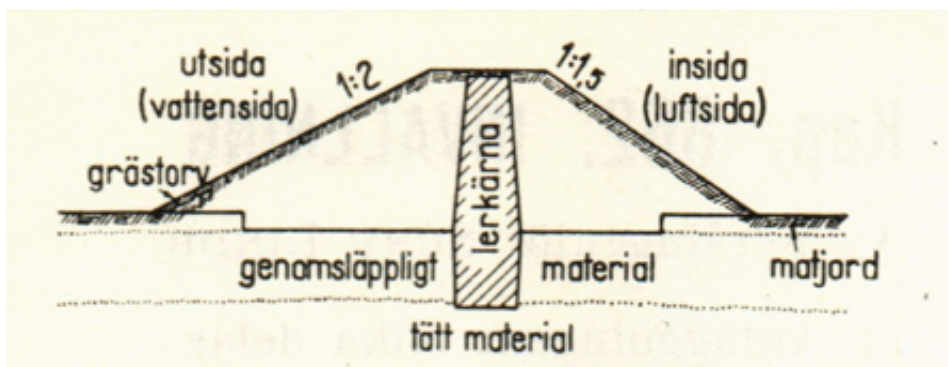
Av (Wählin, 1949) framgår beskrivning av invallningar som anläggs för att torrlägga ett område för åkermark, se Figur 3.32. Invallningen utfördes för att sänka grundvattennivån för grödorna samt som skydd mot översvämning. En invallning bestod normalt av vallar, samlingskanaler och en pumpstation (som inte alltid var nödvändig).



Figur 3.32 Plan och sektion genom invallning (Wählin, 1949).

Invallningsdammen skulle helst bestå av lera som gärna fick vara uppblandad med sand eller grus. I de fall detta material inte fanns att tillgå kunde invallningsdammen förses med en (oftast) central placerad kärna av puddlad lera, se Figur 3.33. I de fall grundläggning utfördes på genomsläppligt material kunde lertätkärnan försänkas i grunden (i ett s.k. tät-dike). I det fall djupet ned till tätare grund var betydande kunde kärnan förses med träspont. Vid grundläggning mot berg anges att pallsprängning som ev. kompletterades med betonggjutning behövdes för att förhindra att vatten sipprade längs med berget. Det anges att matjorden skulle tas bort under hela eller större delen av invallningsdammens grundläggning. Vanligtvis täcktes vallarnas yta med grästorv eller gräs för att skydda mot nederbörd. Vid risk för kraftiga vågsvall eller vattenströmning kunde invallningsdammarna skyddas med glacis eller rismattor.

Invallningsdammarnas krönnivå anges till ca 0,3 - 0,5 m ovan högvattenytan om dammen ligger skyddad från vågskvalp. Vid risk för vågerosion anges att frikant/fribord skulle vara 0,8 - 1,0 m. Dammarnas upp- respektive nedströmsslänt anges ha släntlutningen 1:2 och 1:1,5. Krönbredden anges kunna utföras lika bred som dammen är hög, men bör ej understiga 1,0 m.



Figur 3.33 Tvärsnitt genom vall (Wählin, 1949)

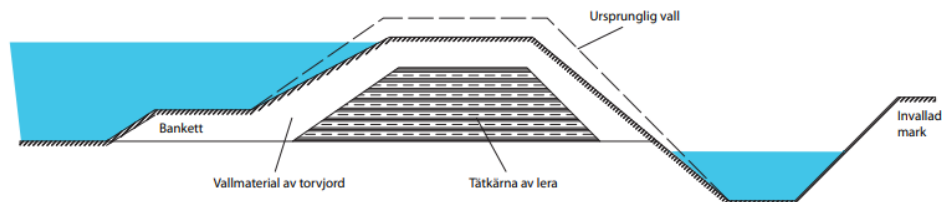
Samlingskanalerna utfördes vanligtvis på nedströmssidan om vällen, s.k. valldike (Wählin, 1949). Det bortschaktade jordmaterial från valldiket användes helt eller delvis som vallmaterial. Valldiket användes som utjämningsmagasin för det tillrinnande vattnet samt till uppsamling av läckage från vällen. Mellan vällen och valldiket utfördes en bankett vanligtvis 1 - 5 m bred beroende på markens bärförmåga.

I (Avén, 1985) anges att vallarna utförs av icke tjälskjutande material och att vallarna förses med en lerkärna och hänvisar till motsvarande figur som i Figur 3.33. I svåra förhållande anges att spont kan användas. Anslutningen mot undergrunden lyfts specifikt fram som viktig. När torrskorpelera förekom skulle den bortschaktas innan anläggandet av vällen. Krönnivå anges till ca 0,4 - 0,5 m över beräknad högsta vattenyta. Släntlutningar rekommenderas att ej vara mindre än 1:1,5 (nedströmsslänt) respektive 1:2 (uppströmsslänt). Vallarna anges besås med gräs eller grästorv. Vid risk för vågpåverkan anges att sten eller annan beklädnad kan vara nödvändig.

I Handboken BYGG från 1985 (Avén, 1985) anges att invallningstekniken är relativt ny i Sverige och har utvecklats parallellt med tillgången på elenergi. Invallningar anges förekomma framför allt i lerslåttsområdena i södra och mellersta Sverige. Motivet anges vara att de förhållandevis höga priserna på jordbruksmark gör invallningarna lönsamma.

Exempel 6

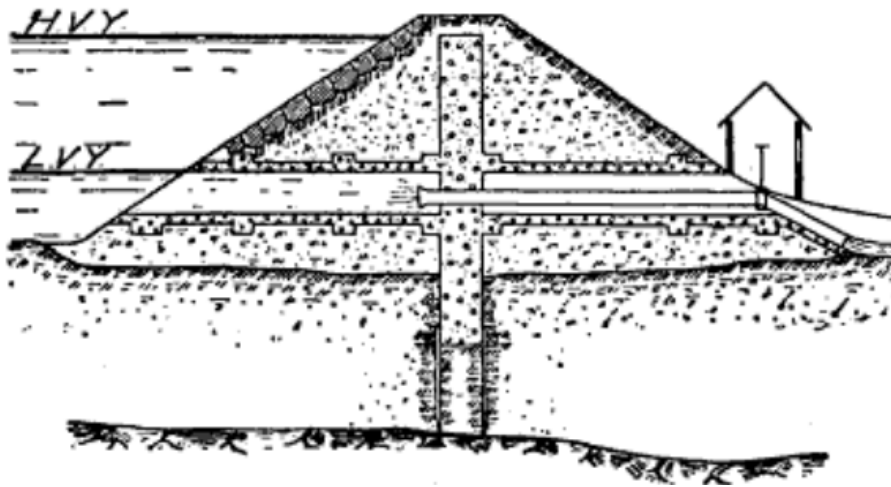
Invallningar uppförda på torvmarker utfördes ursprungligen även de med en tätning av lera (Jordbruksverket, 2009). När vallens last påfördes torven i grunden, uppstod ofta sättningar. Sättningarna innebar att vallen vid flera tillfällen behövde höjas och förstärkas för att vidmakthålla den dämmande funktionen. Svårigheter kunde uppstå att finna lämplig lerjord för tätning vid förstärkningen. Även schakt- och fyllarbeten i mark med hög vattennivå och lösa jordlager kunde försvåra ombyggnationen.



Figur 3.34 Typsektion visande invallning utförd på torvjord med tätning av lera samt dess sättning (Jordbruksverket, 2009). Streckad linje visar ursprunglig utformning.

Exempel 7

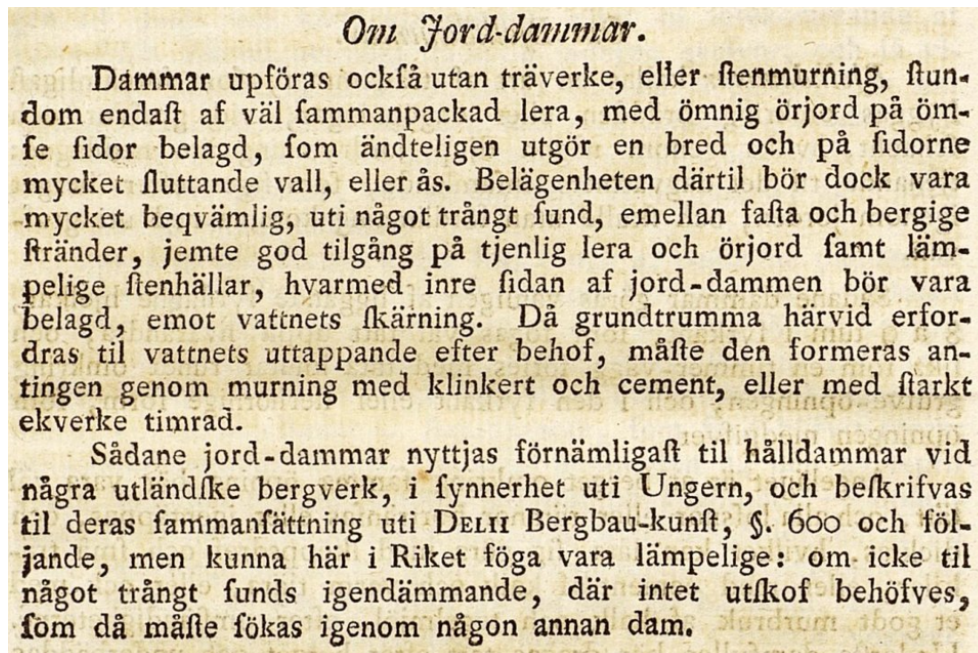
Av uppslagsverket (Nordisk familjebok, 1906) framgår en definition av ordet damm. I verket beskrivs att reservoardammar uppfördes av jord eller sten. Jorddammar byggdes på lösare grund och stendammar på berggrund. Jorddammarna tätades med en kärna av lera eller betong i dammens mitt (Figur 3.35) alternativt längs med uppströmssidan. I båda fallen anges att dammen ska skyddas mot vågerosion genom stensättning.



Figur 3.35 Exempel på jorddamn från (Nordisk familjebok, 1906).

Exempel 8

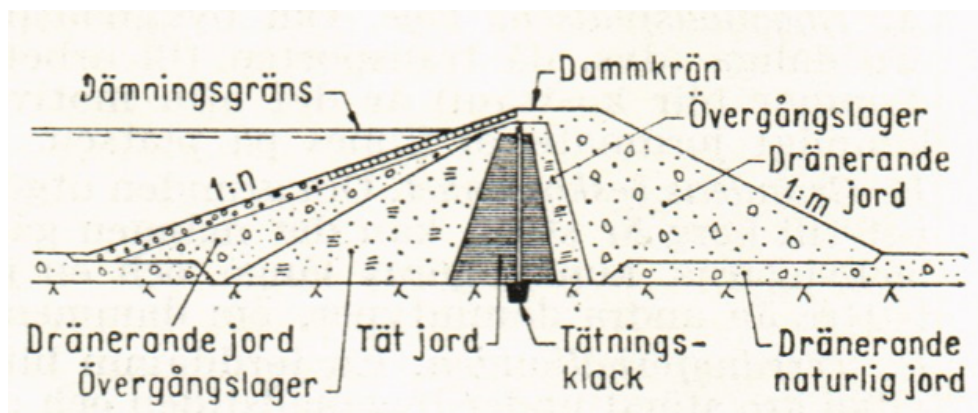
Av (Rinman S., 1794) framgår en kort beskrivning av jorddammar som kunde byggas om god tillgång fanns av lera och örjerd (Figur 3.36). Dammarna utfördes endast av väl sammanpackad lera, med "ömrig" örjerd på båda sidor som utgjorde dammens stödfyllning. Dammarna anges vara lämpliga att anläggas i trånga sund mellan fasta och bergiga stränder. Dammen ansågs bäst grundläggas mot lämpliga stenhällar för att förhindra vattnets skärning (*läckage och inre erosion*). Vidare anges att jorddammar nyttjades som hålldammar vid utländska bergverk där specifikt Ungern nämns. För de svenska förhållandena bedömdes jorddammar endast vara lämpliga om det fanns trånga sund. De ansågs ej lämpliga om avbördningsanordningar var nödvändiga.



Figur 3.36 Utklipp från (Rinman S., 1794) med beskrivning om jorddammar.

3.5.4 Fyllningsdammar med spont eller tätskärm

Fyllningsdammar uppförda fram till första hälften av 1900-talet har ofta försetts med en spont eller skärm. I (Wählin, 1949) beskrivs en damm med central tätning som omges av övergångslager och dränerande stödfyllning (Figur 3.37). Tätningen anges bestå av en skärm av trä, betong eller stål. Skärmarna anges ofta vara inbäddade i ett tätt jordmaterial och av figuren framgår en tätklack i läget för skärmen. Av beskrivningen framgår att denna dammtyp ger de största fördelarna och att de därför är mest vanligt förekommande (jämfört med fyllningsdammar som framgår av Figur 3.7, Figur 3.21 och Figur 3.22). Vidare beskrivs att det inte alltid förekommer lämpliga jordar som kan användas som tätkärna i Sverige varför då ofta dammarna försetts med tätskärmar av trä, betong eller stål.

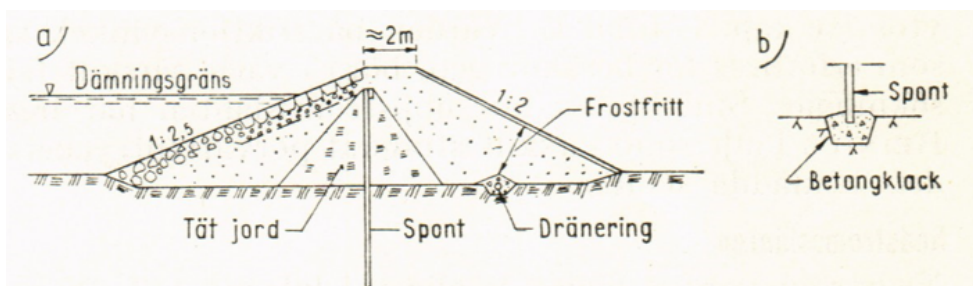


Figur 3.37 Exempel av damm med central tätskärm omgiven av tät fyllning beskriven i (Wählin, 1949).

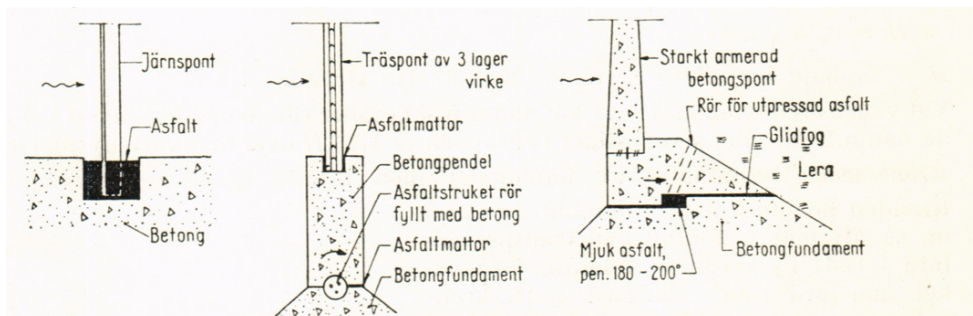
I (Wåhlin, 1949) anges att amerikanerna använde sig av enbart jordtätning i större dammar. Amerikanerna ansågs vara längre fram i utvecklingen och att de använde jordarter med likartade plastiska egenskaper i dammen samt hade bättre rutiner för jordkontroll. I Sverige där fyllningsdammsutvecklingen inte kommit lika långt försågs dammarna med spont som en extra säkerhet ifall tätjorden i någon punkt ej blivit tillräckligt väl utförd. Det ansågs också att sponten/skärmen utgjorde ett visst skydd mot krigsskador på dammen och att det fanns en större chans att begränsa en skada och därmed avvärja ett dammhaveri.

Av (Wåhlin, 1949) framgår att små dammar ofta försågs med enkel träspont som slogs ned i grunden alternativt gjöts fast med en betongklack i grunden, se Figur 3.38. Större dammar, där påfrestningarna var större och således större risker för deformation, utfördes vanligt med betongskärm, stål- eller träspont. Träsponten bestod då av två eller flera sammanfogade lager spontad och ospontad plank. Spänningar orsakade av vattentrycket och av nedåtriktade friktionskrafter från sättningar i kringfyllningen resulterade i utböjningar. Infästningarna i grundläggningen var särskilt utsatt om inte detta hanterades genom speciella anordningar.

För att motverka röta i träsponten kringfylldes dessa med tätjord på båda sidor. Detta för att hålla träsponten fuktig. Det anges att den del av träsponten som sticker upp ovanför vattenytan kunde förses med en parapet (betongföljare) för att förhindra att trämaterialiet kommer i kontakt med luft. Uppströms betongssponter var det vanligt att "fet jord" utlades uppströms om skärmen för att finkorniga jordpartiklar skulle föras in i sprickor och fogar ifall betongen sprack (vilket den anges ofta ha gjort av olika anledningar). Jordpartiklarna tätade då betongskärmen (Wåhlin, 1949).



Figur 3.38 a) En lägre jorddamm med spont som förts ned till berg eller hård pinnmo. b) grundläggning av spont utförd med betongklack mot berg (Wåhlin, 1949).



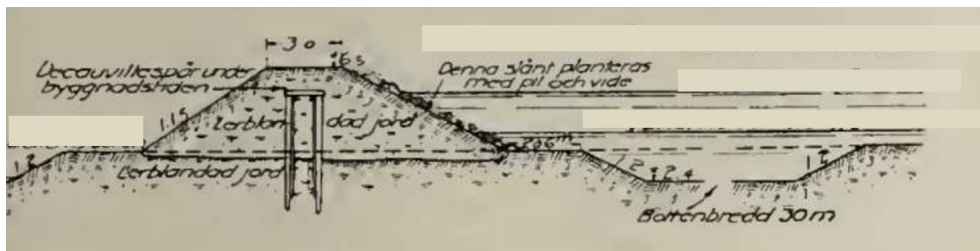
Figur 3.39 Exempel av sponthotens infästning (Wählin, 1949).

Fyllningsdammar med träspont

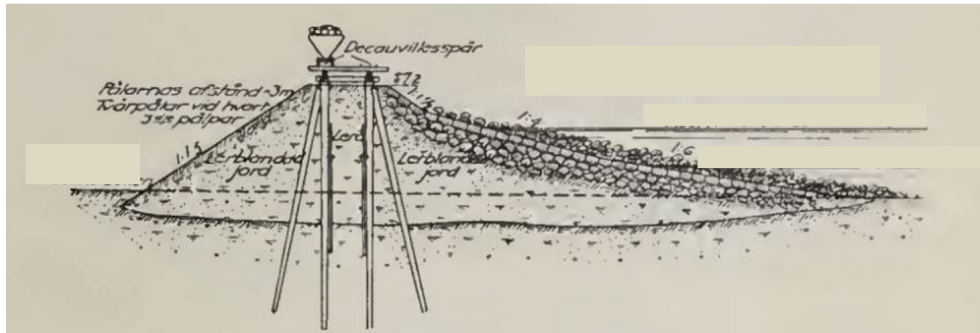
Fyllningsdammar med träspont är vanligt förekommande. Dammar har utförts med både liggande och stående plank och ibland en kombination av dessa. Emellanåt har hela dammen försetts med träspont och emellanåt har träspont använts för att tätta grunden eller intilliggande terräng/dammanslutning. Det förekommer också exempel där dubbla sponter utförts med tätjord som har fyllts emellan. Ett Energiforskningsprojekt om träspont i fyllningsdammar har utförts under 2022, rapport Energiforsk 2023:915 (Påhlstorp, 2023). Projektet initierades efter att flera dammägare under början av 2000-talet noterat att träsponterna i fyllningsdammarna delvis var i dåligt skick. Arbetet omfattar en sammanställning av tillgänglig information avseende historik, utformning, syfte och funktion, risker, möjligheter att bedöma träspontens skick och övervakning av dess funktion. Rapporten ger också exempel på riskreducerande åtgärder samt visar flera exempel från undersökningar som gjorts av träspont i fyllningsdammar.

Exempel 1

Av (Vattenbyggnadsbyrån, 1911) framgår vallbyggnader uppförda längs en kanal (Figur 3.40) samt vid kanalens slut vid en sjö (Figur 3.41). Dammen, liksom botten, anges bestå av lerblandad jord. Dammens kärna utgörs av dubbla spontväggar med puddellera emellan. Spontväggarna anges ha stöd av pålpar var tredje meter och försträvades vart tredje pålpar med tvärpålar. Pålarna upptog last från det spår som lagts på dammen för att kunna frakta material. Den tätande anordningen agerade fångdamm under utgrävning av kanalen och stampning av vällen. Uppströmsslänten anges planteras med pil och vide, dock utfördes dammens uppströmssida med kraftig stensättning alternativt stenuutfyllning för att förhindra vågerosion i de partier dammen är belägen vid en sjö. Uppströmssläntens lutning varierar mellan 1:1,5 och 1:6 (vid sjön). Nedströmsslänten har en lutning av 1:1,5. Krönbredden anges till 3,0 m.



Figur 3.40 Tvärsektion av kanaldamm (Vattenbyggnadsbyrån, 1911).



Figur 3.41 Tvärsektion av kanaldamm där den möter sjö (Vattenbyggnadsbyrån, 1911).

Exempel 2

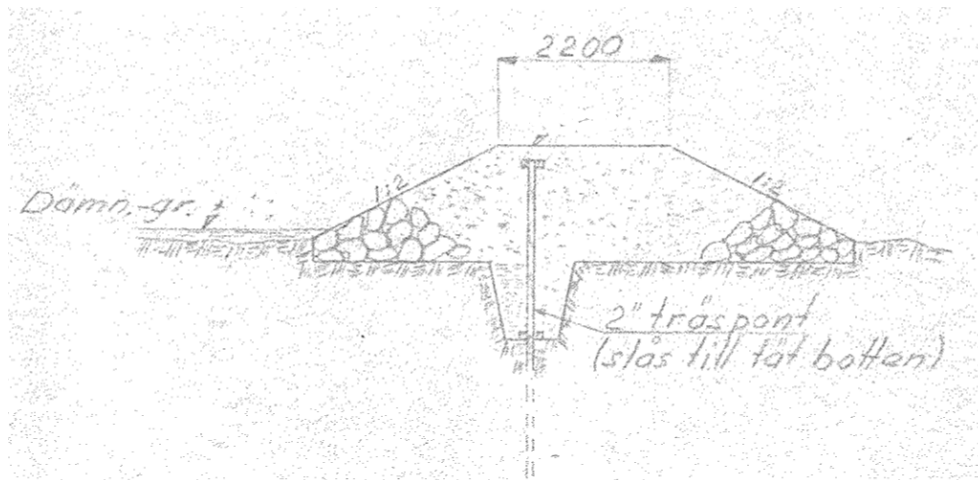
I (Delin, Höker-Berg, Borquist, & Cronvall, 1915) beskrivs en betongdamm där anslutning mot stränderna sker med fyllningsdammav med tätkärna av ältad pinnmo mellan träspontar. Krönbredden är ca 3 m och de stenkädda slänterna har utförts med lutningen 1:1,5. Det anges att där botten nedanför dammen utgörs av mäktigt lager pinnmo skyddas detta med träkistor fyllda med sten.

En beskrivning finns också av en fyllningsdamm utförd med enkelspont av trä med pinnmofyllning mot uppströmssidan av sponten. Krönbredden anges till 2 m och dammen anges ha en liten höjd över befintlig marknivå. Uppströmsslänten är utförd med en lutning av 1:2,5 och nedströmsslänten 1:1,5.

I handlingen beskrivs också att en kanal som går genom mark med sandslänter förstärkts med 0,7 m ältad pinnmo som frostskyddats av ett 1,5 m tjockt sandlager som beklänts med stenglacis. Det vatten som intränger genom sandbrinken anges hindras med spont bestående av två plankväggar utfyllt med ältad pinnmo.

Exempel 3

Av Figur 3.42 framgår en låg homogen fyllningsdamm med träspont i nedsänkt schakt med jordgrundläggning. Träsponten anges slås till tät botten. Filter saknas, dock har sten förlagts som en del av stödfyllning vid upp- och nedströmstån.



Figur 3.42 Homogen fyllningsdamm med träspont.

Exempel 4

Av (Bond, 2022) framgår en dammreovering som utförts efter att ett sjunkhål lokaliserats i en damm. En provisorisk lagning utfördes först genom att fylla igen sjunkhålet, men det bedömdes därefter att en permanent lagning var nödvändig för att undvika dammhaveri.

I dammen fanns centralt en träspont som visade rötskador och var i dåligt skick. Det bedömdes att läckage genom träsponten var orsaken till sjunkhålet. Träsponten revs bort och ersattes med en plastspont. Infästning mot betongkonstruktion utfördes med plattstål och en bitumenbaserad, elastisk vattenspärr. Sponten monterades från grävmaskinens skopa och kunde slås ned några decimeter i grunden. Tätjord packades runt sponten och skedde dels med padda, dels med platta monterad på bilhammare. Dammens uppströmsslänt förstärktes med ett erosionsskydd. Dammens nedströmsslänten förstärktes med först morän från fångdammskonstruktionen följt av filterskikt, övergångslager och stenblock. Av källan framgår foton och ritningsunderlag.

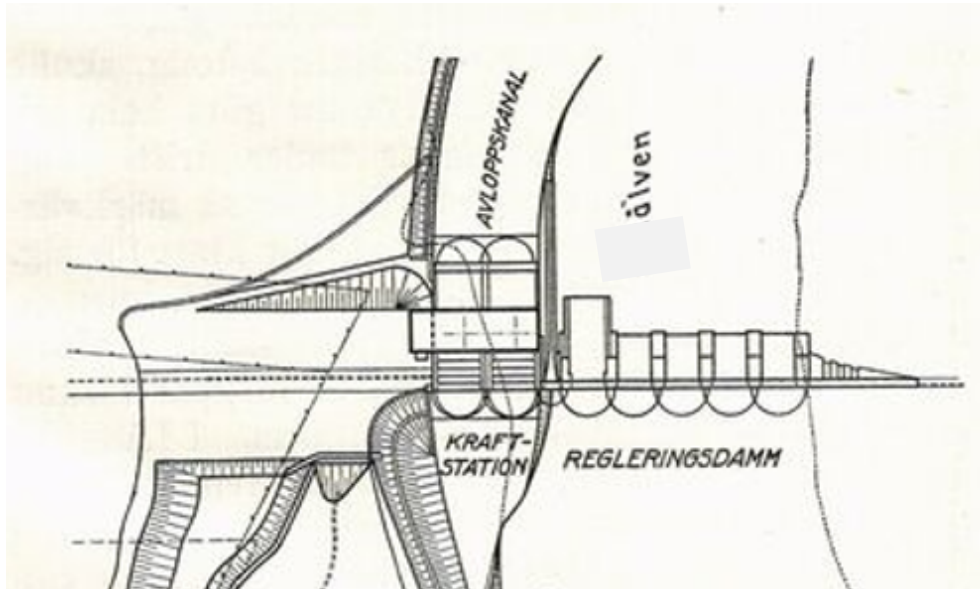
Dammar med stålspont

I många fyllningsdammar förekommer stålsponter som en del av dammkonstruktionens tätande del. Stålsponter förekommer ofta i fyllningsdammars anslutningar mot betongdammar, som en del i dammens grundläggning (se exempel i Figur 3.23) för att tätta grunden eller som en förlängning av tät kärnan i anslutande stränder/terräng. I arkivgenomgången för detta arbete har ingen permanent fyllningsdamm identifierats där den tätande delen/tät kärnan utgörs av enbart stålspont längs med hela dammen.

Exempel 1

I (Malmfors, 1939) beskrivs en dammanläggning där älvens stränder bestod av mjåla som underlagras av pinnmo. Då erosionsrisken för mjåla är stor bortschaktades mjålan vid dammens landfästen. För att erhålla täta anslutningar valdes en lösning med 25 cm betongskärm som gjöts mot berg. Längre in i

stränderna övergick tätningen från betongskärm till slagen järnspons genom mjälan (ca 15 m tjockt) till pinnmo. Vid den vänstra stranden var de geologiska förutsättningarna ogynnsamma och järnsponsen förlängdes ca 200 m från kraftstationen in i landfästet.



Figur 3.43 Dammanläggning med en ca 200 m stålspons i strandanslutning (Malmfors, 1939).

Fyllningsdammar med betongskärm

Av artikeln (Westerberg & Alm, 1946) framgår att den maskinella utvecklingen för att förflytta jord snabbt går framåt. Detta resulterade i ett snabbare utförande och ekonomiska besparing. Vid tiden för publikation rådde brist på byggmaterial, framför allt cement och byggnadsjärn, samt också arbetskraft. Jorddammar var därför att föredra då de krävde mindre byggmaterial som det rådde brist av samt att det inte krävdes samma yrkeskunnsighet på utförarna. Den dammtyp som byggdes vid artikelns publicering karaktäriserades av ett centralt placerat tätande parti av en tunn betongskärm tillsammans med ett uppströmsliggande lager av lera (eller annan tätjord). Det tätande skiktet omgavs av jord- eller stenmassor. Betongväggen utgjorde tätningsskiktet under den inledande tiden när en sättningsprocess pågick för tätjorden. Betongväggen utfördes tunn för att få den böjlig (men fortfarande tät) vilket medgav att betongväggen kunde följa den omgivande jordmassans rörelser under sättningsprocessen.

I (Westerberg & Alm, 1946) beskrivs fyllningsdammar uppförda med betongskärm mellan 1938 och 1946 (se exempel 3, 4 och 5). Det anges att dammtypen först kom till användning 1938. Av artikelns slutord framgår att fyllningsdammarna är försedda med en tätkärna av fast material (betongskärm), vilket valts för att hålla ned dammkroppens dimensioner samt på grund av att angränsningsmurarna mot utskoven därigenom blir måttliga. Även trygghetskänslan anges vara ett motiv till dammkonstruktionens utformning med betongskärm. Vidare anges att utvecklingen inom maskinteknik kommer att innebära billigare priser för jordförflyttning vilket bedömdes innebära att jorddammar skulle komma att

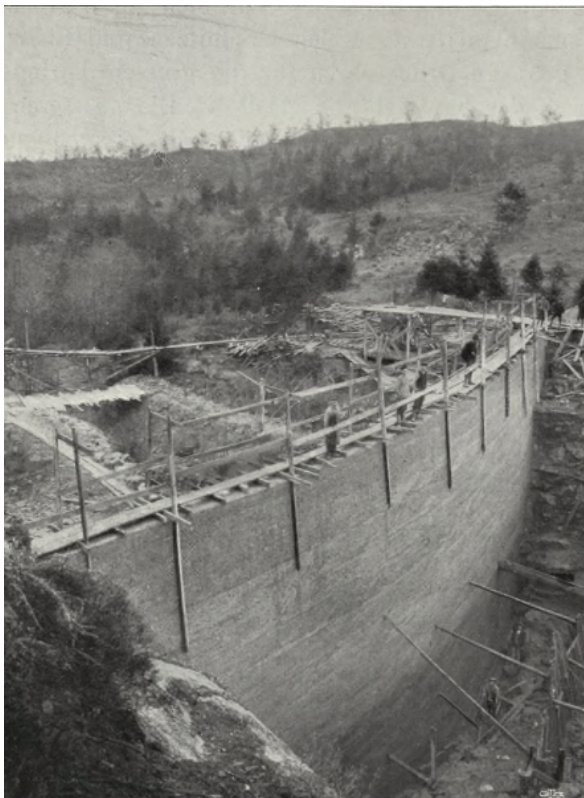
byggas utan tätande kärna av betong även i Sverige. Genom förbättring av jorddammstekniken kommer dammarna att kunna byggas billigare, men också på platser där grundförhållandena tidigare ansetts vara för otillräckliga.

En av författarna till artikeln påtalar att sättningar och förskjutningar i sidled alltid är att förvänta i en jorddamm. I sämre packade jordar blir sättningarna avsevärt större. Vid stora rörelser är det svårt att utforma sponter i jorddammar samt intill styva byggnadsverk (exempelvis ett utskovsparti). En spont bör konstrueras så att den kan följa med sättningarna utan att ta skada. Riskerna för ras och utglidningar är större i dåligt packade jordar. Rasorsakerna kan vara hastigt avsinkt vattenyta, markvibrationer av sprängskott eller bombkrevader i dammens närhet men också jordskalv.

I (Rosenqvist, 2018) finns ytterligare information om dammtypen. Av handlingen framgår också fler exempel.

Exempel 1

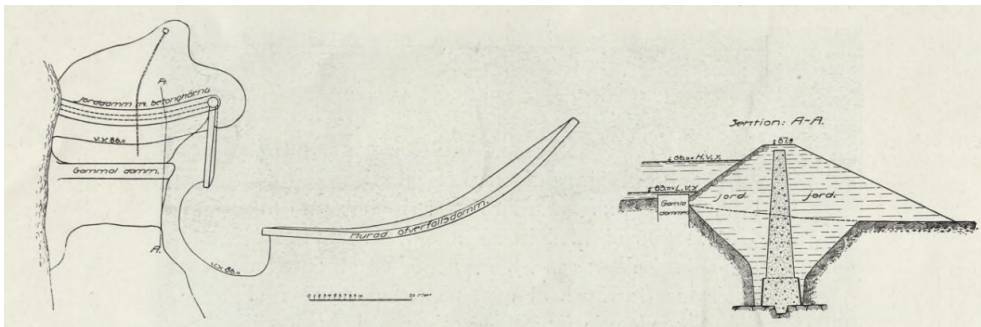
Av (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1910) framgår en 17 m hög fyllningsdamm som utförts med en lätt välvd betongskärm (Figur 3.44 - Figur 3.46). Till vänster ansluter betongskärmen mot berg och till höger mot en gjuten betongcylinder (till vilken ytterligare en dammdel ansluter åt höger). Betongskärmen omges av jordfyllning på båda sidor. Uppströmsslänten tycks vara skyddad med glaciis eller motsvarande stensättning. I övrigt saknar dammen filterskikt.



Figur 3.44 Foto från byggtiden, uppströmsvy (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1910).



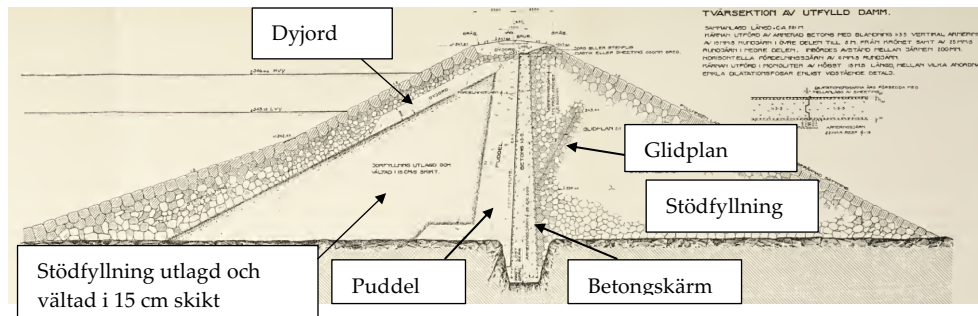
Figur 3.45 Foto från byggtiden. Nedströmsvy (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1910).



Figur 3.46 Plan- och tvärsnitt av dammen (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1910).

Exempel 2

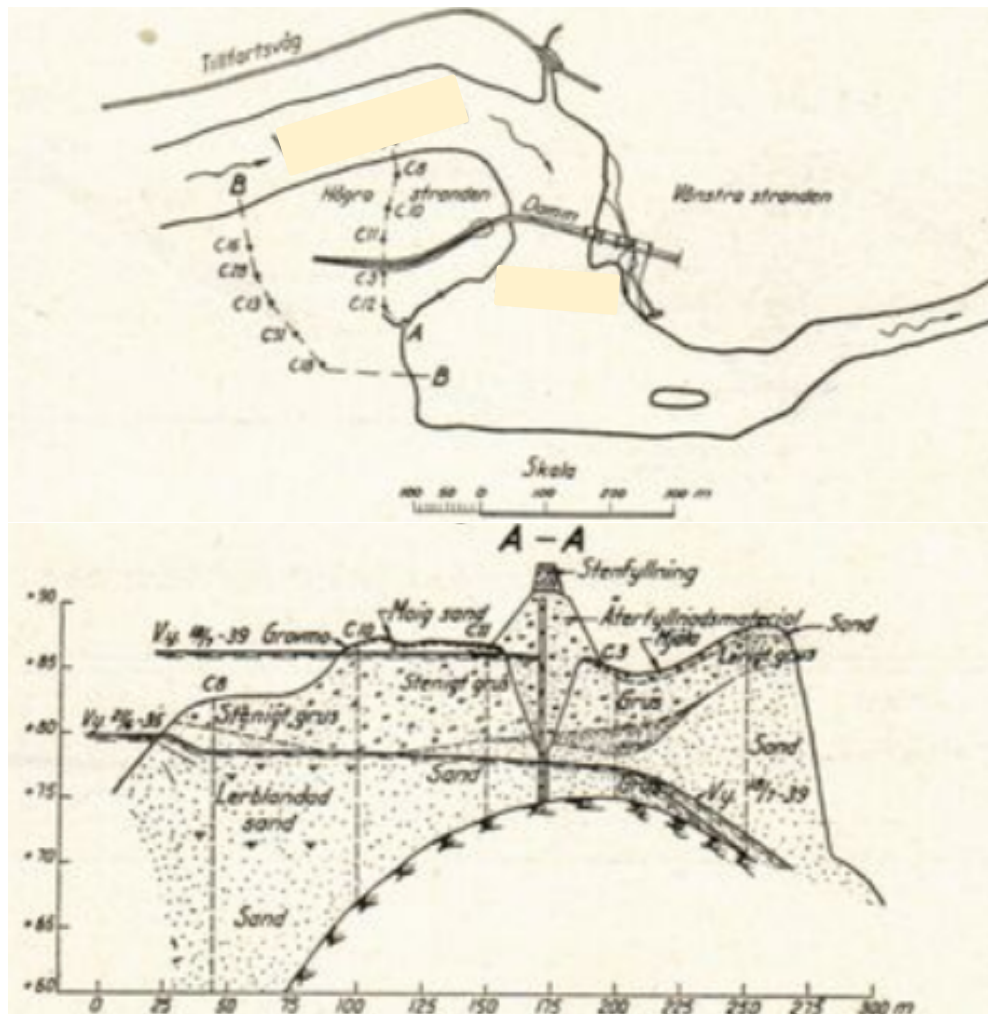
I (Westerlin & Borgquist, 1915) beskrivs en fyllningsdamm som konstruerats med en central betongskärm som grundlagts på fast berg. Betongskärmen är armerad och utförd i monoliter med maxbredden 15 m och mellanliggande dilatationsfogar. Betongskärmen anges vara avsedd att förhindra utskärning i och under dammen vid ojämna sättningar. Uppströms om betongskärmen samt också längs en sträcka mot bergytan har puddel utlagts. Uppströms om puddelskiktet finns jordfyllning som ältats och utlagts i 15 cm skikt. Inom regleringsamplituden finns dyjord utlagd mellan jordfyllning och erosionsskyddet som utgörs av stenfyllning. Dyjorden har funktionen att tjälskydda tätjorden som utlagts med stor omsorg. Krönets anges också bestå av dyjord där krönets yta (som används som väg) belagts med grus. I ritning anges gräs finnas intill grusvägen. Nedströms stödfyllning med lutningen 1:2 är utförd av stenfyllning med 3 % överhöjning. Stödfyllningen anges vara utförd med ett lutande glidplan för att vid eventuella sättningar i underliggande jordfyllning direkt överföra trycket från betongskärmen till stödfyllningen.



Figur 3.47 Fyllningsdamm med central tätskärn av armerad betong med uppströmsliggande tätjord av puddel samt tjälskyddande skikt av dyjord (Westerlin & Borgquist, 1915).

Exempel 3

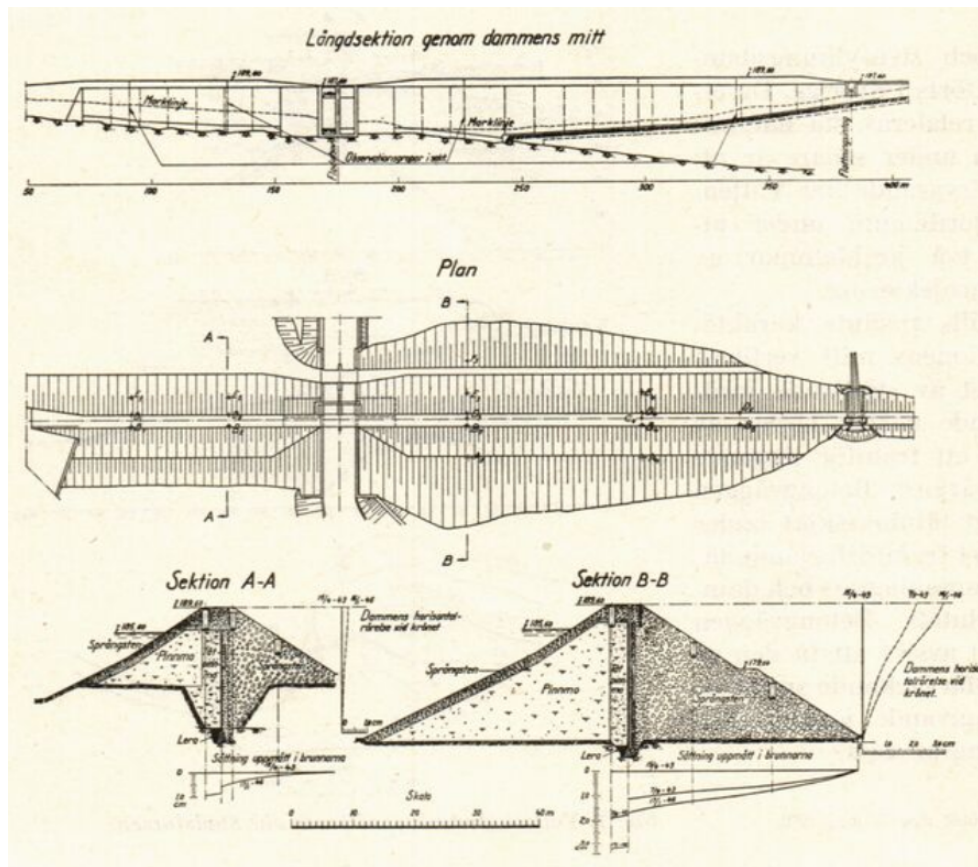
Av Figur 3.48 framgår en anslutningsdamm in i en strand som utförts med betongskärm. Betongväggen göts i längder om 20 m vilka sedan sammangjöts. Dammens längd uppgick till 250 m och dammhöjden till 18 m. Av ritning (Figur 3.48) framgår att betongskärmen omges av återfyllnadsmaterial samt att krönet försetts med stenfyllning. Ingen närmare beskrivning av jorddammsarbetet finns noterat i artikeln. Det anges att det finns ett läckage om ca 2 l/s i intilliggande mark som ej har ökat under de åtta år dammen varit i bruk. Vidare anges att det inte fanns något skäl till att befara att dammen läckte. (Westerberg & Alm, 1946)



Figur 3.48 Fyllningsdamm med betongskärm i höger strand (Westerberg & Alm, 1946).

Exempel 4

En 20 m hög och 400 m lång fyllningsdamm utförd med betongskärm togs i drift 1942 (Figur 3.49). Större delen av dammkärnan är grundlagd på berg i en nedsprängd grav i berget. Skärmen anges ha gott stöd från jordmassor som stampats mellan bergvägg och betongskärm. En mindre sträcka har grundlagts på lerig morän. Skärmens nedströmssida är motfylld med tunnelberg vilket omsorgsfullt vältats med tung traktor. Uppströmssidan är fylld med relativt tät pinnmo vilken också omsorgsfullt vältats. Dammen anges ha fått generösa dimensioner p.g.a. att det funnits överskott av tippmassor. Sättningarna i den berggrundlagda delen anges uppgå till 4 cm i vertikalled på uppströmssidan och ca 2 cm på nedströmssidan. I horisontalled anges sättningarna ha uppgått till 3 cm i den jordgrundlagda delen och ca 1 cm i den berggrundlagda delen. Läckageflödet anges vara "obetydligt" och uppgå till 140 l/min, varav en del kan vara naturligt grundvattenflöde (Westerberg & Alm, 1946).



Figur 3.49 Längd-, plan- samt två tvärsektioner från damm utförd med betongskärm (Westerberg & Alm, 1946).

Exempel 5

En damm med betongskärm togs i bruk 1944 och är i sin helhet grundlagd på morän (Westerberg & Alm, 1946). Dammhöjden är 12 m och dammlängden ca 200 m (se nedre tvärsektion i Figur 3.6). Betongskärmen är grundlagd/ställd på en järnspont som slagits ned ca 2 m djupt i den underliggande leriga moränen. Uppströms om tätskärmen har ältad lera lagts ut. Dammkroppen anges vara rikligt dimensionerad. Dammens sättningsförlopp anges ha varit oregelbunden. Tätskiktet anges ej ha rört sig i horisontalled, däremot har uppströmslänten förskjutits uppströmsåt. På några ställen har nedströmslänten förskjutits nedströmsåt.

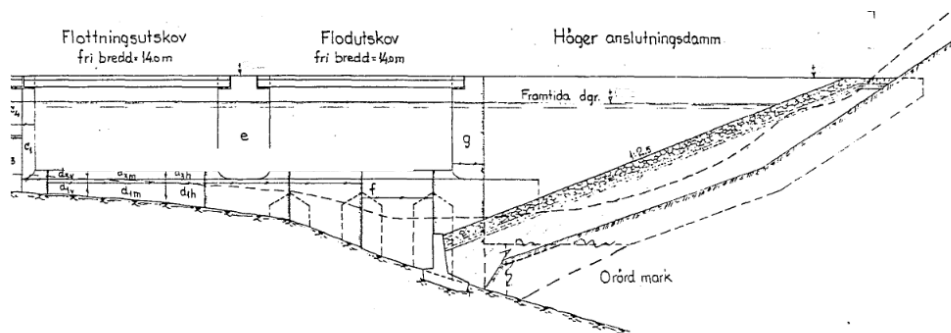
3.5.5 Strandtätning/-skoning och panur (tätmattna)

I Sverige finns många dammanläggningar där stränderna tätats och försetts med filter samt erosionsskydd uppströmsåt från dammläget. Detta har gjorts för att förlänga läckagevägen genom dammanslutningen mot naturlig mark (när spontning ej har varit möjligt eller valts bort av praktiska eller ekonomiska skäl) och utgör en del i den dämmande konstruktionen. Motsvarande tätningar har också anlagts uppströms dammläget längs med magasinsbotten i det fall grundläggningen har varit svår att utföra och få tillräckligt tät. Dessa

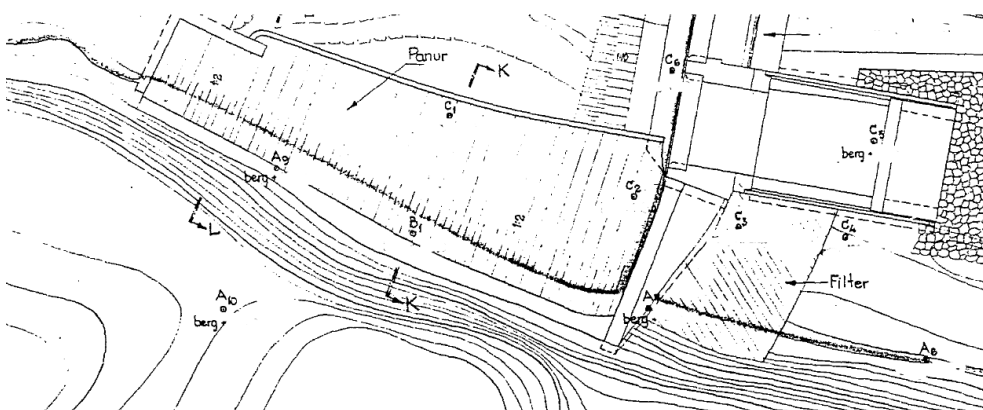
tätninganordningar kallas då vanligtvis för panur (en "tätmatta") vilket också utgör en del i den dämmande konstruktionen. Emellanåt används det engelska ordet blanket i stället för panur/tätmatta.

Exempel 1

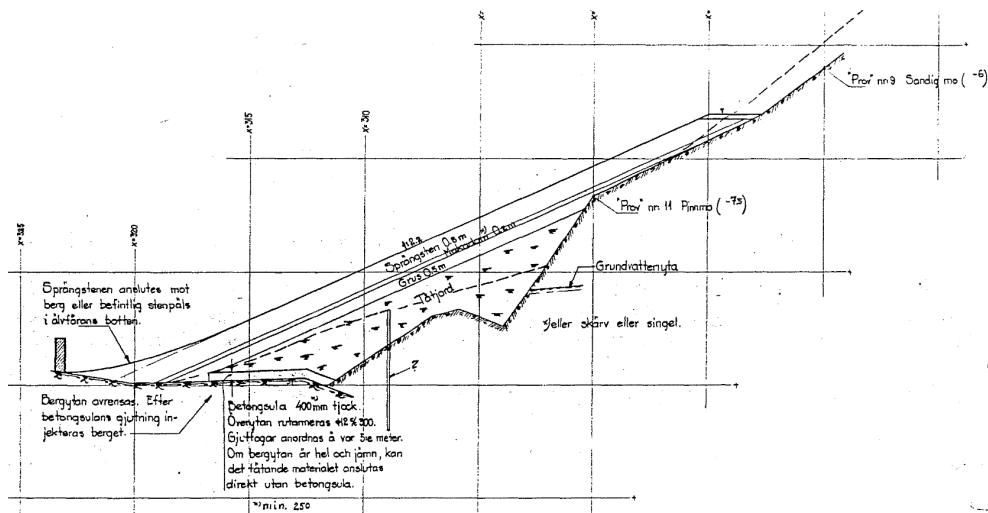
En ca 12 m hög strandskoning/panur finns uppförd längs ca 80 m uppströms om kraftstationens högra strand (Figur 3.50 - Figur 3.52). Stranden består av skiktade jordmaterial, bland annat nämns pinnmo och sandig mo i en schaktprofil. I ett borrhål framkom att jordlagerföljden uppifrån räknat var fin sand, sten, pinnmo, fin sand, lerblandad finsand, lerblandat grus och berg. Stranden kan således förväntas ha stora skillnader i egenskaper beroende på skiktning. Yttersta lagret av strandens jordmaterial har avschaktats. Närmast den avschaktade slänten är tätjord utlagd med varierande tjocklek. Därefter är ett 0,5 m tjockt filterskikt av grus utlagt, vilket följs av ett 0,2 m tjockt makadamskikt (alternativt skärv eller singel). Yttersta skiktet utgörs av 0,5 m sprängsten. Strandskoningens utförande är utförd med en lutning av 1:2,2. Panuren ansluts mot avrensat berg med en betongsula (vilken kunde avvaras i det fall bergytan var hel och jämn). Injektering utfördes i berggrundläggningen.



Figur 3.50 Uppströmsvy med panur mot höger strandanslutning.



Figur 3.51 Planvy av panur/strandtätning.

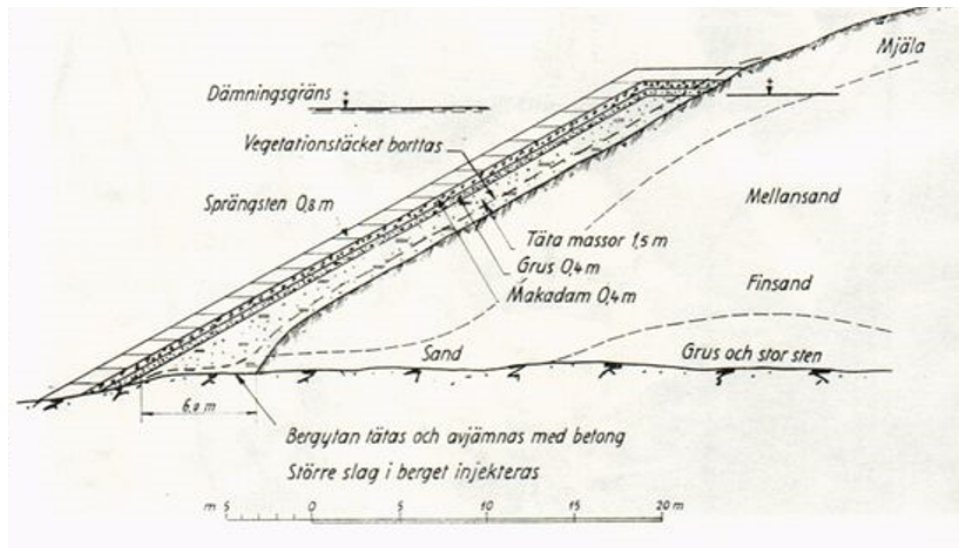


Figur 3.52 Detaljbeskrivning av strandtätning/panur.

Exempel 2

Av (Elfman, 1957) framgår en 150 m lång tätande strandskoning (Figur 3.53). Strandskoningen har anlagts mot en älvstrand där vegetationskiktet först borttagits. Strandskoningen består närmast stranden av en tätjord. Tätjorden har en bredd om 1,5 m i dess övre del och ca 6,0 m i dess undre del närmast berg. Mot de täta massorna har först grus (0,4 m) och sedan makadam (0,4 m) påförts. Ytterst finns ett lager sprängsten (0,8 m). Strandskoningen är utförd ned till berg. Bergets yta anges ha tätats med betong och större slag i berget har injekterats.

Stränderna består av olika jordmaterial. På båda sidor om älvfåran anges att berget är täckt med genomsläppliga jordar, vanligtvis med en mäktighet om 5 – 10 m. Längst till vänster finns tät morän som överlagras av mo. Dalgångens mitt utgörs av grus och sandavlagringar och högra sidan av en rullstensås där materialet i huvudsak består av mellansand. Åsen täcks av ett ca 1 m tjockt täcke av relativt tät material (mestadels finmo).



Figur 3.53 Strandtätning längs med en rullstensås (Elfman, 1957).

3.5.6 Spoldammar

I (Alin, 1921) omnämns att ett föredrag har behandlat spoldammar/hydraulisk schaktning (hydraulic fill). Ett 30-tal jorddammar anges ha uppförts i Amerika. Dammarna konstruerades genom att jorden lösgjordes med kraftiga vattenstrålar och att jordpartiklar transporterades med det rinnande vattnet från dalgångens sluttning via rännor till dammläget där finjorden avsattes i dammens mitt och utgjorde tåtkärnan. Det grövre jordmaterialet avstannade på båda sidor om tåtkärnan och utgjorde dammens stödfyllning. Dammarna anges vara särskilt tillförlitliga och ekonomiskt mycket gynnsamma. I (Wählin, 1949) anges att spoldammar uppfördes genom att jorden slammas upp i vatten som sedan spolas ut mellan sidovallar där jorden sedimenterar. Dammtypen har främst använts i Amerika och inte fallit väl ut och behandlas därför ej vidare i handboken BYGG. Dammtypen anges ej vara motståndskraftig mot jordbävningar "på grund av den inre kärnans halvflytande natur". I uppslagsverket (Nordisk familjebok, 1951) nämns att skyddsdammar (invalningsdammar) kunde utföras med dubbla spontväggar där mudderslam pumpas in (s.k. hydraulisk fyllning).

Inom detta projekt har inga spoldammar identifierats i genomgången och dammtypen hanteras ej vidare i rapporten.

3.6 GRUNDLÄGGNING

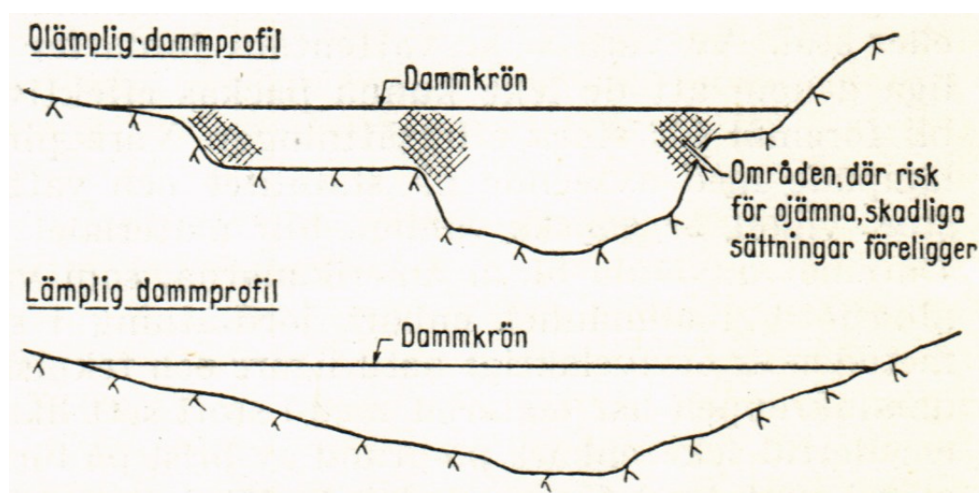
I följande avsnitt beskrivs de grundläggningssätt som noterats i arkivgenomgången. Antagligen har många olika variationer av grundläggning förekommit och anpassats efter lokala förutsättningar. Detta nämns i bl.a. äldre källor som (Rinman S., 1794) och (T.H., 1898).

3.6.1 Jordgrundläggning

Jorddammar anges i (Nordisk familjebok, 1906) vara mer lämpade att bygga vid jordgrundläggning ("lösare grund") jämfört med stenmurverksdammar. Flera av de identifierade dammkonstruktionerna visar på att schaktdiken grävdes ned till tät grund alternativt att spont slogs ned i grunden för att förhindra läckage. I många av de högre dammarna som finns med i denna rapport har tätkärnan försänkts och ansluter mot berg medan övriga dammkroppen jordgrundlagts. Grundläggningssättet förekommer också för lägre dammar. Nästan samtliga tvärsektioner av fyllningsdammar som insamlats under projektet visar att dammarna har någon form av nedsänkning i marken vilket kan visa på att markavtäckning utförts.

Grundläggningen ansågs i ett tidigt skede vara viktig för att undvika läckage och underskärning (inre erosion) av (Rinman S. , 1794). Det framgår också av denna handling att ett stort ansvar lämnades till byggherren och byggmästaren i samband med uppförandet av dammar. Det nämns bland annat att beslut om grundläggning, berg- och stenrensning, undanröjande av hinder samt anslutning av dammar mot stränder/mark behövde bestämmas. Motsvarande påtalas om flottningsdammar i (Melkersson, 1911). En erfaren person ansågs vara nödvändig för att bestämma hur djupt dammens grund skulle läggas för att ej riskera underskärning.

Av (Wählin, 1949) framgår att jorddammarna ansågs tåla sättningar i grunden bättre än andra dammtyper förutsatt att slänterna utfördes tillräckligt flacka. Grundläggningen var avgörande för om sättningsförloppet kunde ske jämt över dammen. Branta strandanslutningar och nivåskillnader i terrängen vid dammläget ansågs behöva släntas av innan dammen byggdes (Figur 3.54). Anslutningar mot betongkonstruktioner ansågs vara känsliga zoner där särskilt noggrant utförande krävdes. För att undvika sättningar ansågs det bästa sättet vara att packa jorden väl vilket ägnats stor uppmärksamhet i Amerika, men även i Sverige i slutet av 40-talet.



Figur 3.54 Dalgångens form är av betydelse för val av dammtyp. Lämplig respektive olämplig grundläggningsprofil från (Wählin, 1949).

Grundförbättringar som bottenrensning och avjämning av grundläggningsytan, pålning, spontning m.m. har varit känt under lång tid. Detta framgår av exempelvis (Rinman S. , 1794).

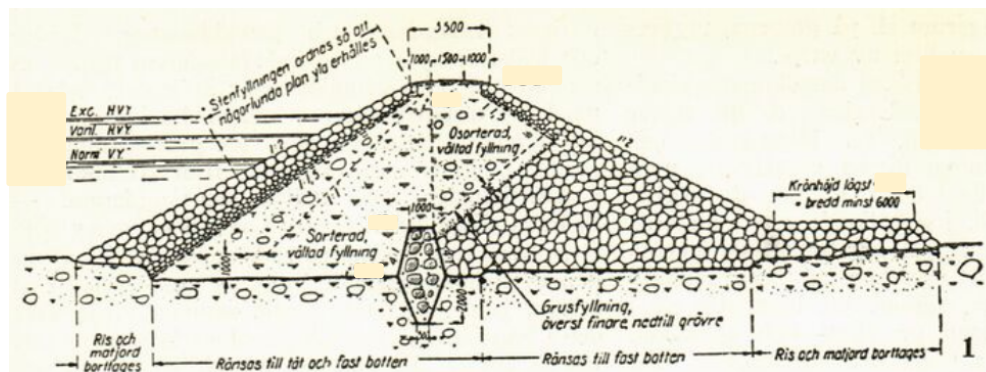
Spont

Spont har använts för att täta grunden under dammar. Sponterna har utförts av trä eller stål (emellanåt benämns även betongskärm som betongspont). I rapporten finns exempel på där sponten slogs ned i grunden (Se exempelvis Figur 3.42) samt exempel där stora schakter utfördes för att nå ned till berg för att sedan gjuta ett stöd för träsponten, se exempelvis Figur 3.56. Spontning har utförts under lång tid i samband med dammkonstruktion, se bland annat (Rinman S. , 1794).

I (Nordisk familjebok, 1906) anges att för de fall det tätande skiktet inte kunde nå ned till fast botten anordnades spontväggar som skydd mot inre erosion (underskärning).

Exempel 1

I (Nordisk familjebok, 1951) framgår ett exempel där dammen grundlagts på jord. Centralt i grundläggningen har en betongskärm placerats i övergången mellan tätjord och grundläggning, se Figur 3.55. I både dammens uppströms- och nedströmstå har ris och matjord bortschaktats. Övriga dammens grundläggning anges rensas till tät botten.

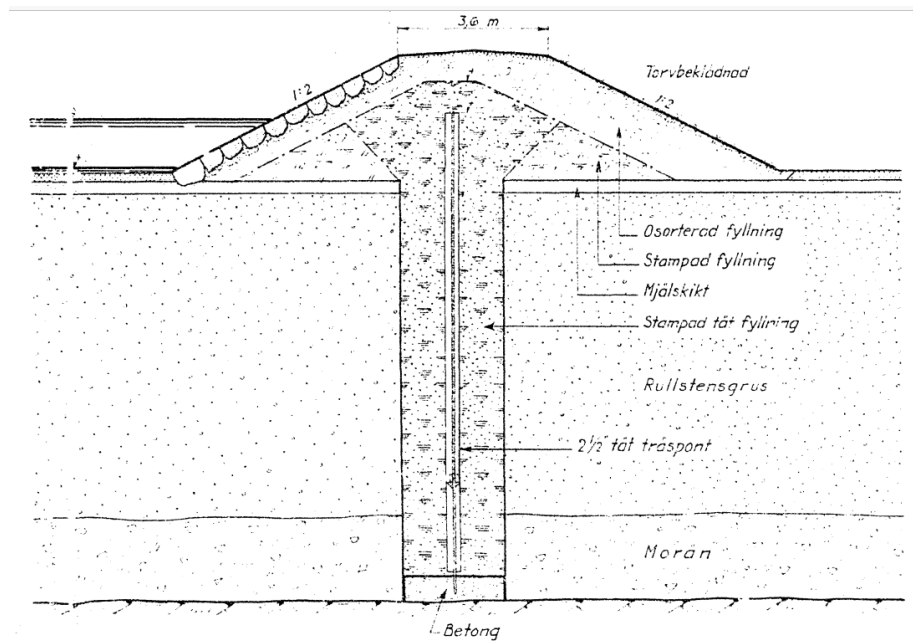


Figur 3.55 Exempel på jorddamm från (Nordisk familjebok, 1951).

Exempel 2

Av (Furuskog, 1939) framgår en anläggning bestående av en betongdamm där anslutningarna mot stränderna har utförts med jorddammar vars tätning delvis är utförda med träspont. På grund av det genomsläppliga jordmaterialet i stränderna och det stora djupet till bergytan utfördes jorddammarna med en betydande längd, 120 m på vänstra stranden och 50 m på den högra. En kärna om 2,5 m tjocklek nedfördes till berg som rensats och övergjutits med en betongplatta. En träspont gjöts in i betongplattan. I den nedre delen utfördes träsponten med stående plank för att kunna följa bergytan. I den övre delen ovan berg utfördes träsponten med liggande plank. Sponten omges av ältat tätt material från ett sidotag. Tätkärnorna

utfördes under en lång regnperiod vilket gjorde det svår att förhindra att materialet blev uppblött. Detta medförde att materialet inte kunde stampas för att erhålla tillräcklig fasthet. För att avhjälpa problemet tillsattes stenhjöl från makadamkrossning. Stenhjölet visade sig kunna absorbera det överflödiga vattnet i fyllningen. Resultatet beskrevs som en tät kärna vars nybehandlade yta knappt lämnade fotavtryck vid beträdande. Av Figur 3.56 framgår en tvärsnitt av fyllningsdammen.



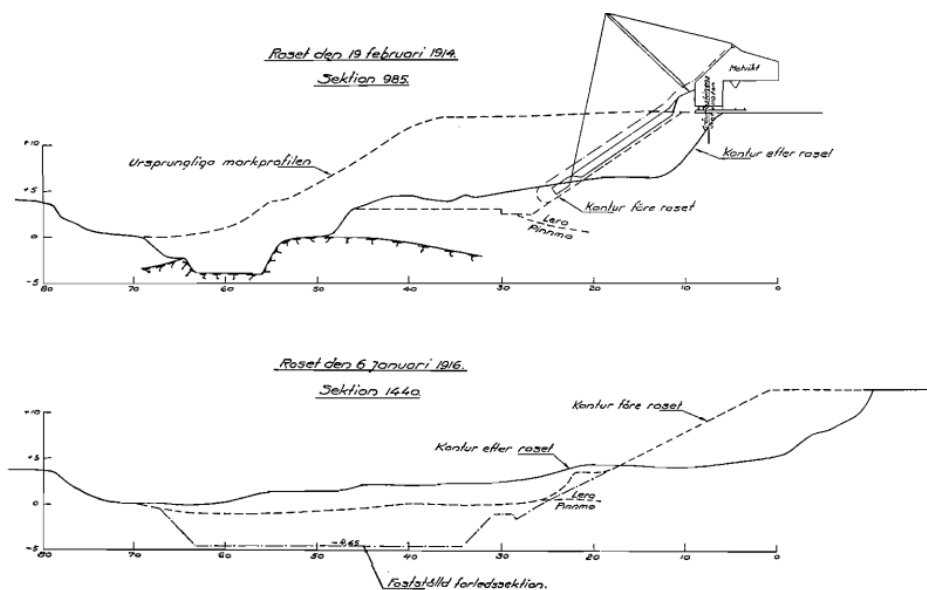
Figur 3.56 Dammslutning utförd med fyllningsdammar. Stora schakter har utförts för att föra ned träsponten och tätjord till berg (Furuskog, 1939).

Diamantborrning utfördes för att kontrollera bergets nivå och kvalitet. Av borrkärnorna bedömdes inledningsvis berget vara av god beskaffenhet, medan arbeten vid kraftstationen visade en helt annan bild. Sprängningar i berg gick ej att utföra då berget bestod av starkt veckad gnejsart som bestod av skivor med en tjocklek om ca 2–8 dm.

Exempel 3

I slutet av 1800-talet och början av 1900-talet byggdes ett flertal större och längre jordkanaler i Sverige som ännu är i bruk. Trollhättekanalen är en av dessa. Byggnationen startade 1909 och pågick under 7 år. Schaktarbetet vid Ström utfördes till stor del i lera. Den grävmaskin som monterats för schaktning, blev obrukbar efter ett ras i den höga jordslänten, se övre profil i Figur 3.57. Slänthöjden var ca 10 m och utfördes i lutning 1:1,5. Grävarbeten upptogs därefter för hand tills grävmaskinen reparerats. Ytterligare ras inträffade och geoteknisk markundersökning av leran utfördes. Den visade på över lag enhetliga lerlager med vattenhalt kring 43 %. Dock förekom längs en del sträckor tunna inlagringar av sand- och stenblandad lera med en mäktighet av 5–15 cm vilka hade lägre vattenhalt, kring 35 %. En ny rekommendation om släntlutningar på 1:2 lades fram

då en orsaksteori från ansvarig geotekniker var att risken att de mer permeabla lagren transporterar vatten vid regn till kanalslätten. Ytterligare ras inträffade under fortsatt arbete trots flackare släntlutning, främst i samband med avsänkning av vattenytan inför schaktning och i andra fall i samband med snabb snösmältning. Därefter rekommenderades och utfördes i stället 10 m breda avlastningsplan längs släntens sträckning vid schaktning. Ett nytt ras inträffade ca 2 år efter färdigställandet av kanalen där massorna blockerade farleden, se nedre profil i Figur 3.57. Denna gång beskrivs orsaken ha varit en torr vår som torkat ut de övre lerlagren så de börjat spricka upp. I sprickorna kom vatten från täckdiken vilket ytterligare utvidgade dessa. Grundläggningen hade utförts på lösa lermassor och därmed inträffade raset då överbelastning skett (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).



Figur 3.57 Två tvärsnitt som utsatts för skred 1914 (övre sektionen) och 1916 (undre sektionen) (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916). Den streckade linjen visar kontur före skredet. Den heldragna linjen visar kontur efter jordskredet. Längdskalan visar tiometers intervall och höjdskanalen visar 5 meters intervall.

Nedpressning

Vid en anläggning har det noterats att en grund av lera påförts stora mängder sten för att på så sätt förstärka grundläggningen av dammarna. Detta grundläggningssätt kallas för nedpressning. Av Exempel 1 och 2 framgår detta grundläggningssätt.

Exempel 1

I (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916) beskrivs grundläggning på lös grund. Det påtalas att dammen i flera omgångar fyllts på med sten från intilliggande schaktarbete. Stenbankens största sjunkning anges uppgå till 9 m. Stenkärnans totala mäktighet anges vara ca 17 m. För att erhålla en jämn sättningsprofil användes vid ett par sektioner dynamitladdningar under stenfyllnaden för att åstadkomma sättningar (med lyckat resultat).

Den påförda stenen orsakade sättningar och upptryckning av en ca 2–3 m hög lervall vilken var tvungen att schaktas bort då lervallen förhindrade fortsatta sättningar i grunden.

När dammen vid upprepade tillfällen fyllts på med sten och ej längre visade tecken på att sätta sig påfördes ytterligare material för att höja stenbanken ytterligare 2 m och framkalla sättningar (Figur 3.58). Nya sättningar uppstod då.

Dammens överhöjning samt delar av utrasade massor schaktades sedan bort. Dammens uppströmsslänt försågs sedan med en glacis (Figur 3.59). Sten tippades också nedströms om dammen. Efter utförda arbeten kunde inga ytterligare sättningar noteras.

I (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916) beskrivs dammen vara uppförd som en stenbank med uppströmssliggande tätning. I denna handling anges att den förnämnda dammen kunnat nedföras ca 10 m i det ca 20 m djupa lerlagret. Dammens tätning utgörs av plankspont på ett ca 20 m långt avstånd från stenbanken. Sponten avslutas något över högvattenytan. Sponten har stadgats i stenbanken med rundjärn (32 och 25 mm) och är motfylld med 1,5 m tjockt lager av välpackad pinnmo. Mellanrummet mellan pinnmon och stenbanken utfylldes med jord.

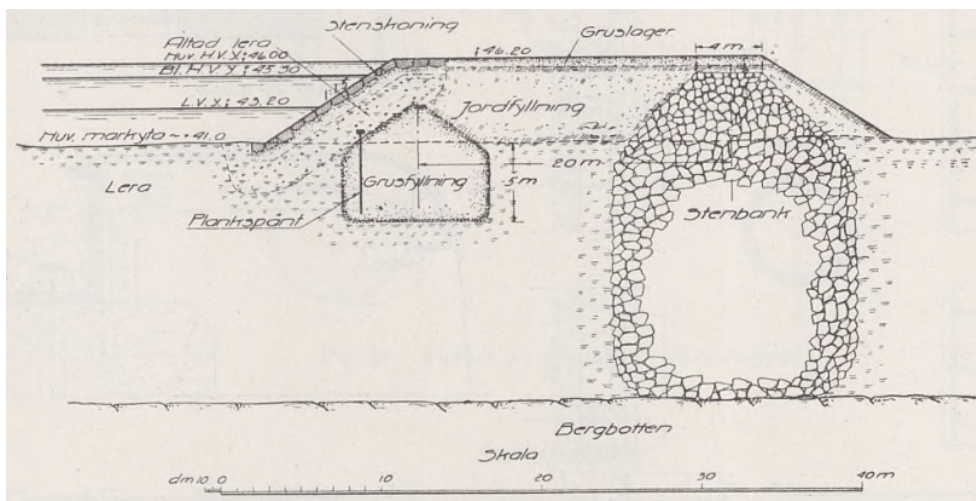


Figur 3.58 Påförda stenmassor för att framkalla sättningar i grunden (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).

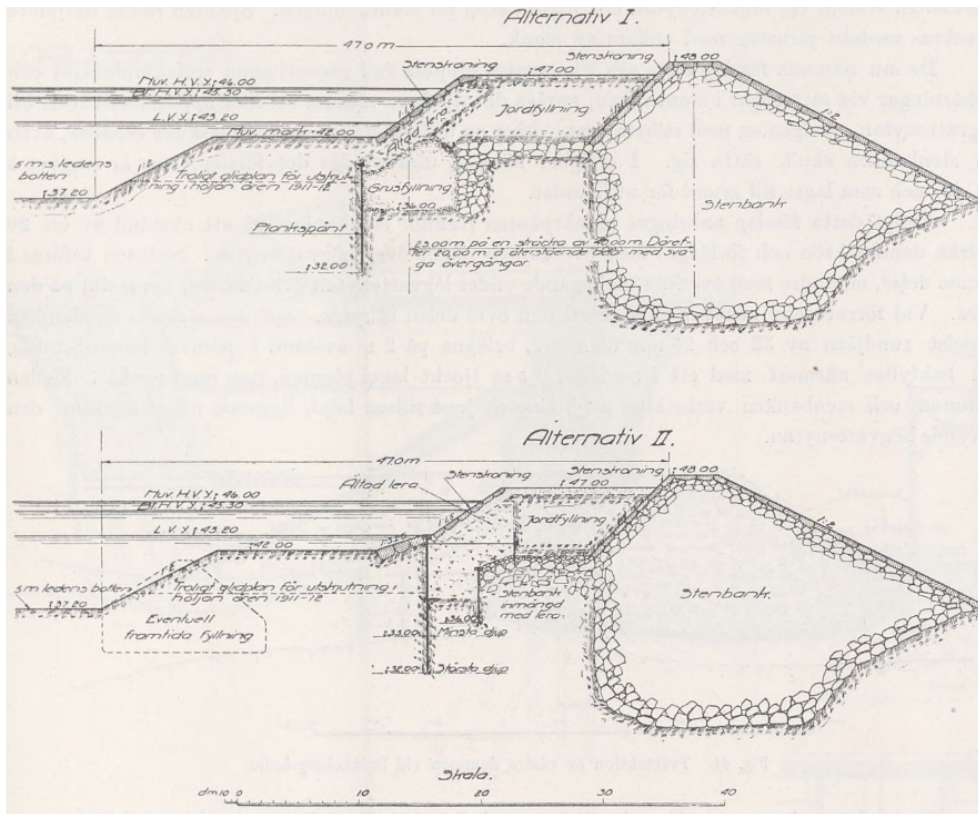


Figur 3.59 Glacisbklädd uppströmsslänt.

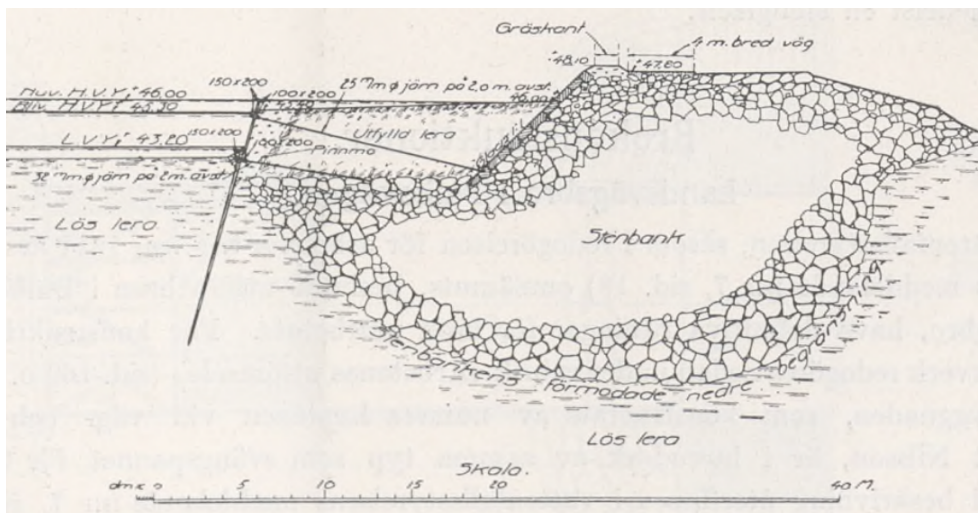
Av (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916) framgår att det arbetet utgick från att man utan problem skulle kunna nedföra stenbankarna till berg. När sättningarna avtog valde man i stället att försä dammarna med en extra tätning uppströms om dammen skild från stenbanken ifall sättningarna skulle fortsätta i läget för stenbanken. Ett första förslag framgår av Figur 3.60. I förslaget framgår att uppströmsslänten skulle förläggas med en lutning av 1:1,5 och förses med glacis. Dammkrönet skulle placeras i jämnhöjd med högsta vattenytan. Tätningen skulle utgöras av ett 2 m lager av ältat lera och föras ned i marken/botten. Förbindelsen mellan lerlagret och marken skulle förstärkas med plankspont som skulle slås genom en grusfyllning. Mellan grusfyllningen och stenbanken skulle jord fyllas. Då stenbanken ej kunde föras genom lergrunden ville man göra en främre tätningssanordning så hållbar som möjligt. Ytterligare 2 alternativ utarbetades (se Figur 3.61) innan slutlig utformning bestämdes (Figur 3.62). Dammkonstruktionen valdes utifrån att den skulle klara ytterligare sättningar i stenbanken utan att sprickbildning och utskärning skulle uppkomma. Sponten utfördes i två delar. En undre del med överkanten liggandes under lågvattenytan och en övre uppställd på den förra. Vid förruttnelse skulle då endast den övre delen behöva bytas ut. Sponten stadgades i stenbanken med rundjärn av 25 och 32 mm belägna med ett avstånd av 2 m i spontens längdriktning. Krönet anlades något över högvattenytan.



Figur 3.60 Ett första förslag till att utforma dammen (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).



Figur 3.61 Två alternativa förslag som var under diskussion (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).



Figur 3.62 Slutlig utformning av dammen (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).

Exempel 2

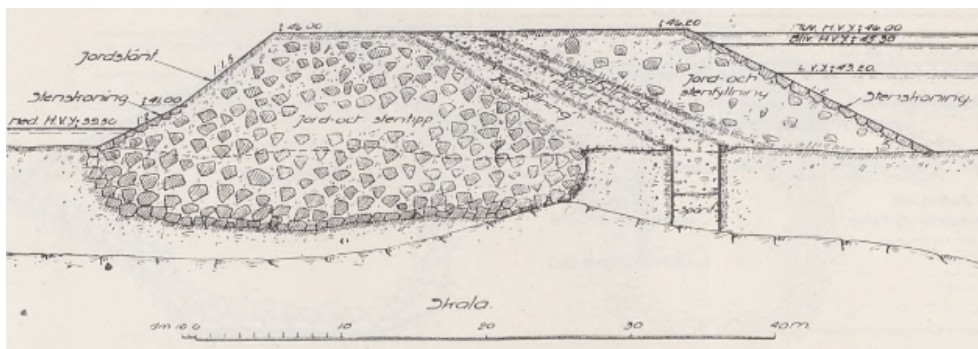
En intilliggande damm (till Exempel 1) grundlades på motsvarande sätt men i en uppmuddrad räna. En träspont av 100 mm och 125 mm tjocklek slogs ned i grunden framför stenfyllningen. Det nämns också att en bakre spont användes om 75 mm. Av Figur 3.63 framgår spontningsarbetet. I (Kungliga vattenfallsstyrelsen,

1916) beskrivs dammen vara grundlagd på lera som hade tillräcklig bärighet. Dammens tätning utgörs av ältad lera som i dess undre del placerats mellan två spontväggar som slagits till fast botten. Den övre delen av tätningen har lagts i lutning mot ett jordlager som lagts ut mot stenbanken.



Figur 3.63 Spontning vid "avstängningsdamm" från tidigt 1900-tal (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).

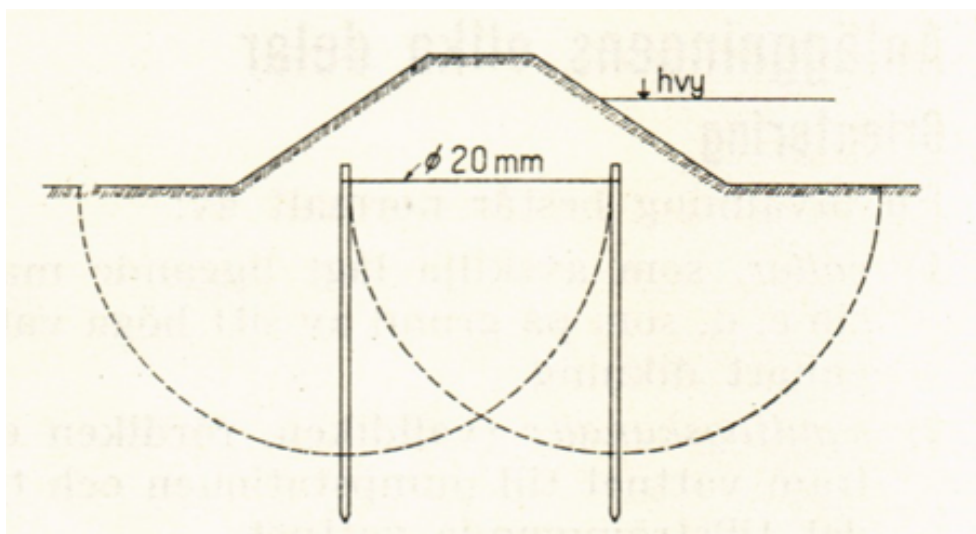
I (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916) visas dammen i tvärsektion, se Figur 3.64. Uppströms stenbanken nedslags två spontrader vars översta nivå avslutades under kanalens botten. Mellan spontraderna fylldes ältad lera. Det ältade lerlagret uppfördes i lutning 1:1,5 till stenbankens krön. Mellanrummet mellan stenbank och tätskikt utfylldes med jord. Uppströms om tätskiktet påfördes jordfyllning och därefter jord och stenfyllning. Uppströmsslänten skyddas mot urskärning genom en stenglacis.



Figur 3.64 Utformning a dam utförd av stenbank och uppströmsliggande tätning av lera. Grundläggning av tätskikt utfördes mellan dubbla spontrader fylld med ältad lera (Kungliga vattenfallsstyrelsen, 1916).

Pålgrundläggning

Inom ramen för uppdraget har enstaka exempel identifierats där pålning utförts vid jorddammar, se exempelvis Figur 3.41. I (Wählin, 1949) anges att i de fall vallen byggdes på lös undergrund kunde pålning vara nödvändigt. Pålningen utfördes i dubbla rader som bands ihop med rundjárn (20 mm), se Figur 3.65. Den glidyta som ansågs farligast erhöles genom att rita upp en halvcirkel med centrum i skärningen mellan påle och markyta och med avståndet mellan pålraderna som radie. Pålradieavståndet bestämdes så att marken kunde bära den utanför pålraderna belägna delen av vallen. Påldimension och pålavstånd bestämdes så att tvärkrafterna i pålarna plus tvärkrafterna i glidytan blir större än vallens vikt plus vattentryck.

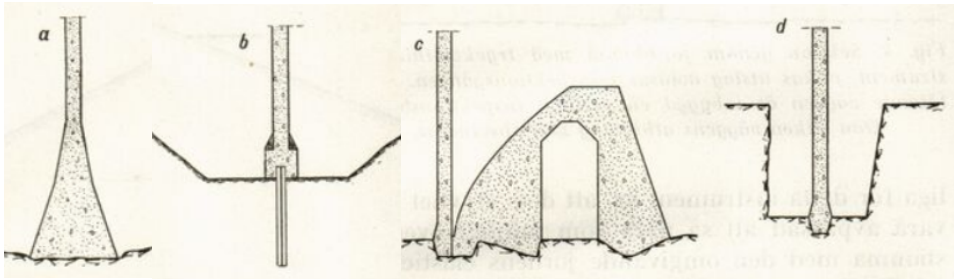


Figur 3.65 Pålning vid anläggning på lös undergrund. Farliga glidytor är markerade i figuren (Wählin, 1949).

3.6.2 Berggrundläggning

Av litteraturgenomgången har det framkommit ett antal exempel av fyllningsdammar där berggrundläggning utförts. Även när dammarna har försetts med träspont är det vanligt att dammarna grundlagts mot berg via en betonggjutning (Se exempelvis Figur 3.56). Även strandtätningar har anslutits mot berg via en betonggjutning (Se exempelvis Figur 3.53). I några fall kan noteras att den övre delen av bergytan rensats/sprängts för att tätt berg ska nås (se exempelvis Figur 3.46 och Figur 3.47). Vid vissa fyllningsdammar har avskärmningar s.k. chikaner använts för att förhindra vattenströmning mellan fyllningsdamm och berggrund.

I de flesta fall där betongskärmar ingår i konstruktionen har berggrundläggning utförts (Se avsnitt 3.5.4). För högre fyllningsdammar med betongskärm anges anslutningen mot undergrund vara den mest kritiska punkten. Till skillnad från de dammar som uppförts utomlands (med rörliga anslutningar) har de svenska försökts att konstrueras genom fast förankring i berget (Westerberg G., 1944). Av Figur 3.66 framgår fyra olika grundläggningssätt av betongskärmen.



Figur 3.66 Fyra olika anslutningar av betongskärm mot grund (Westerberg G. , 1944). Figur a visar en skärm grundlagd på berg. Figur b visar en skärm grundlagd på stålspons nedslagen i jord. Figur c visar en snävare betongskärm med stödklack (med inspektionsgång). Figur d visar en betongskärm som berggrundlagts i sprängd tätgrav för att nå fast berg.

3.6.3 Injektering

Vid mer moderna dammar förekommer både berg- och jordgrundläggning. För dammar av "äldre utförande" är det inte lika vanligt förekommande. Av (Ribbing, 1933) framgår att injektering med cement blivit vanligt för tätning av berg (samt "gamla utvaskade betongdammar"). Författaren nämner att injekteringen numera (1933) ska betraktas som ett ordinarie hjälpmedel inom vattenbyggnadstekniken.

Inom detta arbete har få exempel av fyllningsdammar (relevanta för projektet) identifierats där grundläggning injekterats. Injektering har utförts vid strandtätningar uppförda under ca 1950-talet, se avsnitt 3.5.5.

3.6.4 Rustbädd

Vid grundläggning av stenmurverksdammar var det vanligt att förstärka grunden med en rustbädd, se exempel i (Rinman S. , 1794). Vid anslutning mot stenmurverksdammar eller betongdammar kan fyllningsdammar vara ansluten till en rustbädd.

Vid flottningsbyggnader var risbäddar vanligt förekommande vid flottningsbyggnader. För exempel på risbäddar och stenkistor, se avsnitt 3.7.

I artikel (T.H., 1898) beskrivs trädammar som användes vid flottningsbyggnation. Detta kan ha ett intresse för även denna rapport som behandlar fyllningsdammar. Trädammar användes ofta för att förstärka grunden vid anläggandet av dammar, dock oklart i hur stor utsträckning de använts för fyllningsdammar. I artikeln beskrivs att dammläget bestäms och undersöks. Om den är fast och består av grus och sten avjämnades endast botten med hjälp av sprängning, borttagande av stenar och dylikt samt utfyllning av håligheter/ojämnheter (s.k. "grubbor"). I de fall botten var "lös och dålig" gjordes ett schaktdike vilken kunde fyllas upp med ris och grus tätt i hoppackade eller att dammens timmerväggar utfördes på fast grund och att timmerväggen uppströmssida försågs med grus. Schaktgraven gjordes då minst 6–7 fot bredare än dammens bredd. I stränderna där dammen anslöts schaktades 6–8 fot ut med samma lutning som vattendraget (åbredden) för att timringen skulle få ett säkert landstöd. Timringen utfördes med friskt barkat timmer. I dammens längdriktning skulle grund-/bottenstockarna läggas i två (alternativt tre om dammen skulle bli hög) rader. De yttersta raderna var avsedd för att börja dammens ytterväggar (dammbredden) och skulle utföras lika stor som

dammhöjden (eller minst 4/5 av dammhöjden). Stockarna skulle vid behov skarvas säkert. Över grundstockarna timrades dammen enligt samma förfarande som vid hustimring där också den främre timmerväggen skulle "dragas väl" samt "mossas." Nedströmssidan kunde byggas av klenare virke och behövde ej tätas med mossa. I artikeln beskrivs ytterligare hur timmerkonstruktionen skulle utföras. När timringen avslutats fylldes kistan med sten. Mot uppströmssidan utfylldes håligheter med fint ris, mossa varpå grus och jordfyllning utlades till andra varvet av timringen uppifrån räknat. Fyllningen skulle läggas i en lutning om 40° och vara väl tillspetsad och -packad. Utskovsöppningen drogs uppströmsåt så att jordfyllningen ej skulle erodera bort.

Exempel 1

I arkivgenomgången har ett exempel framkommit där en "renodlad" fyllningsdamm bedömts vara grundlagd med rustbädd. Av (Bennström, 2014) framgår att en fyllningsdamm, konstruerad omkring år 1700, grundlagts på rustbädd. Efter ett dammhaveri undersöktes en liten del av fyllningsdammen. Dammen bedömdes ha grundlagts på timmerkonstruktion (liggande rust) med grus, sand (också kallat morängrus) och slaggfyllning. Dammen anges bestå av stenblock och fyllnadsmaterial. Även slagg anges förekomma i fyllningsdammen. Det anges som troligt att dammen genomgått många reparationer och förbättringar genom åren. Foto av rustbädd och fyllningsdamm framgår av rapporten.

3.7 DAMMANSLUTNINGAR

Fyllningsdammarnas anslutning mot intilliggande betongkonstruktion eller anslutande terräng är viktiga att beakta för att undvika att läckage uppstår. I många fall har anslutning mot betongdamm gjorts med spont av trä, betong eller stål. Anslutning mot terräng med jord har ofta utförts med spont, se exempelvis Figur 3.43. Ett annat sätt att utföra anslutningar mot intilliggande terräng har varit att utföra en förlängning av tätningen längs med stränderna, i denna rapport kallat för strandtätning, se avsnitt 3.5.5. För fyllningsdammars anslutningar har en Energiforsk-rapport framtagits innehållande utformning, möjliga skador, detektion och åtgärder, se rapporten (Lagerlund & Nilsson, 2020).

Av (Wåhlin, 1949) nämns att i de fall dammen behövde förses med utskov ansågs fyllningsdammen vara olämplig då risken för ras och urspolning vid anslutningarna mot utskoven vara svår att hantera. Om utskoven inte kunde placeras utanför fyllningsdammen ansågs att fyllningsdammskrönet skulle förläggas högre än betongdammens krön för att förebygga överspolning till följd av vågor eller högflödessituationer.

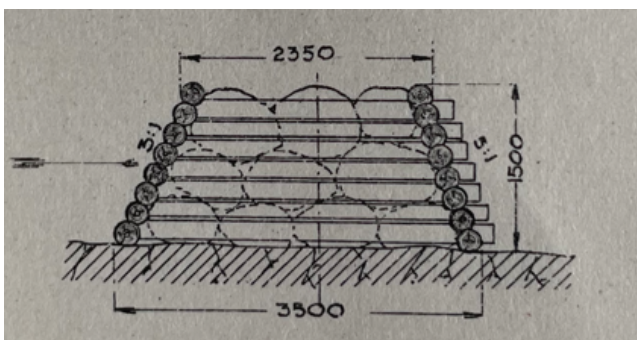
I (T.H., 1898) beskrivs två konstruktioner som byggdes för att förhindra skärning av vattendragets stränder eller för att minska vattendragets bredd och öka dess djup i samband med flottningsbyggnation. Dessa gjordes som stenkistor eller riskistor.

Stenkistor var vanligt förekommande i varje flottningsled. Vanligtvis byggdes dessa längs med stränder med grundare partier där timret riskerade att fastna samt vid storsteniga stränder med uppströmsliggande krökar i vattendraget. Botten där

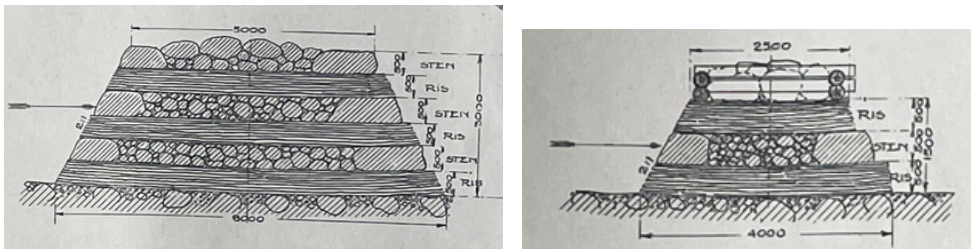
kistan skulle uppföras gjorde så jämn som möjligt. Grundstockarna utlades med samma bredd som stenkistans tänkta höjd. På grund av strandens lutning utfördes ofta stenkistans bakvägg något lägre än framväggen. Framväggen utförde något lutande för att förhindra att den skulle stjälpas in. Stockarna i framväggen anpassades väl mot varandra och tätades. Anpassningar av kistans utförande gjordes vid behov om grunden var svår att få jämn eller om vattendraget krökte mycket. Oavsett anges att det var viktigt att kistan följer botten varför ofta en risbädd utlades under timringen. Skarvar i timringen fick ej komma över varandra vilket kunde leda till att kistan lätt gick av. Varje stock skulle förses med trädymlingar i dess ändar. I stället för bakvägg kunde trekantiga kar där "bettingarna" högs in i framväggen och ihoptimrades där bakväggen skulle varit. De trekantiga karn var lättare att bygga där stränderna är höga och stenrika samt då platsbrist rådde för utförande av bakväggen. Emellanåt utfördes stenkistor utan bakvägg eller trekantsskar. I stället fylldes sten direkt på "bettingarna" som ej var ihoptimrade. Stenarna för fyllning av stenkistor togs lämpligen från botten av vattendraget där det ansågs finnas gott om lösare stenar.

Riskistor (eller risvasar) anges användas i lugnare vattendrag för att göra vattendraget trängre och dels genom att skydda sand- och grusnipor mot utskärning. Riskistorna fick ej anläggas för tvärt mot vattendraget utan skulle anläggas parallellt med vattendragets riktning. Riskistor konstruerades av ris från löv- och barrskog. Botten byggdes bredare än kistans höjd och anlades i ca 40° snett nedströmsåt för att timret ska kunna glida fram lättare. Riskistorna skulle helst byggas i skikt med jord eller grus. Vasen skulle konstrueras högre än vad som behövdes då den förväntades sätta sig efter något år. Ovanpå riset lades ett par slantar som belastades med sten. Ofta, framför allt i krokiga vattendrag där timret riskerade att ledas in i vasen, timrades en 2–3 "varv" hög timmerkista med bakvägg ovanpå riskistan. Om riskistorna byggdes omsorgsfullt med jord och sand bland riset samt om vattendraget flöt genom lösa strandbäddar kunde uppslammad lera och jord föras in i riskistorna. Dessa blev då mer lik fasta jordvallar som kunde hålla ihop längre än andra träbyggnader. Riskistorna var billiga och ansågs av författaren att de borde användas mer.

I boken (Näslund, 1915) beskrivs träkistor (stenkistor) och risarmer, se exempel i Figur 3.67 och Figur 3.68.



Figur 3.67 Sektion av träkista (Näslund, 1915).



Figur 3.68 Sektioner av risarmar (Näslund, 1915).

Exempel 1

Ett dammhaveri uppstod i en fyllningsdammsanslutning till ett utskovsparti av stenmurverk. Dammen bedömdes vara uppbyggd som homogen och ingen spont fanns vid anslutningen mot stenmurverket. En rustbädd noterades vid grundläggning av murverksdelen. En trolig felorsak till haveriet bedöms vara tjälning. Andra förklaringar bedömdes kunna vara inre erosion p.g.a. läckage genom intilliggande murverk eller inre erosion genom fyllningsdammen.



Figur 3.69 Uppströmssida av dammens utskovsparti och fyllningsdammsanslutning (foto till vänster) och vänster nedströmssida (foto till höger).



Figur 3.70 Haveriöppning med utfyllnadsmassor. Foto taget från vänster fyllningsdamm.



Figur 3.71 Foto av dammhaveri. Uppströmsvy.

3.8 BESTÅNDSDELAR

I detta avsnitt beskrivs de främsta beståndsdelarna som ingår i de för projektet aktuella fyllningsdammarna. I kapitel 2 framgår viss nomenklatur och andra förklaringar.

3.8.1 Tätande skikt

I (Westerberg G. , 1944) nämns att de grävmaskiner som kom till bruk i Sverige före 1920-talet var lämpliga för schaktning i sand och lera, men ej för hård pinnmo. Under 1920-talet utvecklades maskintekniken och transporttekniken till den typ som var modern vid artikelns publicerande (1944). Det påtalas att det ej fanns stor erfarenhet av höga jorddammar i Sverige. Det anges att täta jordar som använts till dammbyggen utomlands ej fanns i Sverige (åtminstone i Norrland). De jordar som

är tillgängliga för dammbyggen nämns vara morän, grus, sand, mo och mjäla samt att lerig morän och lerig mjäla kunde påträffas. Det anges vidare att vissa jordarter genom sällning kunde ge relativt täta jordar, men att de ej var pålitliga som tätmaterial varför det ansågs att tatkärnan skulle utföras med spont eller skärm av trä, järn eller betong. Det anges att Vattenfallsstyrelsen riktat in sig på en konstruktion bestående av två stödjande jordvallar med ett tätande mittparti (som ditintills ställts vertikalt).

Inre sättningar uppkommer och är som störst i samband med byggnadstiden och relativt snart efter uppdämning. Sättningarna anges avta med tiden men kan pågå i flera decennier. I ordnad och välvattnad stenfyllning anges sättningarna vara obetydliga medan tippad stenfyllning ger stora och oberäkneliga sättningar. Sättningar i sand sker förhållandevis snabbt medan sättningar i lera sker mycket långsamt. I de fall dammen inte packades noggrant kunde sättningar ge upphov till läckage eller utglidningar. Sättningar i dåligt packad friktionsjord anges uppträda "språngvis" med kortare eller längre tidsintervall mellan sättningarna, dvs ej kontinuerligt (Wåhlin, 1949).

Morän

Morän har i stor utsträckning använts som tätande material, framför allt i fyllningsdammar utan tätskärm och spont efter 50-talet. Tidigare har morän ofta kallats för pinnmo. I Sverige finns många exempel (flertalet) på dammar där morän ingår i det tätande skiktet eller utgör själva tatkärnan. Aktuella riktlinjer (RIDAS) har tydlig vägledning om kravställning på moränen vid nybyggnation av dammar. Inom arbetet med denna rapport har få exempel påträffats innan ca 50-talet där dammens tatkärna utförts med pinnmo utan spont eller skärm. Ett antal homogena morändammar av "äldre utförande" har dock noterats i genomgången.

Svenska "pinnmoarter" beskrivs i (Wåhlin, 1949) som lämpliga sett till stabilitet och täthet. Om blockhalten var för stor vilket också var vanligt förekommande, ansågs den ohanterlig och kostsam att använda.

Lera

I fyllningsdammar av "äldre utförande" är lera vanligt förekommande som tatkärna, framför allt vid invallningar och kanaler (se avsnitt 3.5.3). Även i vattenkraftsammanhang förekommer lutande tatkärnor av lera, se exempelvis Figur 3.25 och Figur 3.29. Ofta anges leran vara ältad eller puddlad, ibland tillsammans med ett annat jordmaterial för att uppnå önskad egenskap. I några fall anges dammen vara i sin helhet uppförd av lera, men oftast ingår leran som det tätande skiktet i dammen.

I arkivgenomgången har följande noteringar om lera gjorts:

- Av de svenska jordarter som är täta anges att leror och leriga mjälor är olämpliga eftersom de inte kan packas effektivt och att stora sättningar kunde förväntas (Wåhlin, 1949).
- Det nämns i (Plass, 1933) att god lera är sällsynt i Norrland. Däremot anges att mjäla förekommer i större utsträckning. Mjälan anges ha tillräckligt

tätande egenskaper vilket visat sig från laboratorieprov samt av erfarenhet fram dammbygget.

- I (Westerberg & Alm, 1946) framförs att lera ej är ett bra jorddamms-material. Det anses svårt att packa och sätter sig mycket samt kan vålla farliga glidytor. I en tät kärna bedöms det därför bättre att ha en pinnmo med så liten lerhalt som möjligt.
- Jordarter med "lerkaraktär", kohesionsjordar var svårare att packa (Westerberg & Alm, 1946). De anges konsolidera under stora tryck. Lämpliga maskiner anges vara hoppande packningsmaskiner, släta vältar, och gummihjulsvältar (anges påbörja marknadsföras i Amerika).

Tätskärm av betong

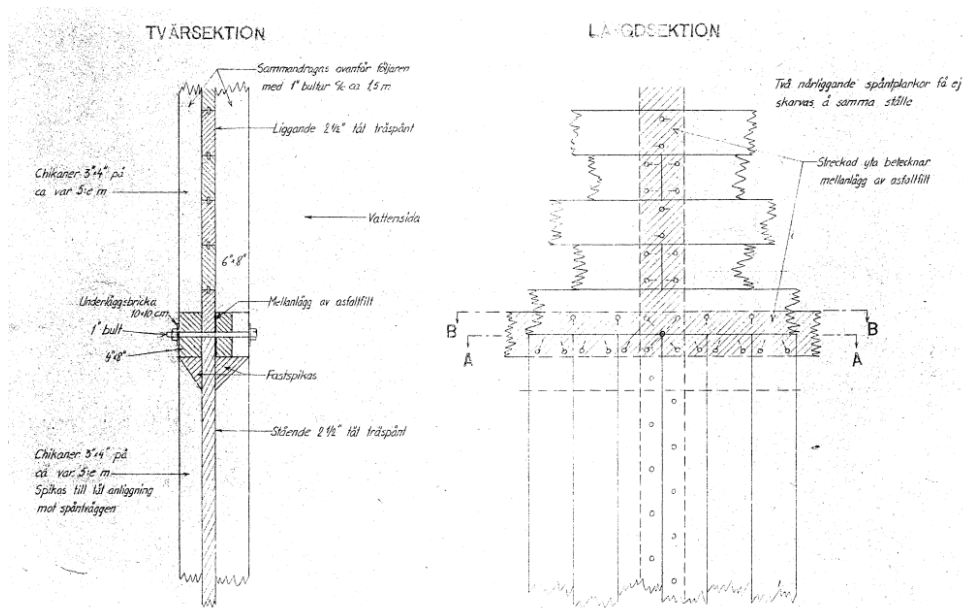
Tätskärmar i fyllningsdammar var vanligt i svenska fyllningsdammar innan ca 50-talet då kunskapen om packningsmetodik blev bättre vilket ledde till att tätskärmen kunde frångås helt i högre dammar. Under en period från 1936 till ca 1950 utfördes ett flertal högre fyllningsdammar med betongskärm. Inom detta arbete har dammar uppförda med betongskärm noterats från början av 1900-talet och fram till 1950-talet. Tätskärm av betong benämns ibland som betongspont. Av avsnitt 3.5.4 framgår exempel av dammtyp och av avsnitt 3.6.2 framgår något om grundläggning av betongskärmen.

Ytterligare information om dammtypen finns att hämta i bl.a. (Westerberg & Alm, 1946), (Westerberg G. , 1944), (Löfquist, 1987) och (Rosenqvist, 2018).

Träspont

Träspont är mycket vanliga i fyllningsdammar av "äldre utförande". Dessa förekommer centralt i dammen, i dammanslutningar samt i grundläggningen. Emellanåt förekommer dubbla träspont som fyllts med tätjord i samband med grundläggning. För ytterligare information om träspont i fyllningsdammar hänvisas till rapporten Energiforsk 2023:915 (Påhlstorp, 2023).

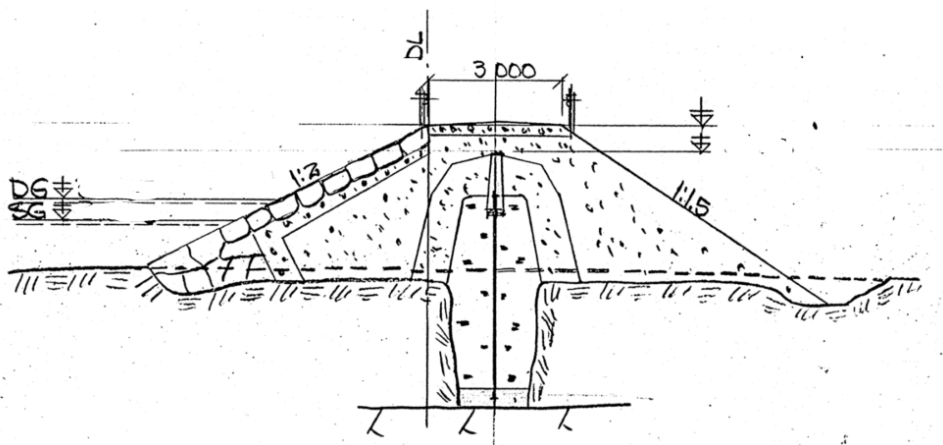
Av Figur 3.72 framgår ett exempel av en träspont vars undre del utförts med stående spont för att kunna följa bergnivån. Den övre delen är utförd med liggande spont. I ritningen anges också att chikaner (3"4") ska spikas var femte meter till tät anläggning mot spontens nedströmssida.



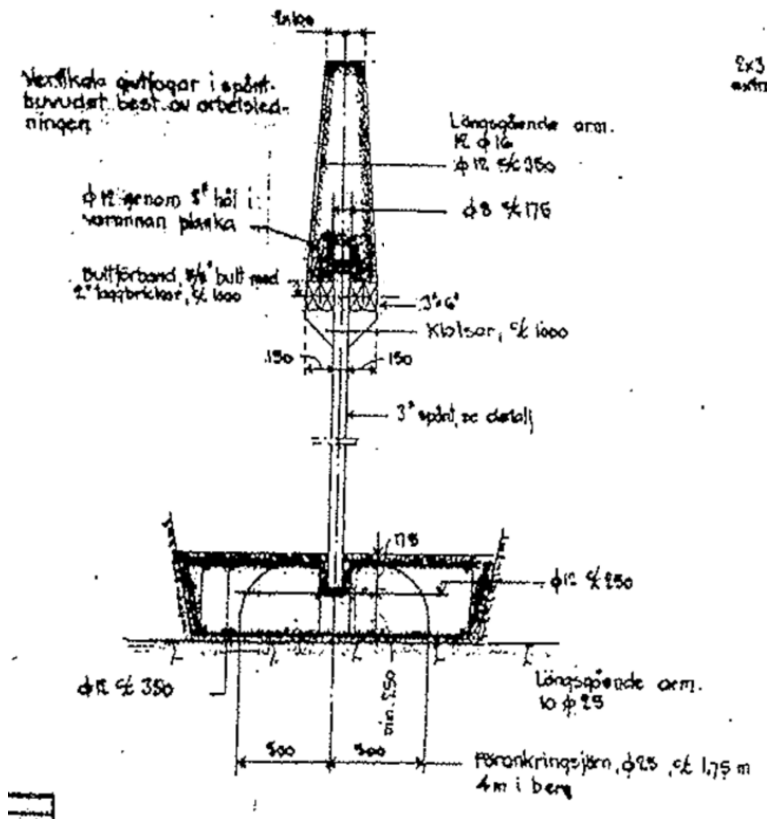
Figur 3.72 Träspont i tvär- och längdsektion. Den undre delen av spontskärmen är utförd med stående plank och den övre med liggande plank.

Träspont med betongföljare

Det förekommer dammar byggda med träspont där den övre delen av sponten utförts med betongöverliggare i den omättade zonen. Detta bedöms ha gjorts för att minska riskerna för att träsponten ska ruttna. Av Figur 3.73 framgår tvärsektioner av en damm som konstruerades på 40-talet. Av Figur 3.74 framgår detaljlösningar av sponten. Träsponten har anslutits mot berg via en betongklack. Träsponten är utförd med stående plank av 3". I dammens lågpunkter vid anslutning mot strand övergår träsponten med betongföljare till enbart en betongskärm. Betongföljare kallas för *parapet* i (Wählin, 1949). I rapporten Energiforsk 2023:915 (Påhlstorp, 2023) ingår träspont med betongföljare.



Figur 3.73 Exempel med fyllningsdamm utförd med träspont och betongföljare.



Figur 3.74 Detaljer av träspontens anslutning mot betongföljare samt grundläggning mot betongplatta som gjutits mot berg.

Organiska jordarter och mossor

Organiska material har historiskt sett varit vanlig i dammkonstruktioner. Torv och mossa användes ofta som tätning i stenmurverksdammar långt tillbaka i tiden, se (Rinman S. , 1794). I (Westerberg & Alm, 1946) framförs att torv kan användas som tätande material. Vid kompression blir torven tillräckligt tät. Torven ska placeras i skikt parallellt med dammens uppströmssida. Torven uttorkas, läggs ut och belastas med jord (komprimeras) och sedan täcks det hela med ett erosionskydd. Torv nämns vara lättare att hantera än lera.

Stålspont

Stålspont har i stor utsträckning använts i svenska fyllningsdammar. Stålsporten förekommer vanligtvis i anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion, som en förlängning av tät kärnan i anslutande mark samt vid grundläggning på jord.

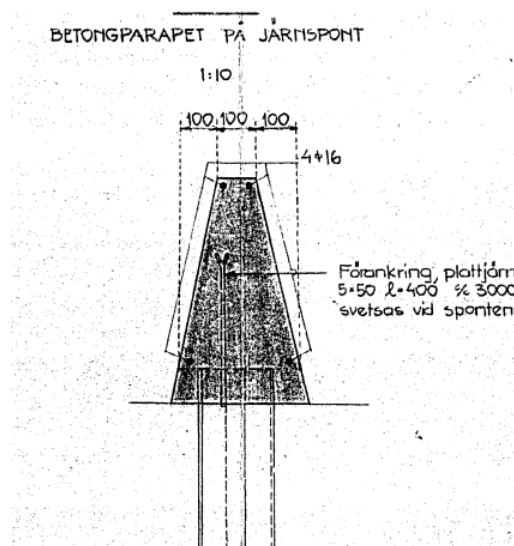
Det anges i (Ekwall, Dahl, & Löfgren, 1937) att järnspons börjat användas mycket vid vattenbyggnader både för provisoriska och permanenta konstruktioner. Tid- och kostnadsbesparingar anges som skäl till järnspons. I artikeln nämns två vattenkraftbyggen (fångdammar med 15 m vattentryck) från 1917 och ett från 1930 där det förstnämnda inte hade tillgång till järnspons, där det i stället innebar att dubbla vertikala träsponten och mellanliggande fyllning fick utföras och tog ca 2 år i anspråk att bygga. För den senare anläggningen utfördes i stället enkel lutande

järnspons med stöd av I-balkar som strävades av kraftiga järnbockar. Arbetet att bygga fångdammen tog några få månader för den senare anläggning. Vidare anges i (Ekwall, Dahl, & Löfgren, 1937) att järnspons används vid tätning av genomsläppliga jordarter under dammar och kraftstationer. Järnsponsen kunde utan att förstöras tränga ned även i hårda och steniga jordlager.

En järnspons av typen Larsen XI av kopparlegerat järnmaterial anges i (Plass, 1933) vara mycket lämplig för nedslagning i hårda grus- och pinnmolager.

I (Westerberg & Alm, 1946) beskrivs en damm där stålspont slagits ned under dammens tätkärna bestående av betongskärm. Det anges att vattenståndet ständigt är över järnsponsen, vilket gör att den ska betraktas som "oförgängligt byggnadsmaterial", dvs att järnsponsen är att betrakta som över tid beständig. Dammens utformning framgår av den undre tvärsektionen i Figur 3.6.

Av Figur 3.75 framgår ett exempel av en damm där en stålspont försetts med betongföljare/parapet.



Figur 3.75 Stålspont med betongparapet.

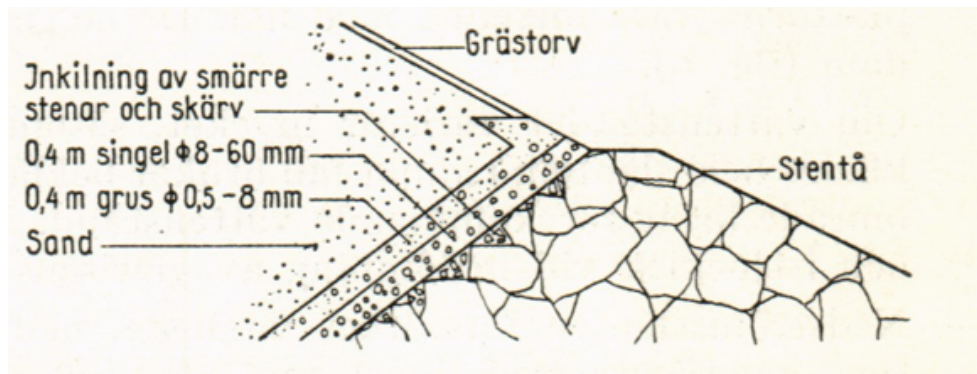
3.8.2 Filtrerande skikt

Av genomgången underlag har filtrerande skikt ofta saknats för fyllningsdammar av "äldre utförande". I många fall saknas filter direkt mot tätjorden. Filtrerande skikt har i flera fall lagts i dammens uppströmsslänt vid övergång mellan stödfyllning och erosionsskydd.

Vid homogena dammar tycks stenar i flera fall sorterats ut och lagts i dammtån. Ingen förklaring till detta har noterats vid underlagsgenomgång. Möjligen kan det vara för att erhålla finkornigt material i dammkroppen och att stenarna sorterats ut alternativt att stenarna var tänkt som ett dränerande skikt. Filterkriterier mellan tätjord och stenhoparna i dammtån uppfylls antagligen inte.

Det anges i (Wåhlin, 1949) att filterskikt behövdes läggas in i det fall det fanns risk för inre erosion (benämns som piping). Piping utvecklas lokalt i allt högre hastighet tills slutligen ett dammhaveri inte går att förhindra. Filter skulle läggas in

mellan två jordarter om partikelsprånget var för stort. Ibland behövdes flera filterskikt läggas in. Även på uppströmssidan ansågs filter behövas med avsikten att kunna hantera avsänkningar i magasinet.

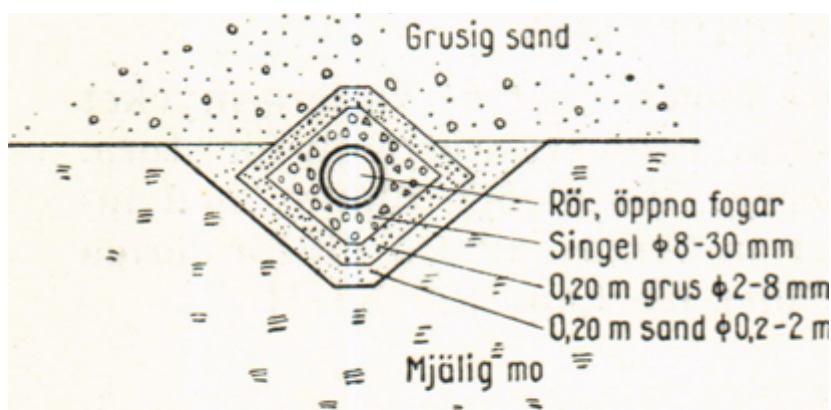


Figur 3.76 Exempel av filter mellan sand och stenfyllning vid nedströms dammtå.

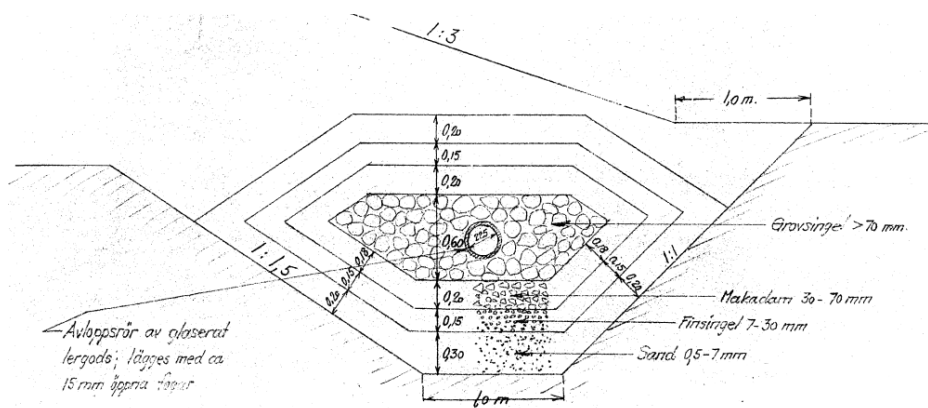
3.8.3 Dränage

Dränerande jordlager och dränageledningar (dräner) är vanligt förekommande inom dammbyggnation. Emellanåt konstrueras dammarna med dränerande materialskikt alternativt grundläggs på en mer permeabel jord som dränerar dammen (se exempelvis Figur 3.7).

Dränageledningar som installeras i nutid är ofta utförda som perforerade plaströr. Dräner i dammar av "äldre utförande" är i många fall byggda som rör av exempelvis betong eller tegel med öppna fogar. Av (Wählin, 1949) finns en drän med filter beskriven (Figur 3.77). Dräner skulle installeras frostfritt. Det påtalas att om man ej byggde in dräner i tätare jorddammar kunde en tjälkorpa bildas i nedströmsslänten. Skorpan resulterade i att porttrycket ökade till trycket blev så stort att vattnet bröt igenom skorpan. Detta resulterade i att lokala brottställen uppstod och att materialtransport skedde lokalt. Av Figur 3.78 framgår ett exempel från 1930-talet. Röret är av glaserat lergods placerade med 15 mm öppna fogar. Röret omges av flera filterskikt.



Figur 3.77 Drän med filter (Wählin, 1949).



Figur 3.78 Ett exempel av ett dräneringsdike från 30-talet. Dränagerören består av glaserat lergods placerade med ca 15 mm öppna fogar. Röret är kringfyllt av flera filterskikt.

3.8.4 Stabiliserande skikt

Dammars stabiliserande skikt, utgörs oftast av stödfyllning vilken kan variera både i sammansättning och utformning mellan olika fyllningsdammkonstruktioner. Släntlutningen har många gånger anpassats mot ingående material. Uppströmsslänten har normalt utförts flackare än nedströmsslänten.

I (Wählin, 1949) anges att det normalt sett fanns gott om stödfyllningsmaterial av sprängsten vid vattenkraftsanläggningar. Detta förutsatte god bergkvalitet (undantag ges som skiffrar, fylliter och mörgel etc.). Sprängstenen skulle rensas från jord, stensmjöl, snö och is samt också ordnas något för att förhindra att stödet blir "uppgillrat" och instabilt. Kraftig spolning skulle ske i samband med utläggning. Stenfyllningsdammarna skulle alltid förses med filter. Den naturliga raslutningen anges till ca 1:1,3.

Av (Wählin, 1949) framgår att släntlutningen är beroende av jordens genomsläpplighet, packningsgrad och inre friktionsvinkel samt ev. släntbeklädning (erosionsskydd). Vid finkorniga jordarter utan erosionsskydd anges uppströmsslänten byggas med en flack lutning, ca 1:5 - 1:4 och vid grövre jordarter 1:3. Om slänten försågs med erosionsskydd kunde den utföras med en lutning om 1:2,5 - 1:2. Uppströmsslänten skulle ej göras brantare än 1:2 om det inte var en mycket låg jordvall där utglidningar ej skulle ge skada. Det anges att uppströmsslänten bland annat beräknades med hjälp av cirkulär cylindriska glidytor och hänvisar till handling "On the Stability of the Upstream Slope of Earth Dams" av Erling Reinius (1948).

Nedströmsslänten skulle normalt läggas i lutning 1:2, men att det på senare tid hade utförts brantare slänter efter noggrannare provning och beräkning (Wählin, 1949). Vid beräkning av nedströmsslänt hänvisas till *Wasserkraftsanlagen - Handbibliothek für Bauingenieure, III:9, Talsperren* Ludin & Tölke (1938). Vid höga dammar skulle nedströmsslänten förses med banketter var 7-10 höjdmeter för att skydda dammen från ytvattenavrinning.

I (Westerberg & Alm, 1946) nämns att rena friktionsjordar nämns vara lätta att packa om man bevattnar dem rikligt. Lämpliga packningsmaskiner nämns som

fårfotsvältar, hoppande packningsmaskiner och stora vibratorer. Fyllningsdammen blir kraftstationens "tipp". Packning av sådana sprängningsmassor anges ej kunna utföras och att man får acceptera de sättningar som uppstår.

3.8.5 Erosionsskyddande skikt

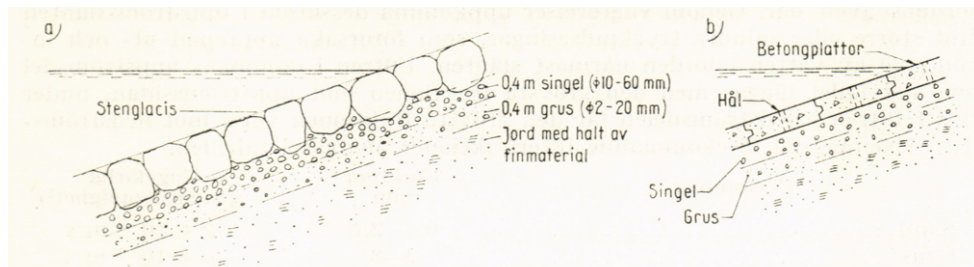
Liksom stödfyllningen kunde erosionsskydden utföras av sprängsten från vattenkraftsanläggningar (Wählin, 1949). Vågerosion sker mot uppströmsslänten och riskerar att erodera stödfyllningen. Dammen försågs med det grövsta lagret mot magasinet. Även på nedströmssidan lades det grövsta lagret ytterst. Filterskikten skulle ej göras för tunna, utan lagertjockleken skulle göras i 0,3 – 0,4 m vinkelrätt lutningen.

Många fyllningsdammar har beklänts med någon form av gräsbeklädnad för att klara av erosion som sker i samband med nederbörd. Dels dämpar beklädnaden erosionen som orsakas av nederbörden, dels minskar vegetationen avrinningshastigheten längs med slänten. Dammens "luftsida" har ofta försetts med matjord och någon form av gräsbeklädnad för att skydda dammen mot erosion av nederbörd och snösmältning etc. Se vidare efterföljande avsnitt (3.8.6) för tjälskydd.

Det har i många fall visat sig att slänterna, där vatten ej förekommer, skulle växtbesås. Det framkommer bland annat gräs, grästorv, pil och vide som växtbeklädnad i det underlag som identifierats inom detta arbete.

Nedströmsslänten förstärktes vanligtvis med erosionsskydd mot nederbörd och bestod av grästorv, men även singel, makadam eller grövre jordskikt användes (särskilt där klimatet ej medger växtlighet) (Wählin, 1949).

I (Wählin, 1949) anges att i de fall uppströmsslänten utsätts för åverkan av is, timmer, vågor eller liknande måste slänten förstärkas med ett erosionsskydd. Detta utfördes normalt genom att anlägga en glacis, dvs ordnad stenfyllning, eller av stentipp/sprängsten. Erosionsskyddet kunde också utföras av betongplattor som fogats intill varandra. Erosionsskyddet skulle förbli vattengenomsläppligt samt förses med filter för att förhindra urspolning av material. Stenbeklädnaden skulle läggas så tätt intill varandra som möjligt, utan nämnvärd andel skolstenar. Stenbeklädnaden anlades på filterskikt om 0,4 m singel/makadam som underlagras av 0,4 m grus. Filterskikten skulle dock anpassas mot fyllningen. Betongplattor ansågs lättare att hantera än stenglacis. Betongplattorna skulle förses med dräneringshål för att undvika att beklädnaden blev för tät. Erosionsskyddet skulle anpassas mot dammens regleringsamplitud, islast och största våghöjd.



Figur 3.79 Exempel av erosionsskydd för uppströmsslänten. Till vänster visas en glaci utförd av sten. Till höger visas en glaci av betongplattor.

3.8.6 Tjältskyddande skikt

Vid fyllningsdammar av "äldre utförande" förekommer olika isolerande skikt av organiska material. Eftersom ingen information har noterats för fyllningsdammar om dessa skikt har i detta avsnitt i stället information inhämtats från ett annat användningsområde (vägkonstruktioner). Detta kan ge en fingervisning om hur man resonerat om tjältskyddande skikt av organiska jordar på fyllningsdammar. För vägkonstruktioner anges björnmossa eller frisk eller föga förmultnad vitmossa användas som tjältskyddande skikt. Även dyig torv fick användas till vissa konstruktioner. I handlingen nämns att matjord används vid tjälskjutande jordarter och att den gräsbesås med en fröblandning som ger växtlighet med utgrenat och djupgående rotsystem. I det fall gräsbeklädnaden inte växte upp tillräckligt snabbt anges att beklädnaden bör göras med god och seg grästörv eller skogstörv vilka fastpinnades i slänten. Skarvarna i torven skulle gräsbesås (Wåhlin, 1949).

Av Figur 3.47 framgår ett exempel där gyttja lagts in som ett tjältskyddande skikt i dammkonstruktionen. Av Figur 3.23 framgår en fyllningsdamm konstruerad med ett tjältskyddande torvskikt uppströms om dammens lutande tätkärna av ältad lera (eg. mjåla).

3.8.7 Krigsskydd

Det nämns i (Wåhlin, 1949) att särskilda skyddsåtgärder från luftanfall, andra krigshandlingar eller sabotage för vissa kraftanläggningar lagstodgades 1942 (*lagen ersattes 1997*). Detta infördes således under andra världskriget. Huruvida några särskilda åtgärder infördes under eller efter första världskriget har detta projekt inte identifierat. Av samma källa framgår att en välpackad jorddamm med central spont tillhör en av de mest motståndskraftiga dammtyperna, särskilt om dammkrönet utfördes tillräckligt brett och försågs med grov sprängsten. Stenfyllningsdammar (här beskriven som damm med tätning av trä eller betong längs med uppströmssidan) ansågs också vara motståndskraftiga men om tätskiktet förstördes ansågs det kunna leda till dammhaseri. I (Statens vattenfallsverk, 1988) nämns att viktiga dammar brukade förses med ett tjockt lager grov sten över dammkrönet samt att även stålsponter användes under stenlagret som ett extra bomb- och överströmningsskydd.

I (Westerberg & Alm, 1946) nämner författaren att det ur försvarssynpunkt är av vikt att dammarna packas väl och att det under kriget varit praxis att förse jorddammar med sprängmantlar av sten över krönet som ett skydd mot bomber.

Detta bedöms vara meningslöst om jorddammarna inte är tillräckligt välpackade för att kunna motstå vibrationerna som skapas av bombdetonationen.

3.8.8 Grundförbättring

Av identifierade dammkonstruktioner i detta projekt har det i de flesta fall visat sig att dammarnas grundläggning noga beaktats. Vanligtvis har en tätare grund eftersträvt genom att föra ned tätjorden genom permeabel jord till en tätare grund med hjälp av ett så kallat tätdike eller tätgrav (se exempelvis Figur 3.9 och Figur 3.6) alternativt genom spontning (se avsnitt 3.6.1). Avtäckning av markytan (från organiskt material) gjordes också normalt vid grundläggning av dammens stödfyllning. Det har också framgått att grundförbättring genom pålning förekommit vid lösare jordgrundläggningar (se avsnitt 3.6.1).

I (Westerberg & Alm, 1946) beskrivs att det testats att jordkomprimera genom neddrivning med hastiga slag av pålar eller koniska kroppar för att öka stabiliteten. Efter uppdragande har utrymmet fyllts med mager betong eller grus.

4 Potentiella felmoder

Ingående byggnadsmaterial i dammen samt material i dess undergrund, påverkas med åren av flertalet inre och/eller yttre laster, vilka kan försämra dammens tätande funktion, dess geometri och stabilitet mm. I detta kapitel redovisas, för homogena dammar och dammar med lertätning, relevanta potentiella felmoder samt möjliga felorsaker.

Definition av begrepp har hämtats från checklistan i RIDAS 2019 TV 4 – Bilaga G (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019). Checklistan återges i Tabell 4.1. Detta innebär att begreppen övergripande felmod, felmod och felorsak används. I TV 4 beskrivs två huvudfelmoder som kan leda till att en damm havererar. De övergripande felmoderna indelas i sju felmoder som kan leda till att någon av de övergripande felmoderna utvecklas. Till varje felmod hör möjliga felorsaker. Dessa felorsaker beskriver den process som kan leda till att någon av de sju felmoderna utvecklas.

Felorsaker gällande mekanik, el, hydraulik och hydrologi behandlas ej, trots att problem med avbördningsanordningar exempelvis kan leda till överdämning och överströmning. Detta arbete fokuserar på felmoderna *otillräcklig stabilitet, otillräcklig täthet, otillräcklig hållfasthet och beständighet* samt yttre erosion som kan leda till felmoden *otillräckligt fribord*.

Tabell 4.1 Checklista för identifiering av felmoder i RIDAS 2019 TV 4 – Bilaga H (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019). Felmoder och felorsaker som beskrivs inom detta kapitel har markerats med blå rektangel.

CHECKLISTA FÖR IDENTIFIERING AV FELMODER		
ÖVERGRIPANDE FELMOD	FELMOD	FEL / FELORSAK
ÖVERSTRÖMNING SOM LEDER TILL FORTGÅENDE EROSION	Otillräcklig avbördningsförmåga	<ul style="list-style-type: none"> Tillrinningen överstiger summan av avbördningsförmågan och magasineringsförmågan Magasinet regleras inte på föreskrivet sätt
	Otillgänglig avbördningsförmåga	<ul style="list-style-type: none"> Bristfälligt underhåll av avbördningsanordningarna Slumpmässigt funktionsfel
	Otillräckligt fribord	<ul style="list-style-type: none"> Vind / våg belastning överstiger erosionsskyddets kapacitet Överskridande av fribord till följd av dammhaveri uppströms eller jordskred i magasinet
	Oförmåga att upptäcka och åtgärda	<ul style="list-style-type: none"> Fel och brister i avbördande funktion och fribord upptäcks eller åtgärdas inte. Fel och brister i dämmande funktion upptäcks eller åtgärdas inte.
BRISTANDE MOTSTÅNDSKRAFT SOM LEDER TILL SÖNDERFALL	Otillräcklig stabilitet	<ul style="list-style-type: none"> Massrörelser (stjälpning, glidning, vridning, ras & skred) Förlust av stöd / bärkraft från grund och anslutningar
	Otillräcklig täthet	<ul style="list-style-type: none"> Läckage genom tät kärna, anslutningar, tätningar, sprickor & grund Otillräcklig / förlust av dräneringskapacitet i filter, dränerings- och pumpsystem
	Otillräcklig beständighet och hållfasthet	<ul style="list-style-type: none"> Gradvis försvagning (inre erosion, krossning, nedbrytning, kemisk urlakning) Momentan tillståndsförändring (sprickbildning, skjuvning, hydraulisk spräckning & likvifaktion)

4.1 OTILLRÄCKLIG HÅLLFASTHET OCH BESTÄNDIGHET

I Tabell 4.2 listas olika felorsaker som kan påverka dammens hållfasthet och beständighet. Inre erosion tillhör denna kategori av felorsak men hanteras separat i avsnitt 4.3. Utvecklingen av dessa felorsaker kan också påverka potentiella felmoder kopplade till dammens täthet och stabilitet.

Tabell 4.2 Relevanta felorsaker för utvalda dammtyper m.a.p. otillräcklig hållfasthet och beständighet samt en kortfattad beskrivning av felorsak.

Felorsak	Beskrivning
Igensatta dränage	Dränagesystem förlagda längs en damms nedströmssida, med syfte att leda bort och eventuellt mäta läckaget genom dammen, kan vid igensättning leda till förhöjda portryck i dammkroppen. Likaså kan dräneringslager i undergrund alternativt vid grundläggningen som sätts igen, öka portrycksnivån i dammen. Högre portrycksnivåer kan

	påverka dammens stabilitet samt öka risken för att källsprång bildas och materialtransport sker.
Nedbrytning, Vittring, Frostskador, Krossning	Vissa dammars stödfyllning eller erosionsskydd kan vara uppbyggda av sprängsten från intilliggande kraftstationsarbeten eller liknande. I vissa fall innehåller berget mineraler som är vittringskänsliga och över tid bryts ned eller spricker sönder av frostskador alternativt krossning p.g.a. packning eller tung last. Sådant kan påverka dammens funktion med avseende på stabilitet eller motstånd mot erosion. Det kan också påverka filterfunktionen om håligheter bildas i dammen.
Likvifaktion	Likvifaktion innebär att jordmaterialet beter sig som en vätska, vilket ger lägre hållfasthet för materialet. Med material i fyllning eller undergrund med kornstorlekar som silt, i kombination med vattenmättade förhållanden finns risk för likvifaktion. Utlösande kan vara exempelvis närliggande sprängningsarbeten eller hastig förändring av magasinsvattenytan, det leder till negativ påverkan på dammens stabilitet. (CIRIA, 2013) En del dammhaverier kopplat till likvifaktion är orsakad av seismisk aktivitet. I Sverige är detta ej lika vanligt som i andra länder med högre seismisk aktivitet i berggrunden.
Hydraulisk uppspräckning	Hydraulisk uppspräckning i fyllningsdammar kan ske om porvattentrycket överstiger överlagringstrycket. Om detta sker kan vattnet lyfta ovanliggande jord vilket kan orsaka sprickbildning i dammen (Lagerlund & Nilsson, 2020). Detta kan ske av ett flertal orsaker. Exempelvis upphängningseffekter där sponter eller betongkonstruktioner anslutits mot fyllningsmaterial. Att dammkroppen satt sig ojämnt längs dess sektion eller sträckning. Om dammkroppen anlagts på olika grundläggningsnivåer med brant övergång mellan dessa kan det leda till hydraulisk uppspräckning i dessa brantare zoner. Förändringar av exempelvis porttrycksnivåer i en dammkropp och/eller undergrund, kan leda till att tätmaterial eller grunden utsätts för hydraulisk uppspräckning vilket kan leda till skapande av läckagevägar. Tätning och undergrund av lera är i högre grad än exempelvis morän känslig för detta, då kohesionen i materialet bidrar till att läckagevägen hålls öppen i stället för att kollapsa (CIRIA, 2013).
Ispåverkan	Fyllningsdammar kan vara utsatt för ispåverkan i den del av dammen där vatten förekommer. I de flesta fall finns en uppströmsvattenyta (undantaget exempelvis invallningsdammar som är uppförda för att klara höglödessituationer). I andra fall kan både upp- och

	<p>nedströmsvattenytor förekomma.</p> <p>Vid isbildning i dammslätten riskerar erosionsskyddet att frysa vilket kan resultera i att stenar skjuts ut, exempelvis från en glaci. Fryser vattenytan vid en viss nivå mot släntens beklädnad och vattenytan därefter sänks av kan fastfrusna stenar/block dras ut med isen.</p>
Tjälnedträngning	<p>Tjälnedträngning kan orsaka uppluckring av tätkärnan eller orsaka sprickbildning och leda till materialtransport på grund av koncentrerade läckage. Ett tecken på att tjäle förekommit i dammkrönet kan vara sprickbildning (ofta långsgående sprickor).</p> <p>Av de fyllningsdammtyper som detta avsnitt baserats på bedöms dessa dammar särskilt vara känsliga mot tjälverkan. Dammarna är ofta utförda till viss del eller i sin helhet av tjälfarliga jordmaterial. Av (Larsson, 2008) finns en klassificering av jordarter utifrån hur tjälfarliga dessa är. Lera, lerig morän och siltig morän tillhör måttligt tjällyftande jordarter. Till de mycket tjällyftande jordarterna hör silt, lerig silt, siltig lera och siltig morän.</p>
Vegetation på dammar	<p>Ett återkommande problem med fyllningsdammar är att växtlighet trivs bra och normalt sett kräver underhåll. För dammar där underhåll ej har utförts kan större träd ha etablerats. Det har tagits fram en Energiforskrapport om vegetation på dammar, se (Påhlstorp, 2021). Rapporten omfattar en genomgång av internationell litteratur, beskrivning av vegetation på svenska fyllningsdammar samt dokumentation och studier från fältarbeten. I rapporten listas huvudsakliga dammsäkerhetsrisker kopplat till träd på dammar. Vegetation i form av buskar och sly påverkar dammsäkerheten framför allt genom att den försvårar den okulära kontrollen och upptäckten av dammsäkerhetsavvikelse (Påhlstorp, 2021).</p> <p>I (CIRIA, 2013) nämns att arbetet med vegetation på dammarna är fokuserad på tre saker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Skydd mot yttre erosion från vind, nederbörd, trafik (fordon, gående, djur), vågerosion, överdämning/överströmning. • Underhålla tillräcklig översyn och tillgänglighet av dammarna. • Förebygga utvecklingen av skaderelaterade effekter.
Rötskador	<p>Trä förekommer i flera fall som en del av fyllningsdammars konstruktion. Trä har t.ex. använts som spont och till pålning. Trämateriäl kan också förekomma i grundläggningen då exempelvis kistor förekommer. Trämateriäl som ej är syresatt (konstant under vatten) håller bättre än trämateriäl ovan vattenytan. Träsponter i dammar</p>

	redogörs för i rapporten Energiforsk 2023:915 (Påhlstorp, 2023)
Förmultning	<p>För fyllningsdammar av "äldre utförande" har organiska jordarter och mossor använts. Hur de organiska jordarternas egenskaper över tid kan förändras p.g.a. förmultning och liknande har inte verifierats inom detta projekt.</p> <p>Förändringar i de organiska jordarterna som ofta är en del av dammens tätande skikt (t.ex. torv, mossa) men förekommer också som tjälskyddande skikt (t.ex. dy).</p> <p>Exempelvis är torv är bildat av växtrester som av vatten skyddats från förmultning. När torven utsätts för luft sönderdelas växtresterna (Larsson, 2008).</p> <p>Förändringar i de organiska materialens egenskaper bedöms kunna leda till försämringar som läckageökningar och materialtransport.</p>
Uttorkning	<p>Fyllningsmaterial med liten kornstorlek samt förekomst av kohesion, såsom lera, kan påverkas negativt vid omättade förhållanden. Sprickbildning och sättningar kan ske när leran torkar, exempelvis då vattennivån i uppströms magasin under längre perioder ligger lågt. Vid höjning av magasinet kan vattnet ta sig in i sprickorna och orsaka läckagevägar genom tätningen (CIRIA, 2013).</p>
Förändring av grundvattenytan	<p>Om grundvattennivåerna intill dammkroppen förändras och det inte finns tillräcklig omledning/avledning av vattnet, kan det påverka dammkonstruktionen och dess grundläggning. Om vattennivåerna höjs kan det försämla stabiliteten och/eller ge sättningar i dammkroppen samt eventuellt orsaka uppkomsten av läckagevägar under eller genom dammen (CIRIA, 2013).</p>
Genomföringars beständighet	<p>Genomföringar av olika material och dimensioner samt syften, kan finnas i fyllningsdammar. Beroende på hur genomföringen utförts och hur den påverkas av vattengenomströmning, nedbrytning av dess ingående material och ett eventuellt brott kan leda till negativ påverkan på dammens stabilitet och/eller utveckling av läckagevägar längs genomföringen. (CIRIA, 2013).</p>
Sättningar i grunden	<p>Fyllningsdammar har emellanåt grundlagts på lösare jordarter. Lösare jord kan för dammtyperna i denna rapport utgöras av lera, torv eller dy. När dammen påförts mot grunden kan sättningar ha uppkommit vilket lett till en lägre krönnivå. Det lägre krönet blir mer känsligt mot exempelvis överströmning och erosion av vågor. Sättningar i</p>

	<p>grunden kan påverka felmoder kopplade till dammens täthet och stabilitet.</p> <p>För de dammar som ingår i projektet har de initialt största sättningarna skett. Möjligen sker krypsättningar i dagsläget. Dock är det möjligt att bristande kunskap kan leda till att dammen byggs på med ytterligare material för att höja krönet, vilket då kan leda till att ytterligare sättningar sker. (CIRIA, 2013)</p>
--	--

4.2 OTILLRÄCKLIGT FRIBORD KOPPLAT TILL YTTRE EROSION

I Tabell 4.3 listas olika felorsaker för otillräckligt fribord kopplat till yttre erosion. Utvecklingen av dessa felorsaker kan också påverka potentiella felmoder kopplat till dammens täthet och stabilitet.

Tabell 4.3 Relevanta felorsaker för utvalda dammtyper m.a.p. otillräckligt fribord kopplat till yttre erosion samt en kortfattad beskrivning av felorsak.

Felorsak	Beskrivning
Vågerosion	<p>Fyllningsdammens uppströmsslänt kan skadas av vågerosion. Vågor slår upp på slänten och drar med sig jord från dammen ned i magasinet. Skadegraden av vågerosionen beror bland annat av vågriktning, vågstorlek, släntlutning och jordmaterial i dammslänten. Vågerosion kan leda till att dammens fribord minskar och att dammen överströmmas.</p> <p>Vågor kan förutom att genereras från vind, uppstå vid dammhaveri eller jordskred i uppströms liggande magasin.</p>
Erosion av vattenströmning	<p>Vissa fyllningsdammar utsätts för vattenströmning som kan ha en eroderande verkan på uppströmsslänten. Exempelvis utsätts kanaldammar för vattenströmning (kanalströmning) som kan erodera dammen. Vissa fyllningsdammar utsätts för vattenströmning i samband med att avbördningsanordningar används. Vattenhastigheterna ökar vid spilltappning vilket kan leda till yttre erosion av dammens uppströmsslänt.</p>
Erosion av båttrafik och drivgods	<p>Vid farleder, exempelvis kanaler, förekommer emellanåt båttrafik. Båtarna kan orsaka svallbildning vilket leder till erosion av slänter. Båtarnas propellrar kan orsaka strömbildning som ger erosionsskador i dammslänten. Kanaldammar bedöms också kunna utsättas för påstötning i samband med båttrafikens framfart vilket</p>

	kan skada dammen. Drivgoods kan också orsaka skador på fyllningsdammarnas erosionskydd.
Deformation/erosion av fordonstrafik	<p>Fordonstrafik på dammens krön (eller slänter) kan orsaka deformation (exempelvis av hjulspår). Motsvarande kan ske från exempelvis röjningsmaskiner eller underhållsfordon som ska ta sig fram längs dammarna. I hjulspåren kan vatten ansamlas och infiltreras ner i dammkroppen och höja portrycksnivån. Vid minusgrader riskerar ansamlat vatten att frysa vilket kan skada dammen.</p> <p>Om vatten ansamlats i stora mängder på krönet kan det göra vägen oframkomlig, vilket kan försvåra tillgång till anläggningen eller utförande av åtgärder (CIRIA, 2013).</p>
Erosion/inre erosion p.g.a. magasinreglering	Fyllningsmaterialen på dammens uppströmsslänt kan vid reglering av magasinet påverkas av yttlig erosion. Beroende på fyllningsmaterialets kornstorlek, påverkas slänten olika, med grövre stenar minskar risken för erosion. Om fyllningsmaterial eroderar bort kan det exempelvis leda till att slänten blir instabil. (CIRIA, 2013). Magasinsvariationer kan också orsaka inre erosion uppströmsåt.
Nederbörd	Nederbörd kan orsaka lokal erosion längs med slänterna och krönet. Detta kan exempelvis resultera i att dammkrönet lokalt blir lägre, att slänterna lokalt blir brantare och instabila, att marginalerna till tät kärnan minskar vilket kan göra dammen mer känslig för annan åverkan som tjälnedträngning, djuraktivitet m.m.
Vinderosion	Starka vindar kan leda till erosion av fyllningsdammen. Det kan medföra att slänten bitvis blir brantare vilket kan leda till att glidytor utvecklas. Koppling kan även göras till att vinden påverkar eventuell vegetation i uppströmsslänten. Om vegetationen utgörs av växtlighet med grövre rötter som går ner i dammkroppen, kan vinden orsaka vindfällen. Växtens rötter kan då dra upp fyllningsmaterial och skapar en hålighet. Det kan i sin tur leda till utveckling av glidytor alternativt öppna upp en läckageväg en bit in i dammkroppen (CIRIA, 2013).

Djuraktivitet	<p>Fyllningsdammar kan ta skada av djurens aktivitet då de kan exempelvis gräva gångar och göra hål i och genom dammen eller på andra sätt skada dammen. Exempel på djuraktiviteter som kan skada dammen finns till exempel räv- och grävlingsgryt, kaninhålor, boskapsstigar, bäverhyddor/-bon, vildsvinsbök och myrstackar. Håligheter i dammarna kan finnas i krön, nedströmsslänt och intilliggande anslutningar mot terräng. Det finns dock också risk att t.ex. bävrar (FEMA, 2005) bygger sina ingångar i uppströmsslänten under magasinsvattenytan. Fyllningsdammar med lutande tät kärna bedöms extra känslig mot sådan åverkan.</p> <p>Av (FEMA, 2005) framgår att djurhålor kan i stora drag påverka dammens tätande funktion genom att vattenströmningen förändras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Förkorta strömningsvägen • Öka läckageflödet • Öka risken för instabilitet i nedströmsslänten • Leda till att en inre erosionsprocess inleds eller förvärras
---------------	---

4.3 OTILLRÄCKLIG TÄTHET

Hur tät en damm är beror på dammens uppbyggnad. Vilken inverkan nedsatt täthet har på konstruktionen beror också på dammens uppbyggnad och grundläggning. Inre erosion är ett samlingsnamn på flertalet processer som innebär att jordpartiklar förflyttas av läckage i dammkroppen, dess grundläggning, från dammkropp till grundläggning, runt eller inuti genomföringar i dammkroppen eller vid anslutande konstruktioner. De fyra olika mekanismerna för inre erosion består av: koncentrerat läckage, bakåtskridande erosion, kontakterosion och suffusion (ICOLD - B164, 2017).

Inre erosion en av de mest förekommande anledningarna till att fyllningsdammar havererar. I (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) beskrivs tre principiella haveriförlopp kopplat till inre erosion (se Figur 4.1). Haveriförloppet kan ske genom att (1) dammtån inte klarar av att hantera läckageflödet och eroderar, (2) instabilitet i nedströmsslänten och (3) insjunkning i dammen leder till överströmning. Schematiskt visas också att en stödbank kan ge tid att sätta in åtgärder.



Figur 4.1 Beskrivning av haveriförlopp initierat av inre erosion enligt RIDAS 2019 TV 9.

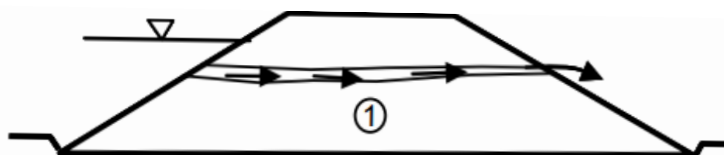
I en *screening* från ICOLD-Bulletin 164 har dammtyper kategoriserats efter sannolikheten för att inre erosion uppstår, se Tabell 4.4. I tabellen adresseras homogena fyllningsdammar så som en känslig konstruktion med stor sannolikhet för inre erosion att inträffa och att enbart en liten eller ingen möjlighet finns att förhindra ett inre erosionsförlopp. För dammar med lertätkärna bedöms sannolikheten som måttlig och att en viss möjlighet finns att förhindra inre erosion, beroende av dammens filterfunktion. Filterfunktion för de dammar med lertätkärna som har identifierats i detta projekts arkivgenomgång bedöms dock (till stor del) saknas.

Tabell 4.4 Sannolikheten för inre erosion för olika typer av dammtyper. Tabell från ICOLD-bulletin 164. Homogena dammar tillhör gruppen med stor sannolikhet för inre erosion. Dammar med lertätkärna tillhör gruppen måttlig sannolikhet för inre erosion och beror av hur filtren utformats.

Likelihood of Internal Erosion	Control for internal erosion	Dam zoning and category number.
A Large	Little or no control	Homogeneous earth fill (category 0); Earth fill with rock toe (category 2).
B Moderate	Some control of internal erosion depending on detail of zoning and filter capability.	Zoned earth fill (3); Zoned earth and rock fill (4); Puddle core(8); Hydraulic fill (11).
C Low	Moderate control of internal erosion depending on the filter capacity and details of the core wall or face slab.	Concrete face earth fill (6); Concrete face rock fill (7); Concrete core earth fill (9); Concrete core rock fill (10).
D Very Low	Good control of internal erosion subject to good details of zoning and filter design.	Earth fill with filters (1); Central core earth and rock fill (5).

4.3.1 Homogena dammar

Dammar med homogen fyllning har ej filter som fullgott kan hejda processen med förflyttning av jordpartiklar från dammkroppen, därmed kan inre erosion som startat fortgå om inte åtgärder sätts in, se Figur 4.2 (ICOLD - B164, 2017).



Figur 4.2 Inre erosion i homogen dammkropp, 1 – homogent fyllningsmaterial. (ICOLD - B164, 2017)

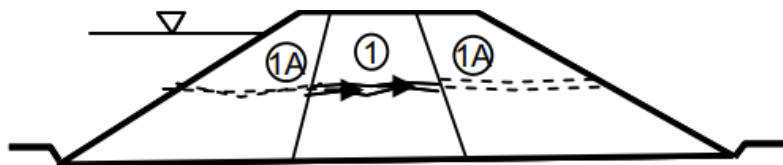
Även om dammens fyllning inte har zonerings så kan det finnas skillnader i jordmaterialtyper längs dammens sträckning och sektion, samt dess kompaktering, då byggmaterialen ofta kom från närliggande område. Det innebär att mer eller

mindre permeabla skikt kan finnas som gör att exempelvis koncentrerade läckage kan utvecklas längs dessa samt att kontaktersion kan ske mellan skikten. Bakåtskridande erosion kan initieras i dammens nedströmsslänt, men vanligare är att det startar i undergrunden, se avsnitt 4.3.3.

Beroende på fyllningens materialsammansättning, hur bredgraderade kornkurvorna är och hur väl dessa dammkonstruktioner packats, så finns även risk för att inre erosion med mekanismen suffusion utvecklas.

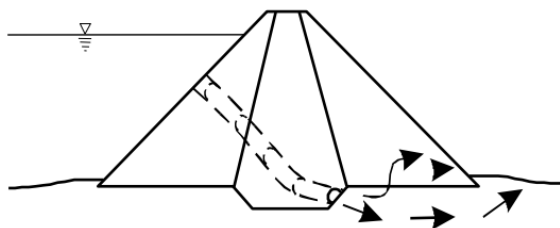
4.3.2 Dammar med lertätning

Dammar med enbart lertätning och stödfyllning, utan filter, har ofta liten förmåga att hejda jordpartiklar att förflytta sig genom dammkroppen. Även om leran p.g.a. kohesion är mindre eroderbar än exempelvis sand finns risk för inre erosion. Om leran är av sådan typ att utbildade sprickor/läckagevägar från exempelvis hydraulisk uppspräckning håller ihop p.g.a. kohesion, kan koncentrerade läckagevägar som utvecklats hållas öppna och inte självläka genom att läckageväggen kollapsar, se Figur 4.3.



Figur 4.3 Inre erosion i dammkropp med central tät kärna av lera. 1 – lera, 1A – friktionsjord (ICOLD - B164, 2017).

Motsvarande kan ske genom mekanismen bakåtskridande erosion, om ett läckage utvecklats på nedströmssidan av tät kärnan exempelvis mot grundläggningen och en läckageväg utvecklas åt uppströmshållet, se Figur 4.4. (CIRIA, 2013).



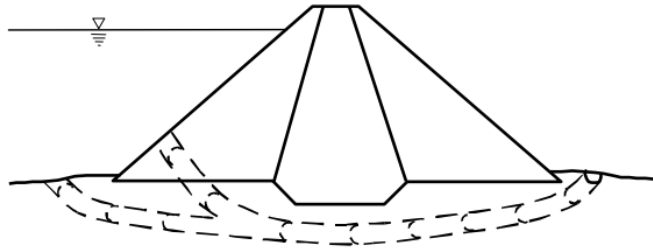
Figur 4.4 Bakåtskridande erosion i tät kärna, mot grundläggningen och dammtån. (ICOLD - B164, 2017)

För dammar med lertätning, finns förutom risk för bakåtskridande erosion, även risk för kontaktersion då tät kärnan är ansluten till stödfyllning med grövre partiklar än lera. Beroende på kornfördelningen i leran respektive stödfyllningen, dess inre stabilitet, kan suffusion uppstå mellan materialen (CIRIA, 2013).

4.3.3 Grundläggningen och anslutningar

Homogena fyllningsdammar och fyllningsdammar med lertätning, har utifrån studerat underlag ofta grundlagts på jord. Beroende på undergrundens

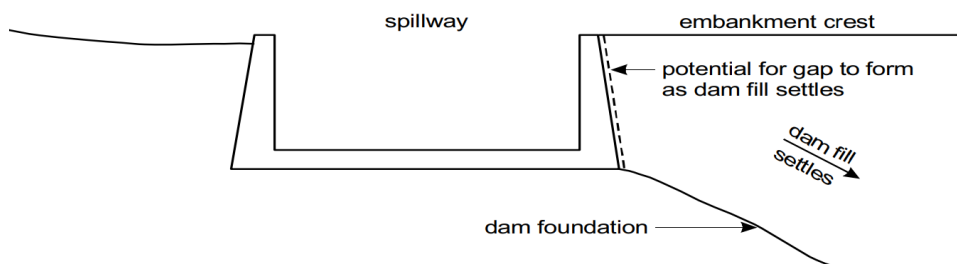
materialsammansättning finns risk för att inre erosion i form av koncentrerat läckage alternativt kontakterrosion, ska ske längs med exempelvis permeabla lager som ansluter mot mer finkorniga lager, se exempel på möjliga läckagevägar och erodering i Figur 4.5.



Figur 4.5 Inre erosion som utvecklats i undergrunden. (ICOLD - B164, 2017)

Risk finns även att tidigare beskrivna mekanismer så som bakåtskridande erosion och suffusion sker, beroende på materialsammansättningen i undergrunden och dammens grundläggning (ICOLD - B164, 2017).

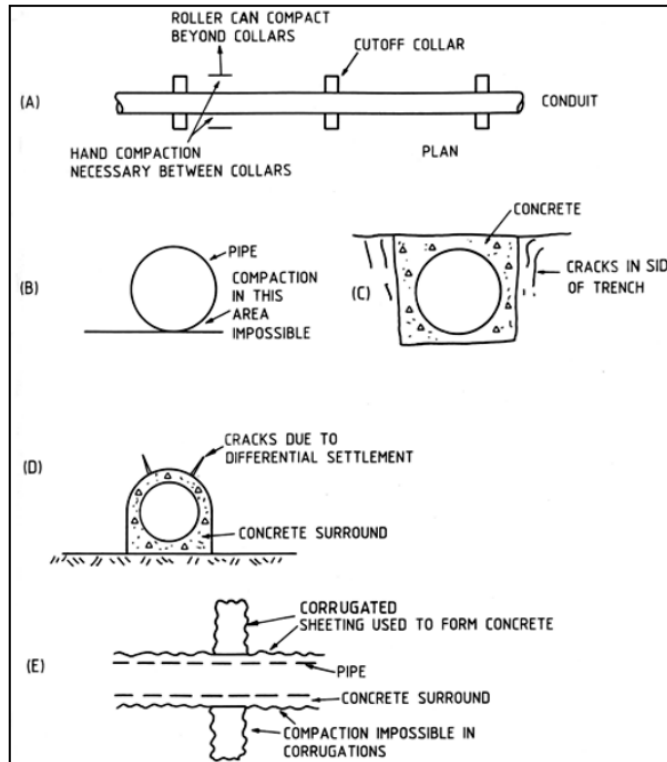
Invid anslutningar mellan fyllningsdamm och en annan dammkonstruktion som exempelvis utskovsparti, finns risk för att fyllningsmaterialet i zonen sätter sig p.g.a. olika grundläggningssätt. Alternativt att jordmaterialet inte kunnat packas tillräckligt invid betongkonstruktionen. Risk finns då att läckage och inre erosion utvecklas längs denna zon se Figur 4.6. (ICOLD - B164, 2017).



Figur 4.6 Anslutning mellan utskov och fyllningsdamm, visar på zon i anslutningen där sättningar i fyllningsdammen kan leda till att inre erosion kan utvecklas i zonen. (ICOLD - B164, 2017)

4.3.4 Genomföringar

Genomföringar i fyllningsdammar kan påverka tätheten i den aktuella sektionen på flera sätt. Om röret går sönder och vattenströmning förekommer, kan erosion ske av fyllningsmaterialet inuti dammen eller i dammens överyta. Dammkroppens portrycksnivå kan höjas vilket kan leda till instabilitet och risk för utveckling av glidytor. Risk förekommer även om det runt genomföringen inte är lika väl packat (ofta svårt/omöjligt att utföra) och lämplig kornstorlek av fyllningsmaterial, vilket kan leda till att läckagevägar utvecklas utvändigt, längs dess sträckning, även om röret i sig är intakt, se Figur 4.7. (ICOLD - B164, 2017)



Figur 4.7 Exempel på genomföringar av olika typer samt svårigheter med packning av kringfyllning vilket kan påverka risken för att inre erosion uppstår. (ICOLD - B164, 2017)

I de fall då dammar inte underhållits eller övervakats kan åtgärder utförda av 3:e man påverka dammsäkerheten. Exempelvis kan rör genomföringar i eller ovan dammkroppen ha utförts för att få tillgång till vatten från magasinet.

4.4 OTILLRÄCKLIG STABILITET

Inom detta projekt har det inte framkommit hur stabilitet för fyllningsdammar av "äldre utförande" har beräknats och hur ev. säkerhetsfaktorer mot glidytor beaktats.

Otillräcklig stabilitet kan vara en följd av utveckling av felorsaker eller andra felmoder för fyllningsdammarna. Högre portryck i dammkroppen från igensatta dränage eller till följd av ökat läckage påverkar stabiliteten negativt. Även påverkan på krön och dammslänter av exempelvis tjäle, islast, förmultning, djuraktivitet, inre erosion m.m. som gör att dess nivå, beständighet, släntlutning mm påverkas, kan leda till instabilitet. Därav hänvisas till dessa felorsaker, medan just stabilitetsproblem beskrivs nedan för respektive dammtyp, homogen damm samt damm med lertätning och dess grundläggning och genomgående eller anslutande konstruktioner.

4.4.1 Homogena dammar

Homogena dammar kännetecknas av att de inte har en zonerad tätning/filtrering och ibland saknas dränering. Därmed finns inte samma sänkning av portrycket

från uppströmssidan till nedströmssidan vilket ökar risken för instabilitet i nedströmsslänten. (ICOLD - B157, 2016)

En avsänkning av uppströmsvattenytan kan påverka stabiliteten av uppströmsslänten om den utgörs av så pass finkornigt material att portrycket hålls kvar i dammen efter avsänkning. Med det kvarstående portrycket i dammen och utan den vattenlast som innan avsänkningen låg mot uppströmsslänten kan glidytor åt uppströmshållet utvecklas. (ICOLD - B157, 2016)

För de dammar som utförts med torv finns risk för att varierande vattennivåer i dammkroppen påverkar materialet och ojämna sättningar sker, beroende på i vilken grad som torven kompakterats samt dess förmultningsgrad. Dessa dammar bedöms dock inte finnas kvar i bruk i någon större omfattning.

Homogena dammar utfördes ofta av närliggande jordfyllnadsmaterial. Jordmaterialets egenskaper har påverkat dammens utformning och hur branta dammens upp- och nedströmsslänt har utförts. Dammarna kan även ha olika materialegenskaper och konstruktionsutformningar längs dammens sträckning, vilket bör tas hänsyn till när stabilitetshöjande åtgärder ska utföras.

Även packningsgraden för de ingående fyllningsmaterialen påverkar stabiliteten. Stabilitetsproblem kan därmed uppstå om dammkonstruktionen utformats med för brant slänt i förhållande till fyllningsmaterialets sammansättning och packning (CIRIA, 2013).

4.4.2 Dammar med lertätning

En avsänkning av uppströmsvattenytan kan påverka stabiliteten i uppströmsslänten, speciellt om lertätningen placerats lutande åt uppströmshållet. Leran dräneras långsammare än släntmaterialet och portrycket hålls till en början kvar i dammen. Med det kvarstående portrycket och utan den vattenlast från uppströmsvattenytan kan glidytor utvecklas åt uppströmshållet. (ICOLD - B157, 2016)

Beroende på lerans sammansättning och bearbetning i byggnadsskedet är den olika känslig för lastförändringar såsom portrycksnivå och belastning från överlagrande fyllningsmaterial. Sättningar, sprickbildning och migrering av lerpartiklar, kan påverka dammens geometri och därmed stabiliteten (CIRIA, 2013).

4.4.3 Grundläggning och anslutningar

Vid grundläggning av dammar på jord kan svaghetskikt finnas eller utvecklas i undergrunden. Detta kan leda till att glidytor utvecklas längs svaghetskiktet. Om dammkonstruktionen grundlagts på berg kan förekomst av sprickplan i berget leda till läckage och förhöjda portryck med instabilitet som följd. (CIRIA, 2013)

Läckage och inre erosion i undergrunden alternativt i grundläggningsytan vid jordgrundläggning, exempelvis längs ett mer permeabelt lager, kan ge försämrad bärighet i dammkroppen och därmed instabilitet. Det kan även leda till sättningar i undergrunden som påverkar dammkroppen högre upp, med omlagring av

fyllningen och lägre packningsgrad med minskad stabilitet som följd. (CIRIA, 2013)

För anslutningar mellan fyllningsdamm och en annan dammkonstruktion som exempelvis utskovsparti, finns risk för att fyllningsmaterialet i zonen sätter sig p.g.a. olika grundläggningstyper alternativt att jordmaterialet inte kunnat packas tillräckligt invid betongkonstruktionen eller exempelvis installerad spont. Risk finns då att läckage uppstår invid anslutningen och portryckshöjningen gör att dammkroppen blir instabil. (CIRIA, 2013)

4.4.4 Genomföringar

Rör genomföringar kan påverka dammens stabilitet på flera sätt. Om röret går till brott och vattenströmning förekommer kan dammkroppens portrycksnivå höjas vilket kan leda till instabilitet. Det finns också en risk att kringfyllningen inte är lämplig eller otillräckligt packad runt genomföringen. Detta kan leda till att läckagevägar utvecklas längs med genomföringen och orsakar portrycksnivåökning i dammen med instabilitet som följd (CIRIA, 2013).

5 Undersökningsmetoder

Detta kapitel beskriver översiktligt hur undersökningar av fyllningsdammar av "äldre utförande" kan göras. För att avgöra dammens uppbyggnad och funktion bör inledningsvis dammens tätskikt lokaliseras och karaktäriseras. Av det underlag som denna rapport har analyserats är tätningen utförd antingen på uppströmssidan eller centralt i dammen alternativt kan dammen vara homogent uppbyggd. I följande avsnitt presenteras undersökningsmetoder som kan vara aktuella för att bestämma dammens konstruktion.

5.1 INLEDANDE ARBETE/BEDÖMNING

Av kapitel 3 framgår att det finns ett antal olika utformningar av fyllningsdammar som uppförts innan moderna anvisningar togs fram. Fyllningsdammens användningsområde, ålder samt lokal tillgång på material kan vara vägvisande för hur dammarna byggts upp. För exempelvis kanal- och invallningsdammar har ofta schaktmaterial från kanal- och dikesgrävning används till dammkroppen.

För att få en uppfattning om de geologiska och geohydrologiska förhållandena vid dammens läge kan information erhållas via exempelvis SGU:s kartvisare (Sveriges geologiska undersökning, 2022) eller motsvarande litteratur. Av kartvisaren framgår bland annat jordarter, jorddjup, berggrund m.m. för olika delar av Sverige. Om information fortsatt saknas kan möjligen en kvartärgeolog med god kännedom om området vara lämplig att konsultera. De geologiska förhållandena kan ha haft betydelse för dammens utformning och grundläggningsförhållanden, framför allt för dammar uppförda i ett skede då transporter av stora mängder jordmaterial varit svår och/eller kostsam.

5.2 OKULÄR KONTROLL

Utifrån beskrivningarna i kapitel 3 samt information som inhämtats från inledande bedömning (se avsnitt 5.1) 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. Av en okulär kontroll kan det vara möjligt att verifiera:

- Dammens yttre geometri ovanför vattenytan
 - Krönbredd
 - Släntlutningar ovan vattenytan
 - Dammhöjd ovan markytan
 - Dammlängd
- Dammens yttre beståndsdelar

- Utformning av dammens erosionsskydd mot vatten
- Yttre erosionsskikt längs med krön och nedströmsslänt som t.ex. gräsbeklädnad eller friktionsjord
- Eventuella förstärkningar och lagningar
- Dammens skick och skador på dammen, se avsnitt 6.1 och områden med större risk för läckage (t.ex. vid genomföringar), instabilitet etc.
- Anslutningar mot terräng och nedströmsområde
 - Berg eller jord vid dammanslutningar
 - Jordart eller områdets karaktär vid nedströmstå och anslutningar

5.3 INMÄTNING

Kanaldammar, invallningsdammar m.fl. kan ha en betydande längd och är många gånger uppförda långt tillbaka i tiden. Är dammens skick okänt och inte varit föremål för underhåll kan lokala skador finnas. Dammens utformning kan också skilja sig längs med dammen. För att få en inledande uppfattning om dammens skick och utformning kan skanning eller fotogrammetri utföras för att få information om dammens dimensioner samt för att lokalisera lokala sättningar, insjunkningar, erosionsskador, branta slänter etc. Detta kan också ligga till grund för att bestämma åtgärds- eller undersökningsbehov. En ytterligare fördel med skanning och fotogrammetri är att de kan jämföras mot efterföljande mätningar för att lokalisera ev. förändringar (se rörelsemätning i avsnitt 6.2). För ett lyckat resultat krävs att vegetation, snö, föremål etc. inte stör mätningarna.

Det inledande arbetet kan också göras med hjälp av handhållen inmätningstrustning, se exempel i (Reschetiuk, o.a., 2022)(Reschetiuk m.fl., 2022) för att samla in underlag om dammens geometri och intilliggande markområden, skador etc. Detta görs då utifrån okulära bedömningar och iakttagelser på plats.

5.4 UNDERVATTENSINSPEKTION

Med en undervattensinspektion kan dammens uppströmssida bedömas. Detta kan ge information om erosionsskador från magasinet (vågor, reglering, vattenströmning etc.) eller skador från ev. djur eller vegetation. En undervattensinspektion kan utföras exempelvis med hjälp av dykare, ekolodning eller med en ROV (undervattensrobot). Vid en undervattensinspektion är bland annat följande intressant att bedöma för att definiera dammens konstruktion:

- Hur är dammens uppströmsslänt utformad avseende erosionsskydd och lutning?
- Förekommer det skillnader i utformning längs med dammen?
- Finns skador under vattenlinjen?
 - Kan utglidning eller instabilitet noteras?

- Kan insjunkningar/sjunkhål till följd av materialtransport noteras?
- Skador till följd av djur?

Lokaliserade skador bör dokumenteras i detalj. Information från ovanstående kan ge underlag till att bedöma dammens stabilitet samt bedöma vilka undersöknings- och åtgärdsbehov som kan finnas.

Även dammens nedströmssida, om delar är belägna under vatten, är intressant att undersöka med tanke på observation av dammens beskaffenhet, eventuella läckage och materialtransport.

Med en ROV kan fotogrammetri utföras vilket möjliggör framtida jämförelser mot efterföljande mätningar. Mätningarna kan tillsammans med ytlig skanning av dammen utgöra ett underlag för framtida dammsäkerhetsarbeten.

5.5 GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR

Det pågår just nu ett Energiforsk-projekt som beskriver geotekniska undersökningsmetoder av fyllningsdammar. En rapport kommer att publiceras under 2022. Rapporten kommer att vara en skriftlig vägledning till olika geotekniska undersöknings- och provtagningsmetoder som kan användas på fyllningsdammar. Efterföljande underavsnitt är inte baserad på resultat från det projektet.

5.5.1 Provgropsgrävning

Provgropsgrävning är en konventionell metod för att undersöka fyllningsdammar och verifiera dess uppbyggnad. Grävning i fyllningsdammar bör ske varsamt eftersom undersökningarna kan skada dammen. I vissa fall saknas helt underlag vilket gör att stor försiktighet måste tas. I de fall återställning ej kan utföras likvärdigt innan grävning kan det ge kvarstående försvagade områden i dammen vilket kan visa sig långt senare, exempelvis i samband med en högflödessituation. Lämpligheten av metoden bör bedömas från fall till fall. För de dammar som ingår inom detta projekt är också utrustning viktig att välja utifrån dammens utformning och bedömd uppbyggnad. Framfart med fordon över krönet kan orsaka skador eller i värsta fall leda till instabilitet i dammen. I vissa fall kan också grundläggningen av dammen ha skett på kompressibel jord, såsom lera och torv och är känslig för ytterligare belastning. Sättningar i grunden nära dammen kan orsaka skador i dammkonstruktionen eller tillhörande dränage- och övervakningssystem.

Genom provgropsgrävning kan dammen åtminstone ytligt kontrolleras för att försöka definiera dammkonstruktionens uppbyggnad avseende tätande skikt (jord och/eller spont) och intilliggande materialskikt (om sådana finns). I en fyllningsdam av "äldre utförande" är det vanligt att dammen är homogen eller har en tät kärnan stående centralt i dammen (ofta med spont/skärm) alternativt lutande längs med uppströmsslänten (jämför med identifierade konstruktioner i kapitel 3). En lutande tät kärna är ofta smalare än en stående vilket gör den mer känslig i samband med provgropsgrävningen. Av RIDAS (Energiföretagen Sverige -

Swedenergy AB, 2019) omnämns att krönet kan friläggas i en slits vinkelrät mot dammen för att erhålla information. Avskalning av krönet bör då ske i tunna skikt.

Påträffas en betongspont/-skärm i krönet på fyllningsdammen kan detta vara en betongparapet/betongföljare som anslutits mot en trä- eller stålspont. Parapet har normalt utförts ovan vattenlinjen (i omrättade förhållanden) där trä- och stålsponter kan ta skada. Om en betongspont påträffas i krönet bör den följas en bit på djupet för att utesluta att detta inte är en betongparapet med underliggande spont av annat slag. I rapporten Energiforsk 2023:915 (Påhlstorp, 2023) framgår att träspont under betongparapeter kan vara i mycket dåligt skick.

5.5.2 Sondering

Borrning i fyllningsdammar 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, särskilt om dammkonstruktionen ej är fastställd då riskbedömningen är svårare att utföra. Det saknas svenska riktlinjer för sondering i fyllningsdammar. Internationell vägledning för borrning och provtagning i fyllningsdammar kan fås av exempelvis (Federal Energy Regulatory Commission, 2016) och (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2014).

Sondering används emellanåt för att bestämma materialegenskaper vilka kan användas som underlag till att exempelvis bedöma dammens stabilitet. För att bestämma lämplig sonderingsmetod för att utreda materialegenskaper kan *Geoteknisk fälthandbok* (SGF:s fältkommitté, 2013) ge vägledning.

5.5.3 Provtagning

I vissa fall kan provtagning av dammens ingående material vara intressant för fortsatta analyser och utvärderingar av dammens täthet, beständighet eller stabilitet. Provtagning och analys kan exempelvis vara möjligt för att definiera tätjord, filter, erosionsskydd, grundläggningmaterial m.m. Provtagning av material utförs i samband med provgrovsgrävning eller vid sondering och kan sedan analyseras på flera olika sätt beroende på vilken information som eftersöks. Analyser görs normalt i ett geotekniklaboratorium.

5.6 GEOFYSISKA MÄTMETODER

Geofysiska mätningar används ibland för att undersöka fyllningsdammar och dess grundläggning. Möjligen kan dessa metoder vara aktuella i de fall man vet lite om dammkonstruktionen och dess grundläggning eller om riskerna med förstörande undersökningar bedöms vara stora. En bedömning av lämpliga metoder får göras från fall till fall. Denna rapport hanterar inte lämpligheten av geofysiska mätmetoder på aktuell dammtyp. Geofysiska undersökningar för dammsäkerhet beskrivs bland annat i (Sjödahl m.fl., 2019).

6 Övervakningsmetoder

Övervakningen av fyllningsdammar bör baseras på dess potentiella felmoder och hur dessa kan utvecklas. Inom detta arbete har felorsaker kopplat till potentiella felmoder beskrivits för fyllningsdammar utformade med tätkärna av lera och för homogena dammar. I detta avsnitt beskrivs översiktligt övervakningsmetoder för att övervaka felorsaker kopplade till dammens täthet, stabilitet och beständighet samt yttre erosion. Det bedöms att konventionella och inarbetade övervakningsmetoder för fyllningsdammar generellt fungerar för att övervaka homogena dammar och dammar med lertätning. Dammarna bedöms dock vara mer känslig för installationer (förstörande metoder) jämfört med konventionella/moderna fyllningsdammar uppbyggda med filter och övergångslager.

6.1 OKULÄR KONTROLL

6.1.1 Ovan vattenytan

Den okulära kontrollen av dammar är normalt viktig för fyllningsdammar. Vissa felorsaker som vegetation, djurhål, ytliga skred, insjunkningar etc. kan vara svåra att upptäcka i ett tidigt skede med hjälp av konventionella mätmetoder. Av RIDAS Tillämpningsvägledning 8 framgår en checklista "*Checklista för stöd vid framtagningsanpassade dokument för exempelvis driftmässig inspektion och inspektion*" som kan användas vid okulära kontroller. Checklistan bör anpassas mot aktuell fyllningsdamm. Av checklistan framgår att följande ska kontrolleras:

- *Sättning/sjunkhål i krön och slänter*
- *Rörelser i krön och slänter*
- *Erosionsskydd skador - sättningar och kondition*
- *Dammens fribord*
- *Dräneringssystem*
- *Uppvattning och läckage*
- *Materialtransport i läckvatten*
- *Träd och växtlighet*
- *Onormalt läckage eller uppvattning*
- *Materialtransport - grumling i läckevatten (mätöverfall).*
- *Övriga skador*

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.

För att upptäcka skadlig växtlighet och djuraktivitet bedöms den okulära kontrollen viktig. Särskilt bör dammarna inspekteras efter tjällossning, snösmältning, kraftig nederbörd vilket kan orsaka insjunkningar/sättningar av gångar och hålighet som djur skapat inuti dammen. I det fall skador upptäcks på dammen och tros bero av något djur bör dammen kontrolleras oftare för att säkerställa att djuret inte återkommer. En fyllningsdamm med lutande tätkärna (som ofta är smal och placerad nära uppströmsslänten) kan vara särskilt känslig mot skador under vattenytan.

6.1.2 Under vattenytan

Okulära kontroller under vattenytan kan utföras av dykare eller med hjälp av ekolodning eller ROV (undervattensrobot). Vid en undervattensinspektion av fyllningsdammar kan följande punkter vara intressanta att följa upp:

- Insjunkning/sjunkhål i dammens uppströmsslänt eller uppströmssliggande botten till följd av materialtransport.
- Erosionsskador till följd av vattenströmning, vågverkan, isverkan, fartyg, djurhål etc.
- Skred/ras till följd av instabilitet i uppströmsslänten (eller nedströmsslänten om en nedströmsvattenyta finns).

Iakttagelser bör noggrant dokumenteras för att skador ska kunna följas upp vid fortsatta kontroller.

6.2 RÖRELSEMÄTNING (DEFORMATIONSMÄTNING)

Tidigare i rapporten har det påtalats att sättningar kan förekomma i fyllningsdammar. Sättningar kan ha uppkommit efter att dammen uppförts på "mjuk"/grundläggning (av kompressibel jord) eller genom att dammen ej packats tillräckligt väl. Beroende på vilket underhåll dammen har fått bedöms vissa dammar ha exempelvis lägre krönnivå än vad som avsetts. Manuella mätningar med totalstation/GPS (punktbaserade metoder) kan vara lämplig att utföra för att verifiera krönnivå samt kontroll av slänter där misstanke om rörelse eller risk för instabilitet finns.

Heltäckande rörelsemätning (ytbaserade metoder) bedöms i många fall kunna vara en lämplig metod för fyllningsdammar. Exempelvis kan kanaldammar och invallningsdammar ha en betydande längd, varierande slänlutning och är många gånger uppförda långt tillbaka i tiden. Genom att utföra fotogrammetri eller skanning av dammens yta kan relativa jämförelser göras mellan mättillfällena vilket kan ge information om ev. nya deformationer på dammen. För att utföra en sådan mätning krävs att mätningarna från respektive tillfälle är jämförbara. Därav måste det ses till att exempelvis sly, växtligheter, snö, eller föremål inte påverkar mätningen varför underhållsaktiviteter bör planeras inför skanningen. Av

skanningen bör exempelvis lågpunkter i krönet, ev. förhöjningar eller utglidningar i dammens slänter, erosionsskador m.m. kunna fångas upp.

Konventionella metoder kan användas för att övervaka rörelser i fyllningsdammar. Avvägning av mätdubbar har varit vanligt i (framför allt högre) svenska fyllningsdammar och inledningsvis använts för att mäta sättningsförloppet i dammen. Mätdubbarna har oftast varit anslutna till dammens tätkärna. I de flesta fall har dessa mätningar upphört efter en tid när de inledande sättningarna avstannat. Finns mätdata och mätdubbar kvar kan dessa användas för att kontrollera sättningar sedan byggtiden. För att övervaka (låga) homogena dammar och dammar med lertätning som funnits under lång tid bedöms nya mätdubbar generellt inte vara nödvändigt att installera om inte specifika förutsättningar gör dessa lämpliga. Mätdubbar ger endast lokal information om tätkärnans nivå.

I (Reschetiuk m.fl., 2022) framgår beskrivningar av rörelsemätning som kan utföras på fyllningsdammar. Rapporten tar upp punktbaseade metoder, ytbaserade metoder och rörelsemätning i dammkroppen.

6.3 LÄCKAGEMÄTNING

Läckagemätning i fyllningsdammar är den vanligaste mätmetoden i Sverige för att upptäcka förändringar i dammens tätande förmåga. Ett ökat läckage kan vara en indikation på att en felmod utvecklas. Läckagemätning är en lämplig metod även för de fyllningsdammar som ingår inom detta projekt. I (ICOLD - B157, 2016) lyfts det fram att läckageflödet kontrolleras utifrån mängd och grumlighet för att upptäcka förändringar i dammen. Det är den vanligaste metoden för att upptäcka inre erosion och piping i fyllningsdammar.

Läckagemätning kan ofta "störas" av nederbörd, snösmältning, grundvatteninträngning eller nedströmsvattenytor. Mätningar av dessa kan således vara nödvändigt för att förstå hur dammen fungerar och utesluta felaktiga registreringar.

Är det inte möjligt att samla upp och kvantifiera läckageflödet kan tryck- eller temperaturmätning i vatten- eller portrycksrör utvärderas (se efterföljande avsnitt). Mätning av läckageflöde på dammar beskrivs bland annat av (Nilsson, 1995) och (Malm m.fl., 2019).

I det fall materialtransport förekommer med läckageflödet, eller misstänks förekomma, kan turbiditetsmätning komplettera läckagemätningen.

6.4 PORTRYCKSMÄTNING

Övervakning med tryckmätning (öppna eller slutna system) kan vara aktuellt om exempelvis ett ökat upptryck kan orsaka försämrad stabilitet. Tryckmätning kan också användas för att övervaka läckageflödet genom eller under dammen. Vid tätare dammar (t.ex. lertätning) bör slutna system övervägas eftersom det kan ta lång tid innan en portryckförändring etablerar sig i ett öppet system. Läget för installationen bör baseras på dammens funktion för att få en indikation om

förändring i ett så tidigt skede som möjligt. Risker kopplat till installation (som oftast görs med sondering) måste utvärderas och hanteras.

I (ICOLD - B158, 2018) framförs att installationer i fyllningsdammar med lertätning eller fyllningsdammar som grundlagts på lera är känsliga för nyinstallation av mätutrustning. Arbetet måste nogt planeras och utföras omsorgsfullt. Borrning med vatten eller luft som spolmedel avråds helt för att undvika riskerna för uppspräckning (fracturing). Sonic drilling framförs som den mest lämpade borrhningsmetoden.

Tryckmätning beskrivs bland annat i (Nilsson, 1995) och (Malm m.fl., 2019).

6.5 TEMPERATURMÄTNING

Av (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019) framgår att temperaturmätning kan ske i vattenståndsrör eller med optisk fiber för att upptäcka läckageförändringar. Viss information om läckageflödets storlek kan erhållas genom att analysera temperaturens årsvariation. Temperaturmätning kan också vara en lämplig övervakningsmetod när dammen motdäms av en nedströmsvattenyta som förhindrar konventionell läckagemätning. Temperaturmätning i fyllningsdammar beskrivs bland annat i (Sjödahl m.fl., 2019) och (Johansson & Sjödahl, 2009).

Det finns exempel av läckagemätningssystem som utförts med optisk fiber och kontinuerlig temperaturmätning längs med långa kanaldammar, se exempelvis (Westerberg P., 2009).

6.6 TURBIDITETSMÄTNING

Grumlighetsmätning eller turbiditetsmätning kan vara en mätmetod att använda sig av för att följa eller upptäcka ev. materialtransport med läckageflödet. Mätningen sker vanligtvis i en mätbrunn där mätöverfall för läckagemätning finns. Turbiditetsmätning kan ge svar på om samt när grumlingar inträffar. Installation av turbiditetsgivare har ofta skett efter misstanke om pågående materialtransport, exempelvis från okulära observationer.

6.7 TILLÄGGSMÄTNINGAR

För att utvärdera läckage-, tryck- och rörelsemätning behöver ofta upp- och nedströmsvattenytan beaktas för att av mätdata kunna identifiera eventuella förändringar kopplat till en skada i dammen. Även nederbörd och omgivande temperatur kan vara nödvändigt för att utvärdera mätdata och för att utesluta registreringar som ej beror av läckageförändringar.

6.8 GEOFYSISKA MÄTMETODER

I det fall konventionell övervakning inte går att få till på dammarna kan geofysiska mätmetoder övervägas. En övergripande analys av tillgängliga och relevanta metoder för geofysiska mätningar, med avseende på dammsäkerhet, finns i (Sjödahl m.fl., 2019).

7 Reparations- och förstärkningsmetoder

Inom detta kapitel listas förstärkningsmetoder och reparationsmetoder som kan användas för att reparera eller förstärka fyllningsdammar som är aktuella för projektet. Inför en förstärkningsåtgärd bör en analys göras för att reparationen ska falla väl ut och att dammen i övrigt inte tar skada. Beskrivna lösningar eller exempel som presenteras i detta kapitel, ska inte ses som färdigprojekterade lösningar. Reparationer och förstärkningsåtgärder bör baseras på dammens utformning, grundläggning, skick samt konsekvens vid dammhaveri (dammsäkerhetsklass). Åtgärder som presenteras i detta kapitel kan kräva tillstånd och/eller dialog av/med myndigheter och andra intressenter.

7.1 OTILLRÄCKLIG STABILITET

7.1.1 Stödbank

I Sverige har många fyllningsdammar förstärkts med stödbank för att förbättra dammens stabilitet och dränagekapacitet. Av RIDAS framgår både vägledning för stabilitetsberäkningar samt utformning av stödbankar (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019). Exempel av stödbankar som utförts på svenska fyllningsdammar framgår av handlingen (Ekström m.fl., 2016).

För dammar inom detta projekt bedöms stödbank vara ett lämpligt alternativ om dammens säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott bedömts vara låga. Det måste dock först verifieras att både damm och undergrund klarar av den påförda lasten utan att skadas. Om dammen är utförd eller grundlagd på sättningbenäget material finns risk att dammen skadas.

Är dammens uppströmssida känslig mot hastig avsänkning eller har generellt låga säkerhetsfaktorer mot glidytor kan även dessa förstärkas med en stödbank i magasinet. Ev. kan riskerna för att dammen utsätts för detta lastfall minskas genom planering av magasinreglering och avsänkingshastigheter.

Emellanåt råder platsbrist vid förstärkningsarbeten. Detta kan exempelvis vara intill utskovspartier eller vid branta slänter. Det finns flera exempel där stenfyllda nätkorgar använts för att förstärka dammen.

7.1.2 Dränage

Om porttrycken är höga och dammens stabilitet låg kan dränage förbättra dammens stabilitet. I homogena dammar kan höga porttryck förväntas om inte dammen försetts med t.ex. en filtrerande dammtå. Genom att installera kompletterande dränage kan porttrycket i dammens nedströmsdel sänkas och eventuellt läckage avledas, vilket är gynnsamt för dammens stabilitet.

7.1.3 Utskiftning av material

I det fall dammens upp- eller nedströmsslänt inte är tillräcklig stabil kan eventuellt utskiftning av dammens material vara möjligt för att erhålla en mer dränerande konstruktion och säkerställa dammens stabilitet. Detta medför att mindre (eller ingen) påförd last krävs och att riskerna för sättningar (och skador) på grund av tilläggslasten därmed minskas.

7.1.4 Fyllning och packning vid lokala skador

För homogena dammar och dammar med lertätning kan skador uppkomma av exempelvis nederbörd, snösmältning, trafik, djuraktivitet, trädrotsystem m.m. Detta kan bland annat försämra dammens stabilitet. Lokala åtgärder vid skador är då ofta nödvändiga att utföra innan skadan utvecklas ytterligare eller i värsta fall till ett haveri. Av (FEMA, 2005) framgår exempel på reparationsåtgärder som görs vid lokala skador till följd av djur. Skadorna repareras normalt genom lokal schakt till det att "oskadad" damm återfinns. Därefter återfylls skadan och packas noggrant i tunna skikt. Även ytskikt av gräs, grus etc. återplanteras eller läggs ut för att minska risken för ytterligare erosions-skador.

7.2 OTILLRÄCKLIGT FRIBORD

7.2.1 Höjning av tätkärna och dammkrön

I (ICOLD - B157, 2016) anges några alternativ för att öka dammens fribord. Av rapporten framgår följande förslag:

- **Betongskärm/Betongparapet** kan användas för att höja dammens krön. Betongskärmen måste kunna hantera vattenlast och upptryck med tillräcklig säkerhetsmarginal. Det måste säkerställas att vatten inte kan strömma genom det permeabla dammkrönet (mellan tätkärna och betongskärm). Ett vattentätt membran kan anslutas mellan betongskärmen och tätjorden.
- **Höjning med jord.** Görs normalt med jordfyllning med start från dammtå, längs med nedströmsslänten och upp över krön. För att utföra en sådan höjning måste följande beaktas. **1)** Nedströmssläntens stabilitet samt "in situ"-grundläggningen måste analyseras. Både det påförda jordmaterialets egenskaper samt egenskaperna i den ursprungliga dammen ska vara kända för att kunna göra rimliga analyser. **2)** Ett filterskikt bör övervägas i gränsskiktet mellan befintlig damm och påförd jordfyllning. Dräneringen kan avleda läckageflöden och hålla ned/minska den omättade zonen i dammen. **3)** En ny dammtådränering som ansluter till den befintliga dräneringen bör övervägas.
- En **plastspons** kan användas för att höja dammens fribord. Plastsporten förankras i tätkärnans krön. Metoden anges vara fördelaktigt om tätkärnan riskerar att utsättas för tjälning.

Av (Ekström m.fl., 2016) framgår ett flertal exempel av utförda dammhöjningar i Sverige. Dammhöjningarna är utförda med morän, PVC-spont och geomembran. I

presentationen finns även tjälskydd med skumglas samt vågskydd av betong. Stålspons har också använts för att höja dammens tåtkärna.

7.2.2 Erosionsskydd

Av RIDAS framgår vägledning för hur ett erosionsskydd ska dimensioneras. Erosionsskydd utförs normalt av krossmaterial som läggs i flera lager där filterkriterier uppfylls mellan dammens stödfyllning och yttersta erosionsskikt. Erosionsskyddet dimensioneras för att klara av våg- och ev. islast. Av (Ekström m.fl., 2016) framgår exempel på erosionsskydd som utförts på fyllningsdammar i Sverige.

Betongmadrass

Det finns ett antal fyllningsdammar som är förstärkta med ett erosionsskydd av betongmadrass. Normalt på svenska fyllningsdammar har detta gjorts exempelvis intill utskovspartier där konventionellt erosionsskydd ej får plats. En nackdel med dessa är att skador (till följd av materialtransport) under madrassen ej kan upptäckas okulärt. Betongmadrasser finns både som täta och dränerande (filterpunktsmadrass). Av tillverkaren (Tecomatic, 2022) framgår att det kan vara en snabb och effektiv metod för att stabilisera, erosionsskydda och täta kanaler och dammar.

Våguppspolningsskydd

I det fall då vågor riskerar att slå över dammens krön kan våguppspolningsskydd göras. Detta har ibland gjorts genom att en betongvägg installeras vid uppströmskanten av krönet. Betongväggen tillsammans med erosionsskyddet längs uppströmslätten utgör då dammens erosionsskydd. Av (Ekström m.fl., 2016) framgår ett exempel med vågskydd av betong i dammens uppströmskant.

Stenfyllda nätkorgar har bl.a. använts som uppspolningsskydd på krönet för att minska risken för vågerosion samt som erosionsskydd intill utskovspartier. Våguppspolningsskydd görs också emellanåt av block.

Vågskyddande konstruktionslösningar med plastspont bör fungera vid vissa fyllningsdammar. Av plastsponttillverkare framgår exempel av förstärkningar som utförts som skydd mot vågor, i denna rapports underlag har ej exempel på användning vid dammkonstruktioner mottagits/lokaliseras.

Ytskikt

Fyllningsdammarnas ytskikt ska vara tåliga mot yttre laster som kan leda till erosion. För fyllningsdammar av "äldre utförande" utfördes detta vanligtvis av gräsbeklädnad, medan ytskiktet numera normalt utförs med friktionsjord.

7.3 OTILLRÄCKLIG TÄTHET

7.3.1 Nya tätskärmar

Av (Ekström m.fl., 2016) framgår exempel på utförda reparationsmetoder för att uppgradera dammens tätande förmåga. I rapporten beskrivs tätskärmar med slurry walls, diaphragm walls, rörpålar, sekantpålar, injektering. Av rapporten framgår också exempel av reparationer som utförts i Sverige. Reparationerna är i många fall utförda på högre dammar än vad som ingår inom ramen för detta projekt men kan ändå ge vägledning för metoder som använts på fyllningsdammar. Inom detta uppdrag görs ingen fördjupning av dessa metoder.

Tättningsanordningar ska aldrig utföras på nedströmssidan av dammen. Sådana lösningar riskerar att höja portrycket/upptrycket i dammen vilket kan påverka dammens stabilitet.

Av (Ekström m.fl., 2016) påtalas att det kan vara svårt att avgöra om ett läckageflöde är skadligt för dammen och om reparationsåtgärder måste utföras. Om det beslutas att dammen behöver åtgärdas finns två kategorier (som kan användas i kombination) - ny tätskärm eller begränsning och kontroll av läckageflödet (se exempel i efterföljande avsnitt om omvända filter).

Inom detta projekt har inga tydliga exempel erhållits där homogena dammar eller dammar med lertätning injekterats för att reparera den tätande förmågan. Dock nämns att jordinjektering gjorts vid en homogen fyllningsdamm invid utskovspartier samt i anslutning mot terräng. I Sverige finns dammar där injektering utförts. Flera tidigare Energiforskningsprojekt (inkl. Elforskningsprojekt) behandlar ämnet.

För att förbättra tätheten i grundläggningen eller intill känsliga partier (exempelvis vid anslutning mot spont eller betongkonstruktion) kan en panur/tätmatte anläggas i magasinet. Panuren behöver anslutas till dammens befintliga tätning. (CIRIA, 2013).

Plastsponten används alltmer i olika konstruktioner. Fördelar som nämns är att de är lätta, rostar inte, påverkas inte av saltvatten m.m. Plastspont bedöms ha en begränsad möjlighet att installeras genom grövre friktionsjordar. Däremot kan sponterna vara mer lämpliga vid de dammar som är uppbyggda av eller utförda på kohesionsjord eller möjligen vid finkorniga friktionsjordar. Inom projektet har ingen erfarenheter om plastspont i dammar samlats in, förutom att ett par projekt där plastsponterna grävts ned. Vid eventuella framtida reparationer kan plastspont övervägas som ett alternativ då de bedöms ha många fördelar. Riskerna med att slå ned en spont måste hanteras för att undvika att dammen tar skada i installationsskedet.

Geomembran används i många närliggande konstruktionstyper till "låga" fyllningsdammar då man vill förhindra in- eller utläckage. Geomembran används som grundvattenskydd, botten tätning av deponier, skydd mot läckage i dammar, kanaler m.m. I (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2018) nämns att användandet av geomembran ökat drastiskt sedan 1990-talet inom olika verksamheter. Vid användande i dammar nämns nackdelarna att membranet

riskerar att skadas i samband med installation, att täcksiktet ovan membranet kan bli instabilt, att geomembranen kan ha kort livslängd, att det är lätt att felaktiga/misslyckade anslutningar uppstår mot intilliggande konstruktioner (exempelvis utskov) samt att det finns risk för ojämna töjningar vid anslutningar. Vidare nämns att om geomembranen täcks med material kommer livslängden att öka. Det finns dock risker kopplat till degradering och skador till följd av exempelvis trädrötter och djurhål. Geomembranen används sällan av USBR vid kritiska lägen eller som det enda skiktet för att kontrollera eller reducera läckageflödet. Geomembran anges användas i fyllningsdammar i följande sammanhang:

- Tätande uppströmssida på fyllningsdammar
- Andra tätande skikt i dammar
- Dammhöjningar
- Läckageavskärmning/tätdike
- Panurer/tätmatror
- Reparation vid läckage
- Tillfälliga lösningar, exempelvis fångdammar

För ytterligare information och exempel hänvisas till (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2018).

7.3.2 Omvända filter

För att förhindra materialtransport från dammen kan dammen förses med filterskikt, ofta kallad för omvända filter. Filtren dimensioneras utifrån jordmaterialet i dammen och byggs upp med materialskikt anpassade efter filterkriterier. Filterkriterier finns beskrivna i RIDAS (Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB, 2019). Filter med övergångslager kommer inte att minska läckageflödet, men har möjlighet att förhindra ytterligare materialtransport. Läckageflödet bör ledas bort från dammen och övervakas.

Det finns exempel på kanaldammar där förstärkningsåtgärder utförts lokalt över ett flertal källsprång som noterats i nedströmsslätten. Insatserna inriktades således mot de områden där försvagningar i dammkonstruktionen noterats.

7.3.3 Renovering av genomföringar

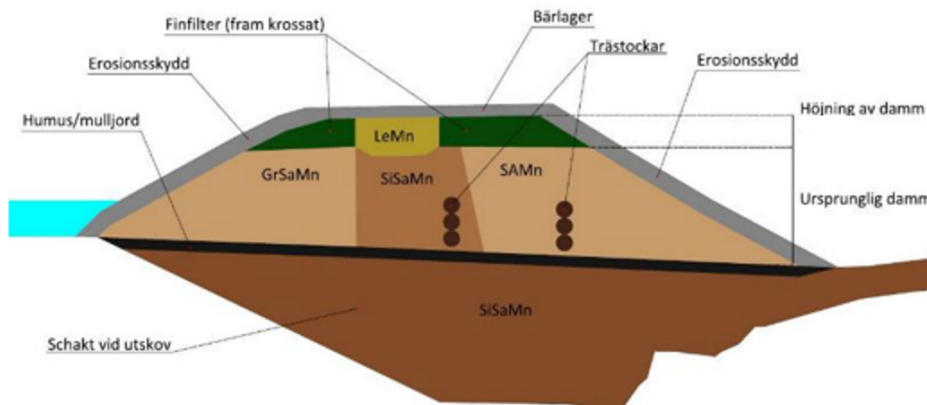
Rör genomföringar i fyllningsdammar är förknippade med risker kopplade till beständigheten samt risker kopplade till otillräcklig packning runt genomföringen. Ett läckageflöde kan orsaka materialtransport. För att undvika att läckageflödet ökar längs med genomföringen eller läcker in i genomföringen bör genomföringen underhållas eller bytas ut. I (ICOLD - B157, 2016) listas för och nackdelar med olika alternativ, som t.ex. relining/rörinfodring. I rapporten påtalas också att området kring genomföringens nedströmssida kan förstärkas med filter för att hindra materialtransport från dammen ifall läckage och materialtransport uppstår. I vissa fall kan genomföringen behöva överges/skrotas. I sådant fall nämns att

genomföringen ska fyllas med betong eller på annat sätt förslutas.
Öppningen/anslutningen i nedströmsänden ska förses med filtervägg för att förhindra läckage omkring genomföringen.

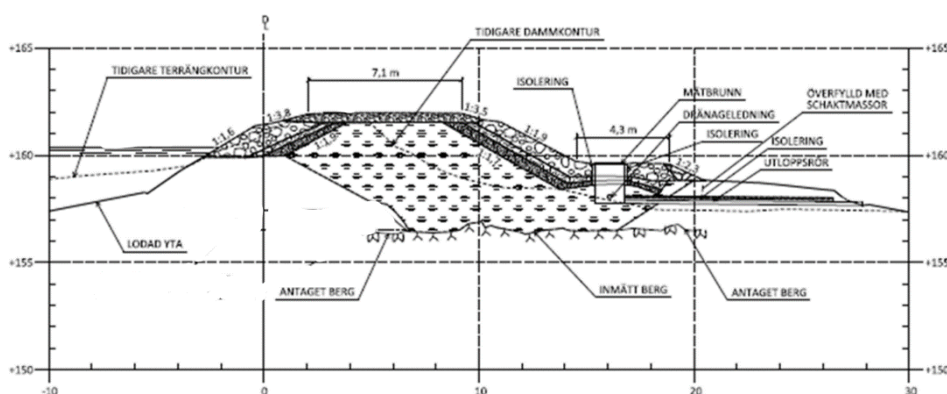
7.3.4 Delvis rivning och återuppbyggnad

För dammar där nuvarande utformning bedömts som otillräcklig ur dammsäkerhetssynpunkt, krävs sällan fullständig rivning och nybyggnation. Dammarna kan i stället delvis rivas, beroende på dess tidigare uppbyggnad och vilka nya riktlinjer som ska uppfyllas.

I nedanstående Figur 7.1 visas en dammkonstruktion troligen byggd under 1500-talet med ombyggnationer vid flera tillfällen under 1900-talet. I Figur 7.2 visas en mer modern ombyggnation där delar av ursprunglig dammkropp utgör uppströms stödfyllning och de nya dammdelarna utförs ovan och nedströms denna.



Figur 7.1 Sektion av damm troligen uppförd på 1500-talet med geometri och tät-samt fyllningsmaterial efter flertalet ombyggnationer



Figur 7.2 Dammens tvärsnitt efter modern ombyggnation, vilken visar på att ursprunglig dammgeometri har bevarats och ny konstruktion byggs ovan och på nedströmsidan

8 Slutsatser

Av genomgången underlag har det framkommit att fyllningsdammars tätande skikt uppförda fram till ca 1950-talet ofta har utförts med spont/skärm av trä, stål eller betong. Kunskapen om bland annat packningsmetoder var ej tillräcklig innan ca 1950-talet och sättningar uppkom ofta vid uppdämning. Sponten/skärmen ansågs utgöra en extra säkerhet i dammen. I många fall har fyllningsdammarna också utförts med en lutande eller stående tät kärna av lera eller som homogena dammar. Grundläggningen av dammarna har i många fall beaktats noga då dammens tätande skikt förts ned till tät grund.

Fyllningsdammav har uppförts i samband med anläggandet av kanaler och torrläggning m.m. Dessa dammar är ofta utförda av schaktmaterial från nedströmsliggande dikesgrävning eller kanalutgrävning. Utformning och ingående material kan skilja sig åt längs med dammen.

Det bedöms komplicerat att helt bestämma hur en fyllningsdamm av "äldre utförande" är utformad om underlag saknas. Många olika tekniska lösningar och material har använts för att konstruera fyllningsdammav. Grundläggningssätten skiljer sig också åt. Dammens inledande användningsområde, tidsperiod för uppförande samt omkringliggande terräng kan ge viss vägledning om hur dammen kan tänkas vara konstruerad. I många fall kan dammarna ha byggts om eller höjts vid olika tillfällen p.g.a. exempelvis förändrade ändamål, reparationer eller för att förbättra magasinering. Ombyggnationer kan göra det svårt att definiera dammens konstruktion.

Alltmer litteratur digitaliseras, beroende dels av teknisk utveckling och av att upphovsrätten upphör. Upphovsrätten kan skilja sig åt från olika länder. Dokumentation som tidigare funnits "låsta" till bokexemplar, tidskrifter, tidningar på exempelvis bibliotek, i privat ägo etc. kan bli tillgängligt för allmänheten via sökningar på internet. För dammägare kan det vara intressant att göra sökningar i äldre litteratur för att hitta beskrivningar av dammar där exempelvis underlag saknas eller är bristfälligt. Många intressanta projekt finns presenterade.

Följande slutsatser har dragits för homogena dammar och dammar med lertätning:

- Inre erosion bedöms vara en relevant felorsak då filterfunktionen inte är tillräcklig. Dammarna bedöms vara särskilt känsliga för läckage och inre erosion vid anslutningar, genomföringar, vid ojämna grundläggningsförhållanden m.m.
- Homogena dammar bedöms särskilt känsliga för instabilitet då porttryckslinjen genom dammen kan bli hög och filtrerande skikt saknas. Felorsaker (exempelvis ökat läckage, yttre erosion m.m.) som försämrar stabiliteten kan leda till att en felmod utvecklas.
- Fyllningsdammav med lutande tät kärna av lera bedöms särskilt känsliga för instabilitet i uppströmsslätten vid avsänkning av uppströmsvattenytan.

- Dammar uppförda av lera eller grundlagda på lera bedöms särskilt känsliga mot ändrade lastförhållanden (exempelvis dammtåförstärkningar eller tunga fordon) vilket kan leda till sättningar och uppsprickning av tätande skikt.
- Dammarna bedöms kunna vara mer känslig för tjälning, rotsystem/växtlighet och djurhål än zonerade dammar utförda med friktionsjord. Dammar där tätskikten är smala bedöms särskilt känsliga.
- Konventionella och inarbetade undersöknings- och övervakningsmetoder bedöms kunna användas. Läckagemätning bedöms vara den övervakningsmetod som primärt bör användas för att övervaka dammens tätande förmåga. Skanning eller fotogrammetri av dammens yta bedöms lämplig för att både undersöka och övervaka dammen utifrån sättningar, erosionsskador, utglidningar m.m. Överlag bedöms den okulära kontrollen vara av stor vikt, framför allt av dammar där underhåll och inspektioner återhållsamt utförts. Särskilda risker finns vid geotekniska undersökningar där riskanalys är av stor vikt innan utförande.
- Konventionella förstärkningsmetoder bedöms kunna användas. Dammar uppförda på "lös" grund och av sättningsbenäget material kan vara känsliga för extra belastning av stödbankar, överfart med fordon etc. Möjligen kan lättare material som plastspont och geomembran vara lämpliga då dessa material inte tillför någon större extra last. Utskiftning av material kan göra att tilläggslasterna blir låga/försumbara och att dammsäkerheten förbättras avseende stabilitet och/eller täthet.

9 Rekommendationer

Detta arbete bör ses som en inledande sammanställning av kunskapsläget om fyllningsdammar uppförda innan moderna anvisningar och handböcker fanns framtagna. Rapporten bedöms kunna kompletteras utifrån ett flertal aspekter vilka punktlistas nedan.

- En avgränsning utfördes inom projektet där fokus framför allt var på homogena dammar och fyllningsdammar med lertätning. Utöver detta kan fördjupade arbeten utföras inom:
 - **Fyllningsdammar med betongskärm.** För dessa utgör betongskärmen en stor del av den tätande och stabiliserande förmågan. Vilken beständighet kan förväntas över tid beroende på tidsperiod för konstruktion, vilka skador kan vara inbyggda i dammen sett till hur betongskärmarna var tänkt att fungera vid uppdämning och efteråt? Hur kan fyllningsdammen bäst övervakas? Förväntade underhåll/reparationer?
 - **Panurer och strandtätningar (strandskoning med tätning).** Dessa utgör en del av anläggningens dämmande förmåga. Ofta kan de vara långt uppdragna längs med magasinbotten eller en strandanslutning för att förlänga läckagevägen under dammen eller i dess anslutning. Hur har dessa normalt dimensionerats och vilka är riskerna kopplat till degradering samt var degraderingen sker? Strandtätningar utgör också ett erosionskyddande skikt samt en del av släntens stabilitet. Stranden kan vara exempelvis en ås eller nipa, vilken är olika känslig för ras respektive skred beroende på dess uppbyggnad och vilka laster den utsätts för. Ett skred/ras kan påverka dammsäkerheten på flera vis, exempelvis genom att dammens anslutning överströmmas, av att läckagevägen förkortas vilket riskerar att läckageflödet ökar och orsakar inre erosion, avbördningsanordningar blockeras m.m. Vilka underhåll/reparationer är vanligt förekommande? Hur övervakas konstruktionen normalt och vad bedöms lämpligt?
- I underlaget har lite information om hur fyllningsdammens stabilitet beräknats/beaktats noterats. Möjligen har erfarenheter nyttjats om tidigare projekt vilket t.ex. kan ha resulterat i att dammarnas slänter flackats ut om jordmaterial med sämre egenskaper används. Eventuellt kan man utläsa från underlaget att dammens uppströmssida har varit mer i fokus än dammens nedströmssida. Hur har slänt- och grundstabilitet beräknats tidigare? Vilka riktlinjer, metodik, krav på erforderliga säkerhetsfaktorer har använts historiskt sett? Skiljer sig detta från nuvarande riktlinjer? Information från geotekniken för närliggande konstruktionstyper kan möjligen vara vägledande.
- En fördjupning i hur ingående fyllningsdammsmaterials beständighet och hållfasthet påverkas över tid och hur det kan påverka dammens säkerhet. I

projektet finns ett antal felorsaker kopplat till materialens beständighet. Vissa material används ej längre vid dammkonstruktion så som mossor, organiska jordarter m.m. men kommer över tid att få förändrade egenskaper. Trä, stål och betong har också producerats och utvecklats över tid vilket gör att dammar från en viss tidsperiod kan ha specifika felorsaker kopplat till beständighetsfrågor. Även beständighetsfrågor till mineraljordar är intressanta att följa upp för att försöka förstå vilken effekt exempelvis vittringsbenägna jordar kan ha på dammens täthet och stabilitet. Erfarenheter från underhåll och reparationer kopplat till beständighetsfrågor från dammägare kan sammanställas och åskådliggöras med figurer/foton.

- Erfarenheter från reparationer/förstärkningar av fyllningsdammar kopplat till "nyare" material som geotextiler, geomembran och plastspont kan sammanställas och beskrivas för att underlätta framtida dammsäkerhetsarbeten på fyllningsdammar.
- Kompletterande arkivgenomgång av äldre handlingar rekommenderas att göras inom exempelvis en tioårsperiod för att förbättra underlaget till sammanställningen som gjorts inom detta projekt. I detta skede bör riktlinjer eller vägledning (ev. internationella) försöka ringas in för att bättre förstå hur dammkonstruktioner byggdes och underhölls. Möjligen är detta enklare för dammar som uppförts under vattenkraftseran som inleddes i slutet av 1800-talet. En litteraturförteckning kan också upprättas över tidskrifter, litteratur etc. för att enklare kunna hitta information. Arbetsmetodik och maskinell utveckling, geoteknikens utveckling har haft betydelse för sättet dammen konstruerats på varför även sådant kan kartläggas.

10 Referenser

- Alin, Å. (den 19 Januari 1921). Moderna dammar i Nordamerika. *Teknisk tidsskrift*, ss. 10-12.
- Andersson, A.-L. (2011). *Svenska vattenledningar och vattenreservoarer, 1860-1910*. Skånelandens Nation.
- Avén, S. (1985). *Handboken BYGG Väg- och vattenbyggnader Band IV*. Stockholm: Liber förlag.
- Bennström, G. (2014). *Arkeologisk förundersökning vid Frötjärnen i samband med reparation av fördämning i hytt och hammarområde RAÄ i Grangärde socken, Ludvika kommun, Dalarna*. Falun: Dalarnas museum.
- Beskow, G. (1951). *Amerikansk och svensk jordklassifikation - speciellt för vägar och flygfält*. Stockholm: Statens väginstitut.
- Bond, H. (den 02 11 2022). *Mångbergsdammen*. Hämtat från <https://mangberg.se/spec-doc/Damm-2020.htm>
- CIRIA. (2013). *The International Levee Handbook*. London: CIRIA.
- Delin, B., Höker-Berg, T., Borquist, W., & Cronvall, E. (den 15 Oktober 1915). Älfkarleby kraftverk. *Teknisk tidsskrift*, ss. 389-411.
- Dicksson, I., & Spade, B. (2016). *Dammägarens handbok*. Mölndal: Industriantikvarie Ida Dicksson.
- Ekström, I., Nilsson, Å., & Wilén, P. (2016). *Reparationsmetoder för fyllningsdammar*. Stockholm: Energiforsk AB.
- Ekwall, A., & Flodin, H. (den 23 Maj 1936). Malfors kraftanläggning i Motala Ström. *Teknisk tidsskrift*, ss. 49-55.
- Ekwall, A., Dahl, O., & Löfgren, G. (den 5 Juni 1937). Det moderna vattenkraftverket. *Teknisk tidsskrift*, ss. 85-101.
- Elfman, S. (1957). Lasele kraftstation. *Teknisk tidsskrift*, ss. 941-951.
- Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB. (2019). *RIDAS 2019 - Energiföretagens riktlinjer fr dammsäkerhet*. Stockholm: Energiföretagen Sverige - Swedenergy AB.
- Federal Energy Regulatory Commission. (2016). *GUIDELINES FOR DRILLING IN AND NEAR EMBANKMENT DAMS version 3.1*.
- FEMA. (2005). *Technical Manual for Dam Owners - Impacts of Animals on Earthen Dams*.
- Furuskog, V. (den 23 December 1939). Byggnadstekniska särdrag hos några nya vattenkraftverk. *Teknisk tidsskrift*, ss. 153-164.
- Handboken BYGG. (1949). *Handboken BYGG Band IV Väg och Vattenbyggnad*. Stockholm: Tidskriften byggmästarens förlag.
- ICOLD - B157. (2016). *Small dams - Design, Surveillance and Rehabilitation - Bulletin 157*.
- ICOLD - B158. (2018). *Dam Surveillance Guide (B158)*. ICOLD.
- ICOLD - B164. (2017). *Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations, Bulletin 164*.
- Johansson, S., & Sjö Dahl, P. (2009). *A Guide for seepage monitoring of embankment dams using temperature measurements*. Montreal: CEA Technologies Inc.
- Jordbruksverket. (2009). *Klimatförändringarna och invallningen*. Jönköping: Jordbruksverket.
- Juhlin-Dannfeldt, H. (. (1923). *Lantmannens uppslagsbok*. Stockholm: P. A. NORSTEDT & SÖNERS FÖRLAG.
- Karlsson, R., & Hansbo, S. (1984). *Jordarternas indelning och benämning*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.

- Kristianstads kommun. (den 27 10 2022). *Kristianstads kommun*. Hämtat från Omsorg och hjälp: <https://www.kristianstad.se/so/omsorg-och-hjalp/trygg-och-saker/skydd-mot-oversvamningar/>
- Kungl. Vattenfallsstyrelsen. (1942-1943). *Handbok för driftpersonal vid statens kraftverk (2:a upplagan)*. Stockholm: Kungl. Vattenfallsstyrelsen.
- Kungliga vattenfallsstyrelsen. (1910). *Die Wasserkräfte Schwedens und deren ausnutzung*. Stockholm: Kungliga vattenfallsstyrelsen.
- Kungliga vattenfallsstyrelsen. (1916). *Redogörelse för Arbetena med Trollhätte kanals ombyggnad 1912-1913*. Stockholm: Kungliga vattenfallsstyrelsens byggnadsbyrå.
- Kungliga vattenfallsstyrelsen. (1916). *Redogörelserna för arbetena med Trollhätte kanals ombyggnad 1912-1913*. Uppsala: Kungliga vattenfallsstyrelsen.
- Kungliga vattenfallsstyrelsen. (1916). *Trollhätte kanal och dess ombyggnad 1909 - 1916*. Stockholm: Kungliga vattenfallsstyrelsen.
- Lagerlund, J., & Nilsson, Å. (2020). *Anslutningar i fyllningsdammar - Utformning, möjliga skador, detektion och åtgärder*. Stockholm: Energiforsk AB.
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Linköping: Statens geotekniska institut.
- Lundin, S.-E. (2000). *Geotekniken i Sverige 1920-1945*. Linköping: Svenska Geotekniska Föreningen.
- Lübeck, S. (den 15 Februari 1911). Sydsvenska kraftaktiebolagets vattenkraftsanläggningar i Lagan. *Teknisk tidsskrift*, ss. 17-24.
- Lübeck, S. (1924). *Sveriges vattenkrafttillgångar och vattenkraftproduktion*. Stockholm: Bokförl.-A.-B. Tidens tryckeri.
- Löfquist, B. (1987). *Seminarium om dammar - 20-21 november 1986*. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- Malm, R., Enzell, J., & Mohlin, B. (2019). *KARTLÄGGNING AV INSTRUMENTERINGSSYSTEM FÖR BETONGDAMMAR Rapport 2019:596*. Energiforsk AB.
- Malmfors, S. (den 27 Maj 1939). Långhags kraftverk, det senaste ledet i Bergslagens kraftförsörjning. *Teknisk tidsskrift*, ss. 313-319.
- Melkersson, J. A. (1911). Om utbildning av förmän vid flottledsarbeten. *Skogsvårdsföreningens tidsskrift*, ss. 13-17.
- Nilsson, Å. (1995). *Beprovade metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar*. VASA dammkommittés rapport nr 20.
- Nordisk familjebok. (1880). *Konversationslexikon och realencyklopedi*. Stockholm: Expeditionen af Nordisk familjebok.
- Nordisk familjebok. (1906). *Konversationslexikon och realencyklopedi*. Stockholm: Nordisk familjeboks förlags aktiebolag.
- Nordisk familjebok. (1951). *Encyklopedi och konversationslexikon*. Malmö: Förlagshuset Norden AB.
- Näslund, O. J. (1915). *Flottningsteknik*. Stockholm: P. A. Nordstedt & söners förlag.
- Persson, R. (1984). *Vattenmagasin för bevattning*. Uppsala: SLU.
- Plass, J. (den 27 Maj 1933). Vattenkraftverket vid Sillre. *Teknisk tidsskrift*, ss. 49-55.
- Påhlstorp, T. (2021). *Vegetation på fyllningsdammar*. Stockholm: Energiforsk AB.
- Påhlstorp, T. (2023). *Träspont i fyllningsdammar - En kunskapssammanställning*. Stockholm: Energiforsk AB.
- Reschetiuk, Y., Rylander, M., Haas, H., Andersson, R., Mohlin, B., & Ekström, I. (2022). *Mätmetoder för rörelseövervakning av fyllningsdammar*. Stockholm: Energiforsk AB.
- Ribbing, N. (den 22 April 1933). Vattenkraft. *Teknisk tidsskrift*, ss. 40-42.

- Ring, U. S. (den 13 november 2018). *God praxis vid dikesrensning för att skydda vattenkvaliteten i Östersjöområdet*. Hämtat från Skogsstyrelsen: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/projektwebbplatser/wambaf/drainage/good-practices/god-praxis-vid-dikesrensning-swedish.pdf>
- Rinman, S. (1789). *Bergwerks lexicon - Del 2*. Stockholm: Johan A. Carlbohm.
- Rinman, S. (1794). *Afhandling rörande mekaniken med tillämpning i synnerhet til bruk och bergwerk - del 2*. Stockholm: J.A. Carlbohm.
- Rosenqvist, M. (2018). *Betongteknikens utveckling och betydelse för svensk vattenkraftsutbyggnad*. Stockholm: Energiforsk AB.
- SGF:s fältkommitté. (2013). *Geoteknisk fälthandbok Version 1.0*. Göteborg: Svenska Geotekniska Föreningen.
- Sjödahl, P., Johansson, S., & Dahlin, T. (2019). *Geofysiska metoder inom dammsäkerhetsområdet - En kunskapssammanställning*. Stockholm: Energiforsk AB.
- Statens offentliga utredningar. (1987). *Dammsäkerhet och skydd mot översvämningar*. Stockholm: Allmänna Förlaget.
- Statens vattenfallsverk. (1958). *Anvisningar för utförande och kontroll av jorddammar*. Stockholm: Kungliga Vattenfallsstyrelsen.
- Statens vattenfallsverk. (1988). *Jord- och stenfyllningsdammar*. Stockholm: Sverige Statens vattenfallsverk.
- Svenska Akademien . (2021). (SO), Svensk ordbok. Lund: Svenska Akademien. Hämtat från <https://svenska.se/>
- Svenska Akademien. (1893-). Svenska Akademiens ordbok (SAOB). Lund: Svenska Akademien.
- Svenska Akademien. (2022). Svenska Akademiens ordlista (SAOL). Lund.
- Svenska kraftnät. (2019). *Dammar och dammteknik - En introduktion*. Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät. (den 13 september 2021). SVK. Hämtat från <https://www.svk.se/sakerhet-och-beredskap/dammsakerhet/dammar-i-sverige/>
- Svenska väginstitutet Stockholm. (1925). *Meddelande 1 - Förslag till vägnomenklatur - Del 1*. Stockholm: Gernandts Boktryckeri.
- Svensson, J., & Moreau, A. (Maj 2012). *Ångar*. Hämtat från Jordbruksverket: https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr3_10.pdf
- Sveriges geologiska undersökning. (den 03 11 2022). *SGUs kartvisare*. Hämtat från <https://apps.sgu.se/kartvisare/>
- T.H. (1898). *Strömbyggnader och flottning i åar och bäckar. . Årsskrift från föreningen för skogsvård i Norrland för åren 1896 och 1897*.
- Tecomatic. (den 07 11 2022). *Tecomatic*. Hämtat från Tecomatic betongmadrass: <https://tecomatic.com/produkter/tecomatic-betongmadrass>
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (2014). *Guidelines for Drilling and Sampling in Embankment Dams*. Denver, Colorado: U.S. Department of the Interior .
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (2018). *Design Standards No. 13 Embankment Dams Chapter 20: Geomembranes*. Bureau of reclamation.
- Vattenbyggnadsbyrån. (den 15 Mars 1911). *Detterns torrläggning. Teknisk tidskrift*, ss. 37-41.
- Westerberg, G. (den 29 januari 1944). *Jorddammar med tätskikt av betong. Teknisk tidskrift*, ss. 101-107.
- Westerberg, G., & Alm, G. (den 23 November 1946). *Erfarenheter från jorddammsbyggnader. Teknisk tidskrift*, ss. 1185-1200.

- Westerberg, P. (2009). Ny läckageövervakning i Ledinge. *SwedCOLD nyhetsbrev #2* (s. 5). Stockholm: SwedCOLD.
- Westerlin, A., & Borgquist, W. (den 20 Mars 1915). Porjus kraftverk. *Teknisk tidsskrift*, ss. 95-119.
- Wikipedia. (den 27 10 2022). *Flottning*. Hämtat från <https://sv.wikipedia.org/wiki/Flottning>
- Wählin, E. (. (1949). *Handboken BYGG Band IV Väg och Vattenbyggnad*. Stockholm: Tidskriften byggmästarens förlag.
- Yuriy, & m.fl. (2022). *MÄTMETODER FÖR RÖRELSEÖVERVAKNING, RAPPORT 2022:861*. Energiforsk.

SVENSKA FYLLNINGSDAMMAR AV ”ÄLDRE UTFÖRANDE”

Projektet har utförts med syftet att underlätta förvaltningen av fyllningsdammar av ”äldre utförande”. Genom att utföra en kunskapssammanställning kan förståelsen om uppbyggnad och grundläggning öka för dessa fyllningsdammar. Rapporten ska ses som ett inledande arbete till att beskriva fyllningsdammar av ”äldre utförande”. Inom projektet har en ansats gjorts för att identifiera potentiella felmoder och felorsaker för homogena dammar och fyllningsdammar med lertätning. Vidare har tänkbara undersöknings-, reparations- och förstärkningsmetoder beskrivits översiktligt.

Under projektets gång har ett flertal olika exempel om uppbyggnad och grundläggningsmetodik framkommit. Av underlag framkommer att ändamål och konstruktionssätt varierat över tid. Det har funnits en god kunskap om dammbyggnation en lång tid tillbaka, men att kunskaper om bl.a. packningsmetoder saknats.

Resultatet av rapporten visar på att det finns ytterligare behov av utredning för att underlätta förvaltningen av olika typer av fyllningsdammar som ej beskrivs i RIDAS.

Vi gör energivärlden smartare!

Genom samarbete och dialog bedriver vi energiforskning så att ny kunskap skapar värde för näringsliv, kunder och samhället i stort. Vi är det naturliga navet i energiforskningen – en opartisk aktör till nytta för framtidens energisystem.

