

RIDAS

Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet

Avsnitt 7.2 Fyllningsdammar Tillämpningsvägledning

2011-12-15

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

7.2	FYLLNINGSDAMMAR	4
7.2.1	Allmänt	4
7.2.2	Dimensionering	5
7.2.2.1	Orsaker till dammbrott.....	5
7.2.2.2	Fältundersökningar	5
7.2.2.3	Karakteristiska materialvärden	5
7.2.3	Konstruktiv utformning	7
7.2.3.1	Grundläggning	7
7.2.3.1.1	Allmänt.....	7
7.2.3.1.2	Grundläggning på jord.....	7
7.2.3.1.3	Grundläggning på berg	8
7.2.3.1.4	Anslutning mot betongkonstruktioner	10
7.2.3.2	Tätning	11
7.2.3.2.1	Allmänt.....	11
7.2.3.2.2	Moränens materialegenskaper som tätmaterial	11
7.2.3.2.3	Utläggning av morän	12
7.2.3.2.4	Packning – vattenkvot hos morän.....	12
7.2.3.3	Filter, övergångszoner och dränage	15
7.2.3.3.1	Allmänt.....	15
7.2.3.3.2	Filterregler.....	17
7.2.3.3.3	Övergångszoner.....	19
7.2.3.3.4	Dränage	20
7.2.3.3.5	Dimensionering av filter – vägledande exempel.....	21
7.2.3.4	Stödfyllning	23
7.2.3.4.1	Allmänt.....	23
7.2.3.4.2	Stabilitet	25
7.2.3.4.3	Dränagekapacitet	26
7.2.3.4.4	Dimensionering av nedströms dammtå.....	31
7.2.3.5	Erosionsskydd	32
7.2.3.5.1	Bakgrund och syfte.....	32
7.2.3.5.2	Konstruktionstyper	32
7.2.3.5.3	Material	33
7.2.3.5.4	Säkerhetsnivå och livslängd	34
7.2.3.5.5	Vindhastighet	34
7.2.3.5.6	Effektiv stryklängd för beräkning av våghöjd och period	35
7.2.3.5.7	Våguppspolning vid erosionsskydd av sprängsten	37
7.2.3.5.8	Dimensionering av erosionsskydd av sprängsten med hänsyn till vågor	39
7.2.3.5.9	Dimensionering av erosionsskydd av sprängsten med hänsyn till is	42
7.2.3.6	Dammkrön	43
7.2.3.7	Överhöjning	45
7.2.3.8	Fribord	45
7.2.3.8.1	Fribord med hänsyn till vågor	45
7.2.3.8.2	Överdämningsförmåga	46
3.2.4	Instrumentering	48
7.2.4.1	Allmänt	48
7.2.4.2	Basinstrumentering	48
7.2.4.2.1	Allmänt.....	48
7.2.4.2.2	Läckageövervakning	49
7.2.4.2.3	Mätning av sättning och sidorörelse	50
7.2.4.2.4	Mätning av vattenstånd och porttryck	50
7.2.4.3	Kameraövervakning	51
7.2.4.4	Kartering av fyllningsdammar	51
7.2.4.5	Automatisering av mätningar	51
7.2.4.6	Kompletterande instrumentering	52
7.2.4.7	Onoggrannhet vid mätningar	52
7.2.4.8	Planläggning, utvärdering och redovisning	52

Bilaga 7.2.4 – 1 Automatisering av mätningar	54
Allmänt	54
Mätning	54
7.2.5 Bygghandlingar	58
7.2.5 Bygghandlingar	58
7.2.5.1 Allmänt.....	58
7.2.5.2 Detaljprojektering.....	58
7.2.5.3 Förfrågningsunderlag	58
7.2.6 Utförande.....	58
7.2.7 Kontroll	58
7.2.8 Dokumentation.....	59
Referenser	60

7.2 Fyllningsdammar

7.2.1 Allmänt

Detta avsnitt innehåller vägledning och allmänna råd vid nybyggnad av fyllningsdammar. De avses vara tillämpliga även vid ombyggnad, reparationer och förstärkningar av befintliga fyllningsdammar. I de fall en befintlig damm inte med rimliga ekonomiska insatser kan fås att uppfylla ett specifikt krav bör det undersökas om denna svaghet kan kompenseras på annat sätt så att motsvarande säkerhet uppnås som för en nybyggd damm. Denna kompensering kan vara en kombination av t.ex. utökad tillsyn, kompletterande instrumentering och skyddsvallar mot nedströsslätten.

Fyllningsdammar dimensioneras, utförs och kontrolleras i sådan omfattning och kvalitet att nivå motsvarande geotekniska klassen GK2 aldrig underskrids, jämför avsnitt 4 i konstruktionsregler från Boverket [3.2 - 1]. Fyllningsdammar kommer normalt att falla inom geotekniska klassen GK3, varigenom ytterligare krav kan bli aktuella. Dessa kan antingen vara kompletterande anvisningar som styrs av de lokala förhållandena eller allmänna anvisningar vilka lämnas i föreliggande tillämpningsvägledning.

Vattenfalls handbok för Jord- och Stenfyllningsdammar [3.2 - 2] har i stor omfattning legat till grund för detta avsnitt. Handboken bör användas som ett komplement till anvisningarna. I nedanstående text har angivits referenser till en del ytterligare litteratur som beskriver uppbyggnad, kontroll, övervakning samt underhåll av fyllningsdammar.

Alla fyllningsdammar har sina egna speciella förutsättningar. De uppgifter som ingår i en handling av denna typ bör därför aldrig uppfattas som heltäckande. För fyllningsdammar kan det visa sig lämpligt eller nödvändigt att använda också andra bedömningskriterier och ta andra hänsyn än de som anges här. Anledningen till detta kan t ex vara speciella hydrologiska, topografiska, geotekniska eller geologiska förhållanden. Ny kunskap och förbättrad teknik kommer fram kontinuerligt vilket medför att utveckling av nya metoder bör uppmuntras.

7.2.2 Dimensionering

7.2.2.1 Orsaker till dammbrott

Fyllningsdammar utformas så att säkerhet finns mot alla tänkbara orsaker till dammbrott. Skador kan dock accepteras vid extrema belastningar.

Exempel på orsaker till dammbrott är följande:

- Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden
- Yttre erosion i samband med regn, högt vattenstånd och vågor
- Stabilitetsbrott (utglidning) åt nedströms- eller uppströmshållet

7.2.2.2 Fältundersökningar

Geotekniska utredningar utförs vanligen etappvis i olika skeden av projekteringen av en fyllningsdamm, jämför avsnitt 4:22 i ovan nämnda konstruktionsregler från Boverket [7.2 - 1]. Informationen tolkas och sammanställs, så att den vid projektering av arbetshandlingar innehåller bl.a. följande uppgifter:

- Markens topografi
- Jordlagerföljd (borrhålsredovisning, material, lagergränser)
- Grundvattenförhållanden
- Materialegenskaper hos jord och berg (speciellt vattensläppligheten för material vid och under grundläggningsnivån)
- Angränsande konstruktioners utformning, läge och kondition
- Information om materialtäkter som skall användas vid dammens uppbyggnad.
- Resultaten av de geotekniska fält- och laboratorieundersökningarna beskrivs i en rapport tillsammans med plan- och sektionsritningar samt tabeller och diagram. Vid redovisningarna används Svenska Geotekniska Föreningens beteckningssystem.

Tolkningar av resultaten från undersökningarna (beräkningar och rekommendationer för byggandet) redovisas i separata rapporter eller i samband med redovisning av den dimensionering som tolkningen används till.

7.2.2.3 Karakteristiska materialvärden

Karakteristiska värden för en materialegenskap bestäms normalt som dess medelvärde, jämför avsnitt 4:23 i ovan nämnda konstruktionsregler från Boverket [7.2 - 1].

Medelvärdesbestämning av kornfördelningen för filter får dock inte användas vid dimensioneringen. Här används enveloppkurvor i specifikationerna där i princip alla kornfördelningskurvor skall falla innanför de givna gränserna. Detta gäller särskilt nedströmsfiltret som betraktas som ett kritiskt filter och ofta har relativt snäva gränser, jämför avsnitt 7.2.3.3.

Egentyngder av material som ingår i fyllningsdammar bestäms i samband med projektering genom geoteknisk utredning med tillhörande laboratorieundersökningar, jämför avsnitt 7.2.2.2. Valda värden kontrolleras i samband med byggandet.

Vid förprojektering och vid avsaknad av pålitliga försöksresultat utgör värden i följande **Tabell 7.2-1** rimliga värden:

Tabell 7.2 – 1 Egentyngder för material – typiska värden

Material	Skrymdensitet, (kN/m ³)		Vattenmättad tunghet, (kN/m ³)	
	Löst	Fast	Löst	Fast
Sand	16,5	18,0	20,0	21,5
Grus	16,0	18,0	20,0	21,0
Sprängsten	15,0	18,0	19,5	21,0
Morän	19,0	21,0	21,5	23,0
Lera	18,0	-	18,0	-

7.2.3 Konstruktiv utformning

Utformningen av en fyllningsdamm definieras i olika skeden av projekteringen, t.ex. förstudier, ansökan till Miljödomstolen och bygghandlingar. I alla skeden görs utvärdering av de lokala förhållandena. Grundundersökningar utförs mer detaljerade allteftersom projekteringen framskrider.

Utvärderingarna av förhållandena redovisas tillsammans med den valda utformningen av dammen. I bygghandlingarna skall ingå arbetsbeskrivning, som bl.a. innehåller anpassade specifikationer för grundläggning och uppbyggnad av dammen med aktuellt material. Genom arbetsbeskrivningen kommer nedanstående vägledning och allmänna råd att bli kompletterade med anvisningar som styrs av de lokala förhållandena.

7.2.3.1 Grundläggning

7.2.3.1.1 Allmänt

Dimensioneringen av grundläggningen görs med underlag från resultaten från fältundersökningar, jämför 7.2.2.2. Omfattningen av undersökningarna anpassas till de lokala förhållandena.

Geotekniska/geologiska undersökningar omfattar bestämning av materialegenskaper hos jord och berg. Täthet och erosionskänslighet hos material vid och under grundläggningsnivån undersöks särskilt noggrant.

7.2.3.1.2 Grundläggning på jord

Där tätjorden grundläggs på jord skall, om inga särskilda åtgärder vidtas för att minska eller ta hand om beräknat läckage, det verifieras att undergrunden har motsvarande täthet som planerad ovanpåliggande tätkärna. I detta fall kan grundläggning göras genom att den framschaktade markytan avjämnas före utläggningen av det första tätjordslagret, varefter marken packas på samma sätt som fyllningen av tätjord i övrigt.

Vid grundläggning på jord som är mer genomsläpplig än planerad ovanpåliggande tätkärna skall metoder användas som gör att grundläggningen och kontakten mellan damm och undergrund blir minst lika säker med hänsyn till risken för inre erosion som ovanpåliggande fyllningsdamm. Exempel på åtgärder kan vara:

- Tätmatta av morän uppströms tätkärnan för att förlänga läckvägen och härigenom minska gradienten i undergrunden,
- Tätskärm i form av tätdike, slitsmur eller injekteringsskärm för att minska undergrundens genomsläpplighet,
- Dränageanordningar i form av filterlager, dränagediken och/eller brunnar. Anordning av dränage kan kombineras med täckning av material med högt erosionsmotstånd för att förhindra erosion i utströmningsområden.

Dimensioneringen av åtgärderna med beräkningsförutsättningar skall dokumenteras. I samband med byggandet och efter drifttagning av anläggningen kontrolleras att förutsättningarna uppfylls. Installationen av mätinstrument kan behöva anpassas för att möjliggöra verifikation av gjorda antaganden.

7.2.3.1.3 Grundläggning på berg

Vid grundläggning på berg behöver undersökningarna förutom jorddjupet till berg klargöra förekomst och karaktär av sprickor, svaghetszoner och slag i berget.

Vid grundläggning på berg uppnås i regel tillfredställande täthet med hjälp av injektering, efter det att starkt uppsprucket berg i dagen är borttaget. Det behöver dock iaktas stor varsamhet då berget har öppna eller jordfyllda sprickor. Under tåtkärnan och under filterzonen skall alla öppna sprickor tätas. Vid uppsprucket berg rekommenderas att en betongplatta gjuts under tåtkärnan för att härigenom kunna täta bergets övre del i samband med injekteringen. Vid gott berg kan det dock vara tillfylles att endast göra punktvis ifyllnader med betong.

För information om vanliga undersökningsmetoder och omfattning av undersökningarna hänvisas till [7.2 - 2 och 37 samt 38]. Bergets vattengenomsläpplighet undersöks t.ex. genom vattenförlustmätningar på olika nivåer i borrhål. Detta är aktuellt vid nybyggnad och kan även vara tillämbart som tillståndskontroll av befintliga dammar. Borring genom en damms tåtkärna av morän bör dock inte utföras utan att metoden för borringen och risker för skador i samband med arbetets utförande utreds.

Vattenförlustmätning utförs med en utrustning där applicerat tryck kan hållas konstant på förbestämda nivåer. Vattenförlustmätning i borrhål utförs med 0,5 MPa tryck över grundvattentrycket. I första steget närmast bergytan kan trycket behöva reduceras om svårigheter finns att få hålet tätt eller om lyftning befaras.

Hålet provtrycks vanligen med enkelmanschett i 5 m steg allteftersom borrhålet borrar ner. Vid varje mättillfälle skall trycket stå på i minst 5 minuter när fortvarighetstillstånd uppnått. Vattenförlusten (v_f) för ett provsteg anges i l/min, m, MPa och beräknas med formeln:

$$v_f = \frac{q}{L \cdot p_o} \quad (\text{Ekv. 1})$$

v_f =vattenförlust, l/min, m, MPa

q =vattenflöde, l/min

L =mätsträckans längd, m

p_o =vattentryck utöver det naturliga grundvattentrycket, MPa

Ur grundläggningssynpunkt för en damm anses berget som tätt om vattenförlusten är lägre än 1,0 l/min, m, MPa (vanligen kallad 1,0 Lugeon motsvarande en hydraulisk konduktivitet av ca $0,7 \cdot 10^{-7}$ m/s).

Lugeonskalan minskar i precision vid högre avläsningsvärden. Största noggrannheten finns i intervallet mellan 1 till 5 Lugeon. Vattenförlusten bör

inte uttryckas med decimaler utan avrundas till närmaste heltal för framräknade värden mindre än 30 Lugeon. För värden över 30 Lugeon är det tillräckligt att avrunda till närmaste 5-multipel.

Ytinjektering utförs i minst två rader där avstånden mellan raderna är 2-4 meter och avstånden mellan borrhålen är 3-4 meter. Längden på injekteringshålen bör vara minst 6 meter. Påträffas större läckage mellan 6-10 meter bör hållängden ökas så att också dessa läckage injekteras vid ytinjekteringen. Vidare bör borrhålet riktas så att den korsar så många vattenförande sprickor som möjlig.

Vattenförlustmätningar utförs vanligtvis bara i djupinjekteringshål. Mätningarna utförs i 5-minuters intervaller tills två på varandra mätningar ger samma vattenförlust. Om mätsträckans längd är större än 5 meter antas vattenförlusten förekomma på en 5-meters sektion så att Lugeon-värdet alltid beräknas på samma mätsträcka.

Det rekommenderas att det görs en provinjektering i några av mät hålen för att man skall kunna utvärdera sambandet mellan vattenförlustmätning och injekteringsinförsel. Stoppkriterier vid injektering kan bestämmas genom att ange maximal tillåten vatteninträngning (uttryckt i Lugeon) och/eller genom att ange maximal injekteringsinförsel (uttryckt i kg/borrmeter). Det är som regel inte nödvändigt att dränera berggrunden under fyllningsdammar. I speciella fall då det är svårt att få berget tillräckligt tätt vid injekteringen eller då spricksystemet kan påverka stabiliteten kan det vara nödvändigt att dränera berggrunden genom att borra dräneringshål och/eller spränga dränagegångar.

Om inte särskilda åtgärder vidtas (t.ex. i form av dräneringsanordningar) eller andra omständigheter finns som ger förutsättningar för val av andra värden, skall berget minst ha tätheten enligt **Tabell 7.2 - 2**. Tätheten anges här vara beroende av dammhöjden (h), som i detta fall räknas som skillnaden mellan nivån för dammkrönet och lägsta grundläggningsnivån.

Tabell 7.2 – 2 Erforderlig täthet för olika djup i berget under tåtkärnan vid olika dammhöjd (h)

Dammhöjd h (m)	Djup i berg (m)	Krav på täthet beroende på djup i berg, $L = \text{Lugeon}$
$h < 30$ m	Ytinjektering: min. 6 m	0 – 6 m : 2 L
	Djupinjektering: min. 10 m max. 20 m	6 – 10 m : 3 L 10 – 20 m : 4 L
$h > 30$ m	Ytinjektering: min. 6 m	0 – 6 m : 1 L
	Djupinjektering: min. $1/3 \cdot h$ max. $2/3 \cdot h$	$6m - 1/3 \cdot h$: 2 L $(1/3 - 2/3) \cdot h$: 3 L

I bygghandlingarna skall ingå en detaljerad material- och arbetsbeskrivning för injekteringsarbetet. I bygghandlingar inarbetas även en detaljerad beskrivning av erforderliga förarbeten, som kan innefatta bl. a. följande punkter:

- krav på rensningar (släntlutningar, tillåtna steg mm)

- omfattning av gjutningar (t.ex. betong, armering, förankringar)

För information om normala utformningar av grundläggning på berg hänvisas till [7.2 - 2].

7.2.3.1.4 Anslutning mot betongkonstruktioner

Erfarenheter från befintliga dammar har visat att skador i form av sättningssropar och läckage har inträffat i området för anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion t.ex. utskovspelare. Skadorna kan t.ex. ha följande orsaker:

- Svårigheter av utrymmesskäl att packa fyllningen närmast betongkonstruktionen med tung vält på motsvarande sätt som övrig fyllning.
- Upphängning av tätjorden på betongkonstruktion och eventuella anslutande sponter (förutom upphängningen på angränsande filter och stödjordsfyllningar som även finns på övriga delen av fyllningsdammen).
- Tätjorden i området har ibland valts något torrare än övrig fyllning (för att underlätta packning med vibroplatta). Den låga vattenkvoten medför att sättningarna vid vattendränkning blir större än för övrig fyllning.

Ovanstående förhållanden gör att spänningarna i tatkärnan efter dämningen på grund av upphängning kan bli låga, vilket medför risk för hydraulisk uppspräckning, som anses kunna inträffa då jordtrycket (minsta huvudspänningen) blir mindre än vattentrycket.

För befintliga dammar där ovanstående svagheter kan finnas bör övervägas att införa ökad övervakning och stabiliserande skyddsvallar för att man skall kunna få tidig varning och för att dammen skall tåla ett eventuellt läckage.

För att minska risken för skador vid anslutning mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion av t.ex. utskovspelare kan man vid nybyggnad överväga följande:

- Anslutande betongkonstruktion ges en lutning av ca 8V: 1H och den traditionellt använda sponten från betongkonstruktionen in i tatkärnan utesluts eller begränsas i längd till ca 2 plankor. (Begränsningen av sponten avser att tillåta användandet av tung vält nära betongkonstruktionen och begränsa upphängningen på sponten).
- Asfaltstrykning av betongytan och eventuell spont (för att minimera friktion och upphängning).
- I området närmast betongkonstruktionen utökas tatkärnans och nedströmsfiltrets bredd på bekostnad av stödjordens bredd (minskar valvbildning och ökar möjligheten till självläkning om läckage trots allt uppstår).
- Tätjordens vattenkvot skall vid packningen vara högre än den optimala (för att vara plastisk och minska sättningarna vid vattendränkning, jämför avsnitt 7.2.3.2.4).

Även då ovanstående punkter beaktas vid nybyggnad bör hänsyn tas till att plötsliga läckage kan uppstå vid anslutningen till betongkonstruktioner.

Dränagekapaciteten och nedströms dammtå behöver därför även vid nybyggnad dimensioneras för eventuellt läckage, jämför punkt 7.2.3.4.4 Dimensionering av nedströms dammtå.

7.2.3.2 Tätning

7.2.3.2.1 Allmänt

Tätningen av svenska fyllningsdammar har oftast gjorts med en kärna av morän. I äldre dammar finns dock tätning av t.ex. vertikal betongvägg eller träspont ofta omgiven av täta material av stampad lera eller morän, jämför [7.2 - 4].

Utomlands har stenfyllningsdammar med uppströms betongdäck (Concrete Face Rockfill Dams, CFRD) blivit en vanlig dammtyp, se [7.2 - 5]. Vidare har under senare år också använts tätningar av asfaltbetong. Asfaltbetongen utformas antingen som en vertikal central vägg eller som en tätning på uppströmsslätten, jämför [7.2 - 6 och 7].

I det följande behandlas endast tätning med moränmaterial.

7.2.3.2.2 Moränens materialegenskaper som tätmaterial

Vid såväl nybyggnad som påbyggnad av befintliga tätkärnor skall jordtäkter undersökas för tätjord med avseende på materialegenskaper och mängd. Tätjorden skall ha erforderlig täthet och bearbetbarhet. Moränen bör härigenom vara av siltig-sandig typ, blockfattig och med måttlig stenhalt.

Moränens vattenkvot vid placering i dammen skall vara högre än den optimala. För att ha tillräcklig bärighet bör vattenkvoten dock vara högst ca 3 % över den optimala enligt tung laboriestampning, jämför punkt 7.2.3.2.4 Packning - vattenkvot hos morän. Om materialet i täkten har högre vattenkvot kan dräneringsåtgärder, t ex genom utdikning i god tid före byggnadsarbetena påbörjas, medföra förbättrade materialegenskaper.

Finjordshalten (<0,06 mm) för tätjorden skall uppgå till minst 15 % av material mindre än 20 mm. Tätvärdet, som bestäms på ett standardiserat sätt med nippel- eller rörpermeameter, skall vara lägst 6,5 (motsvarande en hydraulisk konduktivitet av 3×10^{-7} m/s).

Finjordshalten bör vara mindre än ca 40 % (räknat på material < 20 mm) för att ge tillfredsställande bearbetbarhet och begränsad påverkan av regn. Vidare bör mängden korn passerande sikt 2 mm vara högst 85 % och halten korn passerande sikt 20 mm minst 70 % av material mindre än 64 mm. Härigenom kan moränen förväntas ha tillräcklig bärighet och ge begränsad risk för stenseparation. Vid utläggningen behöver dock noteras om tendenser finns för separation och vid behov göras modifieringar av materialkraven eller utläggningsförfarandet.

Enstaka stenar med största tvärmått 60 % av använd lagertjocklek (efter packning) får ingå i tätjordsfyllningen. Eventuella större stenar bör sorteras bort i tätjordstäckten.

Vid anslutning av tåtkärnan mot berg får stenstorleken inte överstiga 30 mm inom 200 mm närmast bergytan.

Intill betongkonstruktioner får stenstorleken på samma sätt inte överstiga 30 mm. Erforderlig bredd för materialet med begränsat steninnehåll skall här anpassas med hänsyn till aktuell utrustning för utläggning och packning.

7.2.3.2.3 Utläggning av morän

Tjockleken av de först utlagda lagren skall vara högst 100 mm. Packningen görs med handvibratorer, så att fyllningen även i gropar och ojämnheter får erforderlig packningsgrad. Vattenkvoten för tätjorden med begränsad steninnehåll som bearbetas med lätt utrustning skall vara över den optimala vid lätt laborierstampning, vilken normalt är några procent högre än vid tung laborierstampning. Fyllningen byggs på detta sätt upp så att stora sammanhängande närmast horisontella ytor erhålls där packningen kan göras med större maskiner. För att undvika att berget slås sönder bör tjockleken på fyllningen över berg vara minst 200 mm innan bearbetning görs med tung vält.

Innan ny fyllning läggs ut på större sammanhängande ytor skall den tidigare utlagda och packade fyllningens ytskikt rivats upp med tandat schaktblad på t.ex. en hjullastare eller genom överkörning med bandtraktor. Om materialet i ytlagret efter upprivningen är torrare än föreskriven vattenkvot skall vatten försiktigt tillföras så att avsedd vattenkvot uppnås.

Nytt material tippas därefter på den upprivna ytan och materialet utbredds undan för undan med schaktbladsförsedd bandtraktor i kontinuerliga, ungefär horisontella lager. Lagertjockleken skall utprovas så att föreskriven packningsgrad uppnås i hela lagret.

Materialet skall normalt tippas på överytan av den utbredda men inte packade delen av lagret som är under utläggning och några meter från den tillfälliga kanten av detta. Därigenom kommer traktorn vid utbredningen att få transportera hela jordhögen, varigenom en blandning av materialet sker vilket motverkar eventuella tendenser till segregation. Utbredning och packning utförs i dammens längdriktning.

Stenseparation uppkommer lätt vid tippning genom att sten rullar ned längs slänten och lägger sig i form av en stensträng utmed släntfoten. I tåtkärnan och vid anslutningen till filtret får sådana stensträngar inte förekomma. Stensträngar, som trots ovan föreskrivna utbredningsförfarande kan uppstå, skall tas bort maskinellt eller för hand.

7.2.3.2.4 Packning – vattenkvot hos morän

Vid uppbyggnad av tåtkärnan skall vattenkvoten hos moränen och packningsgraden hållas inom specificerade gränser. Kraven på packning och vattenkvot har ofta diskuterats i samband med byggandet av fyllningsdamm. Traditionellt packas materialet inom ett angivet område för vattenkvoten med krav på en lägsta torrdensitet.

Gränsvärdena bestäms vanligen från resultaten av tung laboriestampning definierad enligt [7.2 - 8], vilket motsvarar ASTM D-1557. Gränser för packning/vattenkvot anges t.ex. i [7.2 - 2] där värdena i första hand valts för att tillfredsställa behovet av en lägsta densitet för att ge tillräcklig hållfasthet och för att begränsa sättningarna.

För fyllningsdammar skall materialet i tatkärnan, förutom ovan angivna behov av tillräcklig hållfasthet och begränsade sättningar vid belastning, ha följande egenskaper:

- Låg vattengenomsläpplighet
- Små vattendränkningssättningar vid första dämning
- Hög plasticitet

För att vattengenomsläppligheten skall få ett begränsat högsta värde specificeras en acceptabel zon för densitet/vattenkvot som i ett diagram över densitet/vattenkvot är ungefär parallell med vattenmättnadsgränsen. Zonens undre gräns motsvarar härigenom en viss maximal luftporhalt, jämför [7.2 - 45].

Sättningar vid första vattendränkning av moränen blir betydande för material som packas in vid låg vattenkvot och till låg densitet, se [7.2 - 10]. En acceptabel zon för densitet/vattenkvot vid inpackning med hänsyn till vattendränkningssättningar är liknande den för vattengenomsläppligheten.

För att undvika att moränen blir spröd och känslig för sprickbildning i samband med första dämning behöver vattenkvoten vara högre än den optimala enligt tung laboriestampning.

Följande acceptabla zon för densitet och vattenkvot bör tillämpas vid uppbyggnad av tatkärna av morän (något modifierad jämfört med i ovanstående referenslitteratur):

- Vattenkvotens lägre gräns väljs till optimal vattenkvot bestämd enligt tung laboriestampning.
- Vattenkvotens övre gräns bestäms så att tillräcklig bärighet erhålls för packningsredskapet, (här vald till $w_{opt} + 3\%$).
- Krav på maximal luftporhalt anpassas till dammens känslighet för sättningar. Normalt tillåts en luftporhalt av maximalt 10 %.

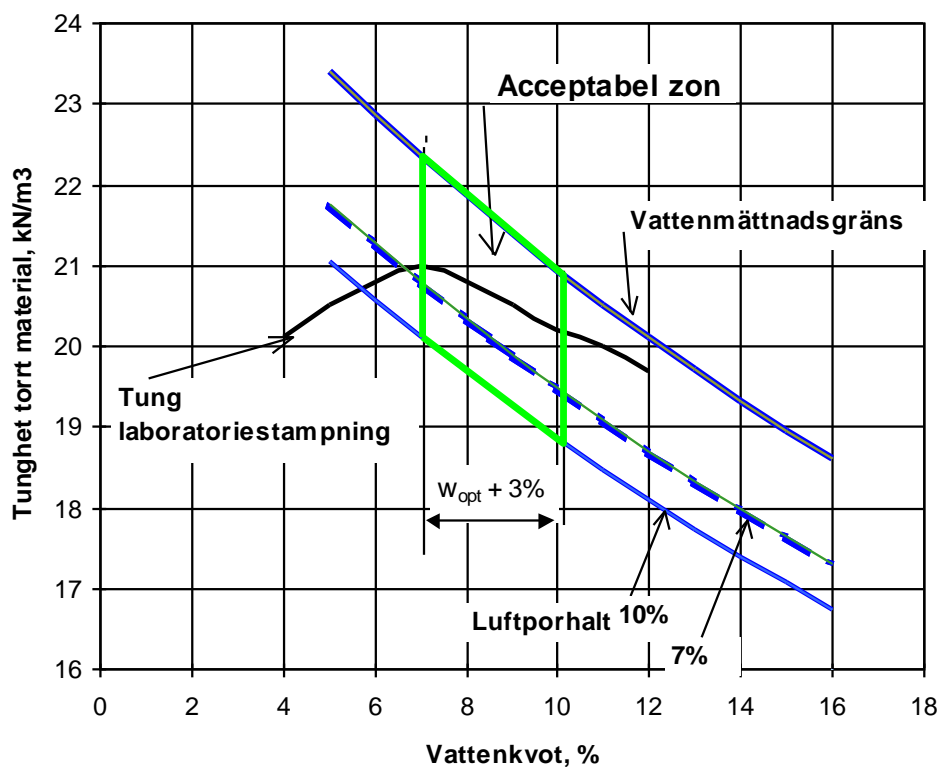
De ovan angivna gränserna framgår i **Figur 7.2 - 1**. De modifierade gränserna i förhållande till [7.2 - 2] medför att materialet oftast kommer att packas vid något högre vattenkvot än vad som tillämpats tidigare. Vidare kommer något lägre densitet att accepteras när packning görs vid en vattenkvot i närheten av den högre begränsningen.

Vid utläggning och packning ställs ovanstående krav på vattenkvot och luftporhalt. Torrdensiteten beroende av luftporhalt, vattenkvot och kompakt-densitet framgår av följande ekvation.

$$L_p = 100 \cdot (1 - \gamma_d / \gamma_s) - w \cdot \gamma_d / \gamma_w \quad (\text{Ekv. 2})$$

där:

- L_p = luftporhalt, %
- γ_d = tunghet hos torrt material, kN/m^3
- γ_w = tunghet vatten, 10 kN/m^3
- γ_s = tunghet för kornen, $26,5 \text{ kN/m}^3$
- w = vattenkvot, %



Figur 7.2 – 1 Acceptabel zon för moränens tunghet för torrt material, vattenkvot och luftporhalt vid packning (tunghet för kornen $26,5 \text{ kN/m}^3$)

Normalt tillåts, som ovan nämnts, en luftporhalt av maximalt 10 %. I de fall sättningar efter ombyggnaden bedöms ha stor betydelse (t.ex. om sättningar kan medföra skadlig valvbildning) skall övervägas att t.ex. minska maximala luftporhalten till 7 % vilket kan kräva mindre lagertjocklek.

När lämplig packningsutrustning och lagertjocklek bestämts för att uppnå erforderlig packning ger ovanstående rekommendationer främst behov av att kontrollera vattenkvoten och med mindre frekvens även torrdensiteten i fält. Innan arbetet påbörjas skall ett kontrollprogram upprättas där erforderlig provtagning, frekvens, redovisning etc. framgår, jämför [7.2 - 2].

Bestämning av vattenkvoten har normalt gjorts enligt svensk standard (SS 02 71 16), vilken anger en torktid av 24 timmar vid 105°. Alternativt kan användas torkning i mikrovågsugn. Ugnen bör minst ha en effekt av 750 Watt och tiden för torkningen anpassas genom jämförande provning vid arbetets inledningsskede så att resultaten får tillräcklig samstämmighet. Erforderlig tid för torkningen i mikrovågsugn kan antas vara 2-5 minuter för ett prov av 500 gram.

Bestämning av packade materialets skrymdensitet kan utföras med isotopmätare av normalt använd typ i kombination med ovan nämnda ugnstorkning för bestämning av vattenkvot för att jämföra med uppställda krav och för beräkning av torrdensiteten. Laboratoriepackning som behövs mera sällan kan göras på ett geotekniskt laboratorium.

Förutom ovan beskrivna "torrpackningsmetod" kan "våtpackning" tillämpas. Jordmaterialet breds då ut med bandtraktor i tunna lager. Moränen har då så hög vattenkvot att den blir plastiskt och traktorn sjunker 150-200 mm i det utbredda lagret. Denna metod kan ge en tät kärna som väl uppfyller ovan nämnda önskemål på egenskaper. Sättningsarna efter dammens färdigställning och vid första dämning har t.ex. oftast visat sig bli mindre än vid metoden med "torrpackningsmetoden". Metoden beskrivs mer i [7.2 - 2].

7.2.3.3 Filter, övergångszoner och dränage

7.2.3.3.1 Allmänt

Filter, övergångslager och dränage har till uppgift att på ett säkert sätt leda läckvattenflödet som alltid finns genom dammen och undergrunden. För detta behövs filter och övergångszoner som förhindrar urspolning av finmaterial från de materialzoner de skyddar och samtidigt tillåter relativt fri passage för läckvattnet. För dränageanordningar tillkommer att de skall ha tillräcklig dränagekapacitet för att samla och leda läckaget till utloppspunkten.

Inre erosion är enligt internationell statistik orsaken till en stor andel av skador och dammbrott på fyllningsdammar. Skador på grund av inre erosion kan ofta visa sig i form av sjunkgropar och läckage, se [7.2 - 11]. Skadeorsakerna har ofta varit svåra att fastställa men bedöms i många fall ha koppling till brister i eller avsaknad av nedströmsfilter och dränage.

Filterreglerna som ges nedan baseras på referenserna [7.2 - 2, 13 och 14]. I huvudsak har reglerna i den senare angivna referensen från Bureau of Reclamation anpassats till svensk laboratoriestandard med följande definitioner:

d = kornstorlek för basmaterial. För tätjord (oftast månggraderad morän) räknas på material < 20 mm. Då basmaterialet utgörs av finfiltret eller annan grövre materialzon räknas på allt material (totalsiktcurvor).

D = kornstorlek för filtermaterial. För filter räknas på allt material (totalsiktcurvor).

Vidare räknas finjordshalten, dvs. halt av material mindre än 0,06 mm, på material < 20 mm.

Filtermaterial kan utgöras av sand, grus, sprängsten eller krossmaterial. Konstgjorda material som geotextiler kan användas i undantagsfall, men rekommenderas för närvarande inte som nedströmsfilter i en ny zonad damm i konsekvensklass 1 och 2 där det är svårt att åtgärda om igensättning uppstår av filtret. Vidare rekommenderas geotextilier inte att ingå i tåbanksförstärkningar där funktionen förutsätter att finmaterial kan transporteras bort så att uppbyggnad av vattentryck förhindras. Användandet av geotextilier kan dock vara rimligt i vissa fall såsom vid dränagediken nedströms dammen där funktionen kan övervakas och åtgärdas vid behov.

Nedanstående filterkrav innebär hårdare krav än vad som enligt praxis använts under perioden då flertalet av de svenska fyllningsdammarna byggdes. En inventering av filter i svenska dammar [7.2 - 12] visar att kornstorleken D_{15} i flertalet anläggningar inte uppfyller filterkrav som t.ex. ges i Vattenfalls handbok för Jord- och Stenfyllningsdammar [7.2 - 2]. Det kan dessutom konstateras att största stenstorleken för finfiltret ofta är i storleksordningen 60 mm eller större, vilket medför att filtermaterialet haft benägenhet för stenseparation i samband med hantering och utläggning.

För befintliga dammar bör därför vid bestämning av dimensionerande läckageflöde, (se bestämning av dränagekapacitet punkt 7.2.3.4.3) och vid dimensionering av eventuell nedströms dammtå (se punkt 7.2.3.4.4) hänsyn tas till den verkliga filterkvaliteten i dammen. I praktiken saknas ofta totalsiktcurvor för filtermaterialen, vilket får till följd att osäkerhet om filterfunktion accentuerar behovet av fullgod läckageövervakning och dränagekapacitet. Det kan även medföra behov av utökad övervakning av t.ex. vattenstånd/portryck i dränagelager, nedströmsfyllning och/eller undergrund.

7.2.3.3.2 Filterregler

Filterregler för att **förhindra bortspolning av finmaterial** för såväl månggraderade som ensgraderade basmaterial framgår av **Tabell 7.2 - 3**.

Tabell 7.2 - 3 Filterregler för olika basmaterial för att uppnå filtrering

Basmaterial med finjordshalt < 30 %	Basmaterial med finjordshalt 30 - 80 %
$D_{15}/d_{15} < 40$ * eller $D_{15}/d_{85} < 4^{**}$	$D_{15} < 0,7$ mm

* Detta krav blir avgörande för månggraderat basmaterial. Om kriteriet ger $D_{15} < 0,7$ mm, kan dock D_{15} väljas till maximum 0,7 mm.

** Detta krav blir avgörande för ensgraderat basmaterial.

Vidare kan kriteriet $D_{50} < 25 \cdot d_{50}$ användas där det medger en större kornstorlek D_{50} för filtret än en motsvarande kornkurva där D_{15} förbinds med D_{90} med en rät linje. I de fall övre gränsen för finfiltret bestäms av $D_{15} = 0,7$ mm och $D_{90} = 25$ mm kan (oberoende av basmaterialets D_{50}) övre gränsen för finfiltrets kornfördelning också utgöras av $D_{50} = 8$ mm.

Om tätjorden har mer än 80 % finjord måste andra krav ställas på finfiltret vilket kräver närmare utredning.

För att undvika **stenseparation** i finfilter behöver steninnehållet i materialet begränsas enligt kraven i **Tabell 7.2 – 4**, jämför [3.2 - 14].

Tabell 7.2 – 4 Maximal stenstorlek hos filter för att undvika stenseparation

Minimum D_{10} för filtermaterialet, mm	Maximum D_{90} för filtermaterialet, mm
< 0,5	20
0,5 - 1,0	25
1,0 - 2,0	30
2,0 - 5,0	40
5,0 - 10,0	50
10,0 – 50,0	60

För grovfilter och övergångslager mot sprängsten med $D_{10} > 50$ mm bör ett relativt ensgraderade material väljas.

För att filtret skall få tillräcklig **inre stabilitet** bör kornkurvan vara relativt linjär och inte språnggraderad eller månggraderad. Filter av sand med D_{90} mindre än 20 mm behöver normalt ingen ytterligare begränsning av ojämknornigheten med hänsyn till inre stabilitet. För grövre filter kan dock ytterligare begränsningar av kornfördelningen vara lämpliga, vilka bestäms från fall till fall.

Ett materials inre stabilitet kan kontrolleras genom att kravet $D_{15}/d_{85} < 4$ skall vara uppfyllt där materialet delas i en grövre och en finare del vid en godtycklig punkt på kornkurvan. En alternativ metod har utarbetats av Kenney och Lau [7.2 – 47].

För att filtret skall få tillräcklig **vattengenomsläpplighet** behöver materialet alltid ha $D_{15} > 4 \cdot d_{15}$, och vara större än 0,1 mm. D_{15} för filtermaterialet skall då på samma sätt som vid övriga regler bestämmas på filterkurvan för allt filtermaterial. D_5 skall inte understiga 0,06 mm.

Filtermaterialet skall vara **kohesionsfritt**, d.v.s. att filtermaterialet som passerar sikt nr 40 (0,425 mm) får inte vara plastiskt (ASTM D4318).

För att filterzoner och dränage fortlöpande skall fylla sin funktion under anläggningens livstid ställs krav på **beständighet** för materialen. Jordmaterialen skall provas på laboratorium och resultaten skall visa på beständiga partiklar som inte förändras av schaktnings-, bearbetnings-, transport-, utläggnings- och packningsmetoder, långsiktig vittring eller erosion, se vidare [7.2 – 46].

Under byggnadstiden är noggrann **kvalitetskontroll** av, de relativt sett små, filterzonerna nödvändig med hänsyn till deras kritiska funktion, se vidare [7.2 - 2]. Viktiga aspekter under byggandet inkluderar att:

- förhindra förorening av filter och dränage
- förhindra stenseparation
- åstadkomma god packningsgrad
- övervaka korngraderingen
- övervaka filterzonernas tjocklek och kontinuitet

Ytterligare vägledning för dimensionering av filter mellan en tät kärna av morän och en stödfyllning av sprängsten ges genom ett exempel i punkt 7.2.3.3.6.

Nedströmsfiltret närmast tät kärnan anses som det viktigaste filtret i en fyllningsdamm.

Moränen som används till tätjord i svenska fyllningsdammar innehåller oftast, åtminstone till någon del, en finjordshalt på 30 %. Detta medför att kravet på $D_{15} < 0,7$ mm i de flesta fall blir dimensionerande för nedströmsfilter. Risker för stenseparation medför vidare oftast att D_{90} behöver begränsas till 25 mm enligt **Tabell 7.2 - 4**.

Nedströmsfiltret närmast tät kärnan görs normalt minst 2 - 3 m brett och läggs ut med traktor. Vid begränsade utrymmen t.ex. närmast krönet används dock oftast smalare bredd, vilket gör att mindre utrustningar och avvikande utläggningsmetoder kan behövas i dessa områden.

7.2.3.3 Övergångszoner

Förutom ovan behandlade nedströmsfiltret närmast tät kärnan behövs oftast filtermaterial till ett flertal ytterligare zoner för att säkerställa dräneringsförmågan och övergången mellan olika material.

Exempel på sådana zoner är uppströmsfilter, filterlager under nedströms stödfyllning och diverse övergångszoner som mellan nedströmsfiltret och nedströms stödfyllning, mellan stödfyllning och grovt material i dammens nedströmstå och mellan erosionskydd och uppströms stödfyllning.

Vid övergångarna mellan alla material som ingår i dammen bör ovanstående filterkrav i tillämpliga delar vara uppfyllda. De ingående filterzonerna har dock olika betydelse för dammsäkerheten varför utformningen enligt praxis varierar t.ex. enligt följande:

- Filter överlagrande tät kärnans krön skall uppfylla samma krav som nedströmsfilter där överdämning till dessa nivåer kan komma i fråga. Beräkning av läckageflöden i filter och övergångslager i dammkrönet beskrivs i [7.2 - 17].
- Uppströmsfiltret närmast tät kärnan väljs normalt med samma kornfördelning som nedströmsfiltret, vilket anses ge möjlighet att få en inspolning av materialet i tät kärnan och en självläkande effekt om läckage uppstår. Tjockleken av uppströmsfiltret brukar dock väljas mindre med hänsyn till praktiska och ekonomiska överväganden.
- Filterkraven mellan uppströmsfiltret och uppströms stödfyllning kan (på grund av normala strömningsriktningen och hastighet vid avsänkning av magasinet) göras mindre strikta än ovan refererade krav. Information om erforderliga filterkrav i denna övergång finns beskrivna i [7.2 - 13].
- Filterzonen under nedströms stödfyllning kan likaså på grund av strömningsriktningen väljas med mindre strikta krav i övergång mot eventuell underliggande dränmaterial, jämför även här [7.2 - 13]. Filterövergången mot underliggande naturligt material är dock viktig för att förhindra materialtransport vid eventuellt läckage genom undergrunden. Denna övergång behöver härigenom uppfylla samma krav som finfiltret nedströms tät kärnan.
- Utströmningsområden i naturlig mark som ligger närmast nedströms dammtån kan medföra en fara för dammen om det uppstår erosion. Dessa områden behöver täckas med filtermaterial för att förhindra materialtransport vid eventuellt ökat läckage genom undergrunden. Filtermaterialet över utströmningsområdena anpassas så att det uppfyller filterregler mot materialet på platsen. För att tåla ett dimensionerande läckage genom grunden kan det vara aktuellt att täcka filtret med grövre material, se vidare principerna i punkt 7.2.3.4.4 Dimensionering av nedströms dammtå.
- Under erosionskydd behövs övergångslager som anpassas till stödfyllningen i dammen. Krav på gradering diskuteras i [7.2 - 20].

7.2.3.3.4 Dränage

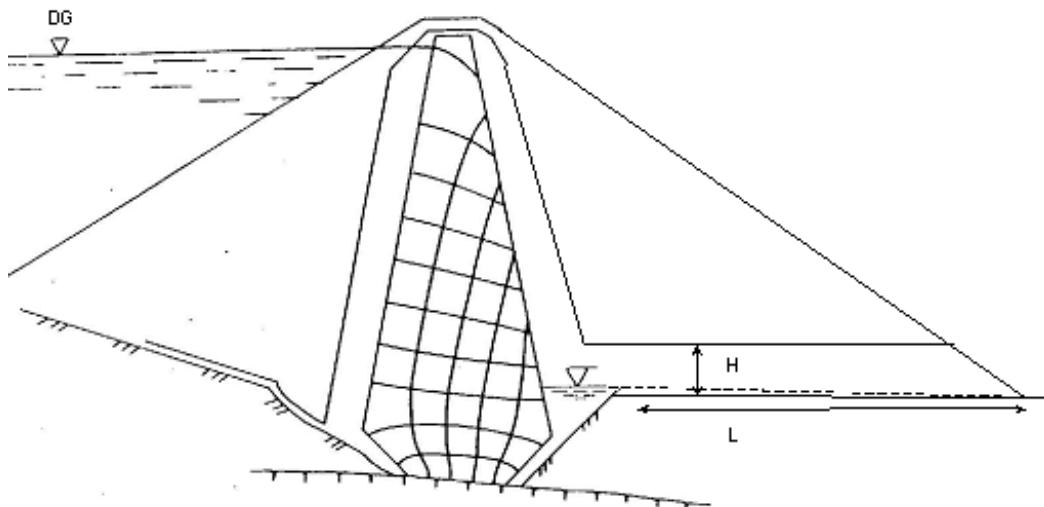
Filterreglerna skall vara uppfyllda i anslutning mot **dränagelager**. Vidare behöver korngraderingen anpassas så att **erforderlig flödeskapacitet** uppnås vid acceptabla portryck, vilket bör bekräftas genom beräkningar.

Läckvattenflödet genom dammen och undergrunden kan uppskattas med hjälp av strömnät. Genom att dammkroppen byggs upp och packas i lager skall hänsyn tas till att den horisontella permeabiliteten kan bli i storleksordningen 10 gr större än den vertikala permeabiliteten.

Dränaget skall normalt dimensioneras för minst ca 20 gr större läckage än det teoretiskt förväntade flödet. Erforderlig permeabilitet i dränagelagret kan beräknas med Darcy's lag:

$$k = q / (i \cdot H) \quad (\text{Ekv. 3})$$

där k = permeabilitetskoefficienten (m/s)
 q = läckageflöde (m^3/s , m)
 i = hydrauliska gradienten (H/L)
 H = dränagelagrets tjocklek (m)
 L = dränagelagrets längd (m)



Figur 7.2 – 2 Dimensionering av läckage i dammkroppen för normal genomläckning

Dräneringslagret behöver ha en genomsläpplighet och tjocklek så att flödet från normala genomläckningen kan dräneras utan att vattenståndet inne i dammkroppen stiger högre än till dräneringslagrets överkant, dvs gradienten skall inte behöva överstiga H/L . Dräneringslagret behöver, som ovan nämnts, uppfylla filterreglerna till omgivande material (undergrund och stödfyllningen). Vid behov behöver filter läggas ut mellan omgivande material och dränmaterialet.

För dammar i konsekvensklass 1 ställs även krav på dränagekapacitet för dimensionerande läckage, se vidare punkt 7.2.3.4.3 Dränagekapacitet.

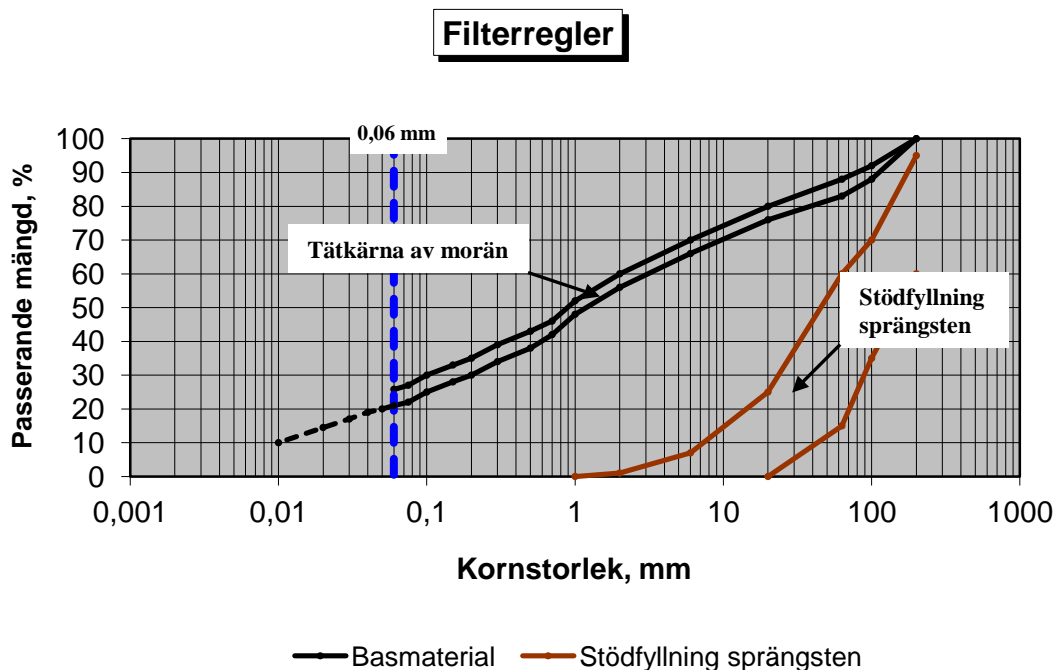
Härigenom kan dammkroppen behöva förstärkas med en skyddsvall utanför den befintliga dammkroppen för att säkerställa stabilitet och erosionsmotstånd vid ett läckage.

7.2.3.3.5 Dimensionering av filter – vägledande exempel

Nedan har utarbetats ett vägledande exempel som visar hur materialkrav för filter mellan tätkärna av morän och stödfyllning av sprängsten kan tas fram. I exemplet är kornfördelningen för tätkärnan och stödfyllningen given. Filterkriterierna i tillämpningsanvisningen används i kombination med praktiska överväganden för att bestämma enveloppkurvorna för de mellanliggande filterzonerna. Av exemplet framgår att det normalt erfordras två filterzoner mellan morän och sprängstensfyllning.

Då filtrets kornfördelning skall bestämmas kan nedanstående steg användas. Kornfördelningen för basmaterialet och filtermaterialet ritas in enligt praxis på ett enkellogaritmiskt papper.

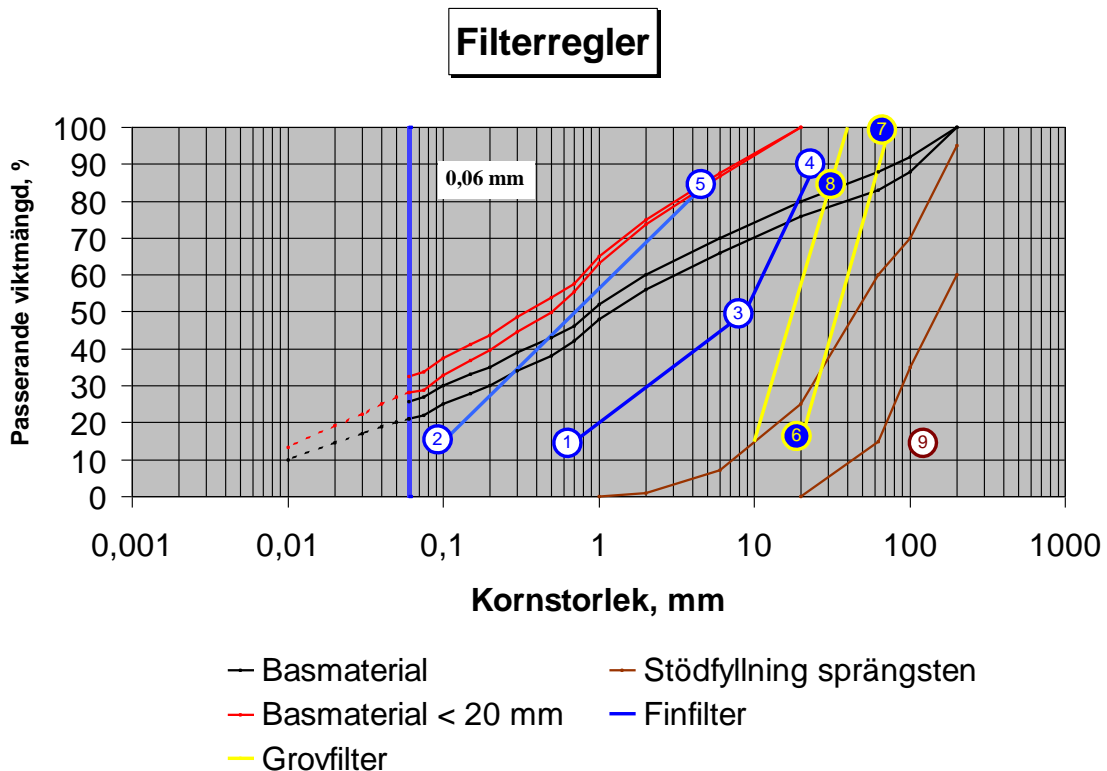
- A. Fastställ envelopperna för basmaterialets och stödfyllningens kornfördelning (se exempel i figur 7.2 – 3 nedan) genom att använda tillräckligt många stickprover och utforma därefter filtergraderingen efter ytterlighetskurvorna för det basmaterial som blir bestämmande för valet av finfilter.



Figur 7.2 – 3 Envelopper för basmaterialets och stödfyllningens kornfördelning

- B. Fortsätt till steg D om allt basmaterialet är < 20 mm eller om basmaterialet alltid innehåller mindre än 30 % finjord och inte är språnggraderat eller månggraderat.
- C. Plotta justerade envelopper gällande för kornfördelningen av basmaterial mindre än 20 mm genom att multiplicera ursprungliga halter med en korrektionsfaktor lika med kvoten av 100 och ursprungliga halt material

- > 20 mm. I exemplet i figur 7.2 – 4 nedan är ytterlighetskurvorna för material < 20 mm markerade med rött.
- D. Fastställ basmaterialets kategori enligt **Tabell 7.2-3** baserat på procent av material som är < 0,06 mm i de justerade fördelningarna och bestäm största möjliga D_{15} . För basmaterial med en finjordshalt 30 – 80 % gäller $D_{15} < 0,7$ mm (punkt 1 i figur 7.2 – 4).
- E. För att säkra tillräcklig permeabilitet skall filtret uppfylla $D_{15} \geq 4 \cdot d_{15}$. Den grövsta kornfördelningskurvan för basmaterialet används vid detta krav. D_{15} får dock inte understiga 0,1 mm som blir bestämmande i detta fall (punkt 2 i figur 7.2 – 4). Vidare får D_5 inte understiga 0,06 mm. Filtermaterialet skall vara kohesionsfritt, dvs. filtermaterialet som passerar sikt nr 40 (0,425 mm) får inte vara plastiskt (ASTM D4318).
- F. Kriteriet $D_{50} < 25 \cdot d_{50}$ kan normalt användas där det medger en större kornstorlek för filtret än en kornkurva där D_{15} förbinds med D_{90} med en rät linje. I exemplet nedan är $d_{50} = 0,35$ mm vilket medför $D_{50} < 8,75$ mm (punkt 3).
- G. För att minimera risken för stenseparation skall filtret ha en relativt jämnt fördelad kornfördelningskurva, utan skarpa kurvor som indikerar att vissa kornstorlekar saknas. Gränserna för att undvika stenseparation anges i **Tabell 7.2-4**. Enligt tabellen behöver maximala stenstorleken begränsas så att $D_{90} \leq 25$ mm (punkt 4). I detta fall är delar av stödfyllning grövre, varför ett grovfilter behövs mellan finfiltret och stödfyllningen.
- H. D_{85} för finfiltret väljs så att intervallet för finfiltret skall vara praktiskt möjligt att uppfylla på den aktuella platsen. I exemplet nedan väljs d_{85} till 5 mm (punkt 5).
- I. I de fall då finfiltret inte uppfyller kriteriet $D_{15} < 4 \cdot d_{85}$ mot (delar av) stödfyllningen skall ett grovfilter finnas mellan finfiltret och stödfyllningen. I detta fall är d_{85} (punkt 5) basmaterial för det grövre materialet. I exemplet nedan är för grovfiltret största tillåtna $D_{15} \leq 4 \cdot 5 = 20$ mm (punkt 6).
- J. D_{\max} för grovfiltret väljs normalt till 60 eller 75 mm (punkt 7).
- K. Den undre gränsen för grovfiltret dras parallellt med den övre gränsen och väljs så att grovfilterets envelopper skall vara praktiskt möjliga att uppfylla.
- L. Kontrollera att grovfiltret uppfyller filterreglerna mot all stödfyllning av sprängsten. För grovfiltret i figur 7.2 – 4 är minsta $d_{85} = 30$ mm (punkt 8), vilket medför att sprängstenen behöver ha $D_{15} \leq 4 \cdot 30 = 120$ mm (punkt 9).
- M. Utforma filtergränserna med utgångspunkt i de största och minsta kornstorleksvärdena som fastställdes i steg D – L genom att sammanbinda dessa med räta linjer.



Figur 7.2 – 4 Exempel på utformning av ett finfilter och ett grovfiler vid ett givet basmaterial och en given stödfyllning.

7.2.3.4 Stödfyllning

7.2.3.4.1 Allmänt

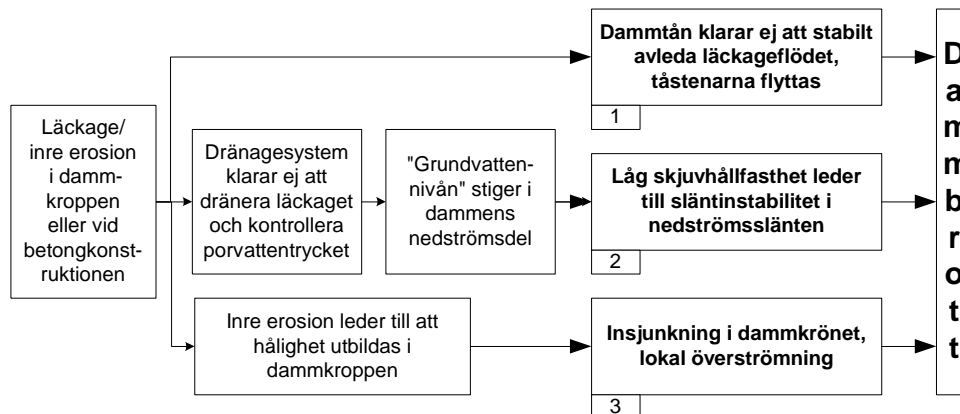
Fyllningsdammars stabilitet bestäms till stor del av stödfyllningens hållfasthet och släntlutning. Stabiliteten påverkas också av eventuella dränageanordningar och stödfyllningens täthet genom att portryck kan uppstå på grund av normala läckaget genom dammen, hastig avsänkning av magasinet eller i samband med läckage på grund av skador på tätjärna eller grundläggning.

En eventuell höjning av portrycken i stödfyllningen minskar stabiliteten för dammen. Nedan beskrivs hur stabiliteten behöver undersökas genom glidyteberäkningar för olika belastningsfall.

Stödfyllningen skall vidare ha erforderlig erosionsstabilitet för att tåla genomströmning och utläckning av det vattenflöde som kan tänkas uppkomma under dammens livslängd. Detta flöde benämns dimensionerande läckageflöde. Vilket flöde som dammen verkligen tål innan skadlig erosion uppstår, dvs dränagekapaciteten, beror till stor del av utformningen och materialet vid dammens nedströmstå.

Dammar i konsekvensklass 1+ och 1 dimensioneras så att de har tillräcklig dränagekapacitet och erosionsmotstånd vid utströmningspunkter i samband med dimensionerande läckageflöde.

Olika brottförlopp på grund av inre erosion framgår av **Figur 7.2- 5**.



Figur 7.2- 5 Brottförlopp initierade av läckage/inre erosion i dammkroppen eller valvbildning längs betongkonstruktionen

Vid brottförloppen av typ 1 och 2 erhålls ett läckage som strömmar ut vid dammtån. Läckaget ger erosion respektive utglidning som kan utvecklas till ett dammbrott. Vid förlopp 3 utbildas en sjunkgrop i krönet. Gropen kan successivt tänkas bli så stor att överströmning sker vid krönet. I detta fall är vidgningen av gropen ett långsamt förlopp medan brottförloppet efter det att överströmningen sker utvecklas snabbt.

Internationell statistik över dammbrott tyder på att förlopp 1 och 2 är markant vanligare än förlopp 3. I pågående utvecklingsarbete vid University of New Wales anges att risken för dammbrott för förlopp 3 kan bedömas från **Tabell 7.2 – 5**.

Tabell 7.2 – 5 Faktorer som påverkar risken för dammbrott för förlopp 3 ”Insjunkning i dammkrönet, lokal överströmning”

Faktor	Påverkan på risken för dammbrott		
	mer trolig	neutral	mindre trolig
Fribord vid tillfället för incidenten, m	<2m	ca 3m	>3m
Bredd på dammkrönet, m	<3m	ca 6m	>9m

Ovanstående medför att befintliga dammar i vissa fall kommer att behöva förstärkas med t ex en nedströmstå av grövre material än stödfyllningen i övrigt. Vid dimensioneringen av en sådan skyddsvall behöver beaktas brottförlopp 1 och 2, dvs med såväl erosion som stabilitet.

Åtgärder med avseende förlopp 3 ”Insjunkning i dammkrönet, lokal överströmning” bör övervägas för dammar som bedöms vara speciellt känsliga för inre erosion t.ex. där dammens nedströmsfilter avviker väsentligt från dagens krav eller där dammkrönet är smalt och överdämning kan bli aktuell som leder till att fribordet kan bli litet (jämför tabell 7.2 – 5 ovan). Risken för överströmning kan i dessa fall minskas genom att man bygger upp en skyddsvall ända till krönet, så att krönbredden kommer i

intervallet ”mindre troligt”. Härigenom kan förloppet med överströmning antas vara praktiskt taget uteslutet.

Bestämning av dimensionerande läckageflöde och beräkning av dränagekapaciteten med hänsyn till erosionsmotståndet hos dammars nedströmstå redovisas nedan i punkt 7.2.3.4.3 Dränagekapacitet.

7.2.3.4.2 Stabilitet

Stabilitetskraven kan här inte anges generellt eftersom de är beroende av omfattningen av beräkningarna och osäkerheten i ingångsparametrar, som skjuvhållfasthet, portryck och kännedom om t.ex. undergrundens beskaffenhet. Stabiliteten beräknas för olika sektioner av en fyllningsdamm. I **Tabell 7.2 – 6** nedan anges de belastningsfall som skall beaktas samt riktlinje för erforderlig säkerhetsfaktor.

Tabell 7.2 – 6 Översikt över de olika belastningsfallen samt erforderlig säkerhetsfaktor

Belastningsfall	Beskrivning	Säkerhetsfaktor
1	Färdig uppbyggnad av dammen innan magasinet fyllts	1,5
2	Normalt driftförhållande med stationär strömning genom dammkroppen	1,5
3	Extrema driftförhållanden med överdämning i samband med dimensionerande flöde	1,3
4	Efter snabb avsänkning av vattenståndet	1,3

Vid beräkning av säkerhetsfaktorn för befintliga dammar kan fältundersökningar vara befogade då osäkerheter i ingångsdata (främst hållfasthetsparametrar och porvattentryck) kan medföra stor variation av säkerhetsfaktorn. Vid bedömning av stabiliteten för befintliga dammar skall också stor hänsyn tas till drifterfarenheter och eventuella uppmätta rörelser och hur dessa utvecklats under årens lopp.

Vidare skall beaktas även andra extrema och mycket osannolika omständigheter som kan vara dimensionerande vid speciella förhållanden. För dammar i konsekvensklass 1+ och 1 tillses t.ex. att stabiliteten för glidytor är minst 1,1 i samband med dimensionerande läckage, jämför vidare punkt 7.2.3.4.3 Dränagekapacitet.

Vid utvärdering av stabiliteten i befintliga dammar där information om ingående material ofta är mycket begränsade kan en framkomlig väg vara att beräkna den relativa förändringen i säkerhetsfaktorn som tänkbara tilläggslaster medför. Eventuella förstärkningar kan därefter dimensioneras så att de med marginal kompenserar för tilläggslasterna.

Säkerhetsfaktorer listade i Tabell 7.2–6 avser säkerheten på skjuvhållfastheten längs glidytan, medan andra ingående värden som t.ex. egenvikter inte givits någon säkerhetsfaktor. Stabiliteten kan dock också beräknas med hjälp av koefficientmetoden, jämför [7.2 – 57]. Då dimensionering görs med koefficientmetoden bör dock säkerhetsfaktorn för belastningsfall 2 (normal drift) även kontrolleras med avseende på säkerheten räknat på skjuvhållfasthet längs glidytan. Denna senare kontroll kan särskilt vara av intresse i de fall fyllningsdammen eller undergrunden utgörs av material som deformeras olika mycket vid brott. En beräkning med koefficientmetoden kan i dessa fall ge ett alltför fördelaktigt resultat på dammens stabilitet.

7.2.3.4.3 Dränagekapacitet

För dammar i konsekvensklass 1+ och 1 skall dimensionerade läckageflöde bestämmas. Detta flöde avser varje rimligen möjligt läckage genom grund, tätkärna eller filterzonen över tätkärnan som dammen under sin livstid kan tänkas bli utsatt för. Dimensionerande läckageflödet är unikt för varje damm. För dammar i konsekvensklass 2 där det finns tveksamheter om tätkärnans och filtrens funktion rekommenderas att dimensionerande läckage bestäms och vid behov t.ex. en skyddsvall läggs ut.

I det följande ges vägledning hur dimensionerande läckageflöde kan bestämmas och hur eventuella erforderliga åtgärder kan genomföras för att dammen skall tåla detta läckage. Vägledningen avser jord- och stenfyllningsdammar med tätkärna av morän där dimensionerande läckaget antas vara orsakad av inre erosion i tätkärnan. Uppskattning av tänkbar vattengenomströmning vid andra tätande material eller orsakade av andra skäl, t.ex. överströmning av tätkärnan, behöver det dimensionerande läckaget bestämmas på andra sätt som anpassas från fall till fall.

Det bör här noteras att förbättringar av dränagekapaciteten genom utläggning av skyddsvallar avser att för befintliga dammar kompensera svagheter i t.ex. filter med hänsyn till skadans utveckling. En sådan åtgärd förändrar dock inte risken för att ett läckage startar, varför åtgärden endast har till uppgift att ge tillräcklig tid för t.ex. självläkning, sänkning av magasinet eller starta upp beredskapsåtgärder om det bedöms finnas behov av sådana.

En viss läckning kommer alltid att ske genom dammen, eftersom tätkärnan och undergrunden har viss genomsläpplighet. Erfarenheter från befintliga dammar har dessutom visat att plötsliga läckage kan uppstå lång tid efter dammens färdigställande.

Anledningarna till läckagen har ofta varit svåra att fastställa, men flertalet fall bedöms bero på specifika faktorer antingen vid projekteringen eller byggandet. Dessa faktorer har medfört att inre erosion kunnat utvecklas och betydande mängder material kunnat transporteras bort. Exempel på sådana faktorer är följande:

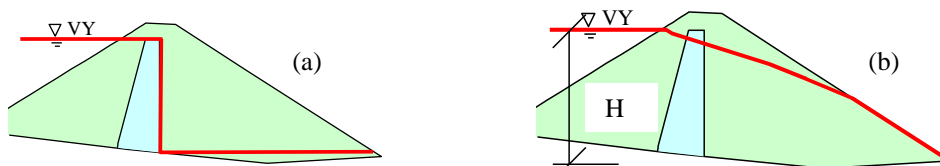
- Alltför grova filter nedströms tätkärnan av morän, möjligen i kombination med valvbildning och hydraulisk uppspräckning,

- Segregation av nedströmsfiltret på grund av att största stenstorleken hos filtermaterialet varit alltför stor, eventuellt i kombination med alltför tunna filter,
- Inre erosion i undergrunden i kombination med avsaknad eller otillräckligt filter vid utläkningsområden.

Inre erosion är efter överströmning av dammkrönet den vanligaste anledningen till dammbrott. De dammar som på detta sätt gått till brott har varit jordfyllningsdammar eller stenfyllningsdammar där nedströms stödfyllning varit grundlagd på jord. Stenfyllningsdammar där nedströms stödfyllning varit grundlagd på berg har inte rapporterats bland dammbrotten.

För jordfyllningsdammar kan en uppfattning av möjligt flöde erhållas genom en grov beräkning av den genomläckning som skulle erhållas om läckaget begränsas endast av stödfyllningens vattengenomsläpplighet. Beräkningen görs således utan hänsyn till materialet i tatkärnan och även utan hänsyn till omgivande filter om dessa är tunna eller om de kan tänkas erodera ut i stödfyllningen vid kraftigt läckage. Tätjorden och även omgivande filter antas i detta fall vara skadade av inre erosion så att de i en beräkning antas ha lika genomsläpplighet som omgivande material.

Ovan beskrivna konservativa princip för att uppskatta dimensionerande flödet för en jordfyllningsdamm åskådliggörs av **Figur 7.2 – 6 (b)**. Denna beräkningsprincip kan också vara tillämpbar för stenfyllningsdammar där stödfyllningen av sprängsten har litet styckefall och innehåller så mycket finkornigt material att d_{10} , som till stor del bestämmer genomsläppligheten, är i samma storleksordning som en jordfyllningsdamm med t.ex. grus i stödfyllningen.



Figur 7.2 – 6 Normal tryckfördelning dammkroppen (a) och antagen tryckfördelning vid dimensionerande läckage (b)

Uppskattning av möjligt läckageflöde vid jordfyllningsdammar, som begränsas av stödfyllningens genomsläpplighet, kan göras med strömnät och bestämning av stödfyllningens hydrauliska konduktivitet från dess kornfördelning. En tvådimensionell beräkning kan vara tillräcklig, men en bedömning bör göras om rimligheten att även ta med koncentrationseffekter på grund av dalgångens form och dammens utbredning i plan, jämför [7.2 - 16 och 17].

Strömningen genom fyllningsdammen kan antingen vara turbulent eller laminär eller en kombination av dessa.

Turbulenta permeabiliteten k_t kan uppskattas via materialets kornstorleksfördelningen t.ex. med ekvation (4).

$$k_t = \frac{1,7 \cdot d_{10} \cdot g \cdot n^3}{\beta_0 \cdot (-n)} \quad (\text{Ekv. 4})$$

där:

- k_t = turbulent permeabilitetskoefficient, (m^2/s^2)
- β_0 = kornformskoefficient, turbulent strömning, (3,6 för kantiga block)
- d_{10} = siktöppning där 10 viktsprocent av materialet passerar, (m)
- n = porositet (kan normalt antas till 0,3)
- g = tyngdaccelerationen, antas till 9,81 (m/s^2)

Flödet vid turbulent flöde kan därefter bestämmas med ekvation (5) och (6).

$$u = \sqrt{k_t \cdot i} \quad (\text{Ekv. 5}) \quad q = u \cdot A_{\text{medel}} \quad (\text{Ekv. 6})$$

där:

- u = strömningshastighet (m/s)
- i = hydraulisk gradient, (-)
- q = flöde per breddmeter ($\text{m}^3/\text{s}, \text{m}$)
- A_{medel} = läckageflödets medelarea, medelhöjden kan ofta sättas till $\text{ca } (2/3) \cdot H$, jämför Figur 3.2 – 6 (b).

Efter att flödets hastighet har beräknats kan kontroll av turbulensgraden göras genom att beräkna Reynolds tal (Re) enligt ekvation (7) enligt [7.2 – 17].

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d_t}{\nu} \quad (\text{Ekv. 7})$$

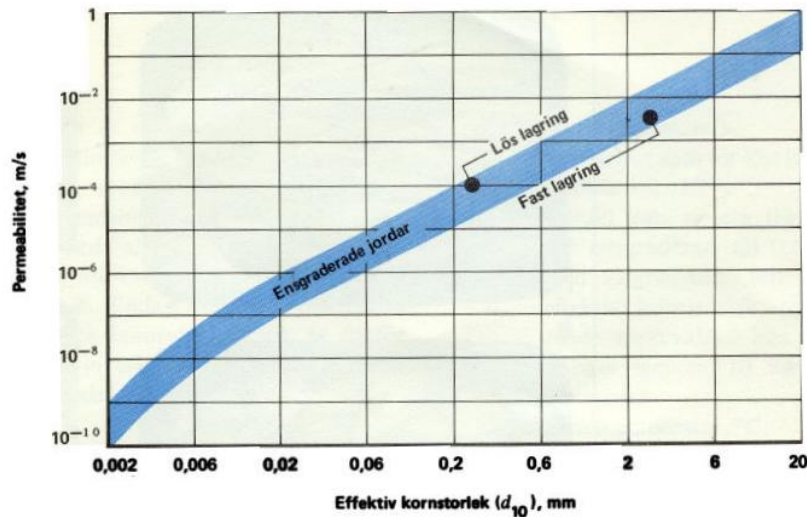
där:

- u = strömningshastighet, (m/s)
- d_t = bestämmande korndiameter, sätts till $1,7 \cdot d_{10}$, (m)
- ν = vattnets kinematiska viskositet, (m^2/s)

Tabell 7.2 – 7 Den kinematiska viskositetens beroende av vattnets temperatur

Vattnets temperatur, °C	Kinematiska viskositeten, ν (m^2/s)
0	$1,8 \cdot 10^{-6}$
10	$1,3 \cdot 10^{-6}$
20	$1,0 \cdot 10^{-6}$

Laminära permeabiliteten k_l kan överslagsmässigt uppskattas via materialets kornstorleksfördelningen, t.ex. **Figur 7.2–7** som avser ensgraderade jordarter (SGF:s informationsblad B7 ”Permeabilitet”).



Figur 7.2 – 7 Överslagsvärden på permeabiliteten hos kornfraktioner och ensgraderade jordar

I fallet då tätkärnan förutsätts bortspolad och materialet i dammkroppen endast antas bestå av stödfyllningsmaterial kan det genomströmmande laminära flödet bestämmas med ett strömnät och ekvation (8).

$$q = k_l \cdot n \cdot \frac{H}{m} \quad (\text{Ekv. 8})$$

där:

q = laminärt flöde (m^3/s , m)

k_l = laminär permeabilitetskoefficient (m/s)

n = antal strömrör

m = antal potentialfall

H = läckageflödets potentialfall, (m)

Om Reynolds tal är större än 600 kan antas att flödet fullt turbulent. Om Reynolds tal ligger mellan 15 och 600 antas att strömningen ligger i övergångszonen mellan turbulent och laminär. Strömningen kan då korrigeras med ekvation (9) enligt [7.2 - 17].

$$k_r = \frac{u \cdot k_l \cdot k_t}{u \cdot k_l + k_t} \quad (\text{Ekv. 9})$$

där:

k_r = korrigerad permeabilitetskoefficient, (m^2/s^2)

u = strömningshastighet vid antagen turbulent strömning, (m/s)

k_l = laminär permeabilitetskoefficient, (m/s)

k_t = turbulent permeabilitetskoefficient, (m^2/s^2)

Den korrigerade permeabilitetskoefficienten används i ekvation (5) och (6) för en ny beräkning av flödet.

Vid bestämning av läckageflödet som en **stenfyllningsdamm** skall dimensioneras för kan viss ledning fås från läckage som rapporterats under årens lopp.

- Vid Sourva dammen i Lule älv vet man att läckage i storleksordningen 200 l/s har förekommit.
- Erfarenheterna från Norge visar likaså att läckage i samma storleksordning (200 l/s) förekommit vid flera dammar.
- Vid Bullileo Dam i Chile finns rapporter om läckage som under längre tider var i storleksordningen 1 m³/s och med korta toppar upp till 8 m³/s. Vid denna damm fanns inget filter mellan tätmassorna och nedströms stödfyllning av sprängsten.

Stenfyllningsdammar tål stora läckage, åtminstone om nedströms stödfyllning är grundlagd på berg. Det behöver dock här noteras att stödfyllningar i svenska dammar många gånger kommer från sprängningar för anläggning av erforderliga utrymmen under mark. Sprängstenen kan då få relativt litet styckefall och kan i flera fall närmast likställas med jordfyllning. Det är härigenom lämpligt att gräva provgropar vid dammtån för att bestämma korngraderingen genom att bestämma totalsiktcurvan för materialet.

Dammens höjd och utbredning kommer att få markant inverkan på dimensionerande läckageflödet. För en rak, jämnhög jordfyllningsdamm av vanlig storlek (höjden lägre än ca 30 m) torde det dimensionerande läckageflödet per meter normalt bli i storleksordningen åtminstone något eller några hundra liter per sekund.

Högre stenfyllningsdammar förväntas, med ledning av bl.a. ovan nämnda erfarenhet av inträffade läckage, bli dimensionerade för ett totalt läckageflöde på i storleksordningen ett antal kubikmeter per sekund. Stenfyllningsdammar som dimensioneras för ett dimensionerande läckage av 0,5 m³/s,m eller ett totalt läckage av 5 m³/s kan antas vara stabila en lång tid efter läckagets initiering. Om totalläckaget genom geometrin i utströmningsområdet beräknas kunna ge ett mer koncentrerat läckage, dvs en större utläckning per breddmeter bör detta värde användas vid dimensioneringen.

Flödet som kan tänkas uppstå genom en damm är dock, som ovan nämnts, unikt för varje damm. En högre damm kan antas behöva dimensioneras för ett större läckage än en lägre damm. Vidare kommer dalgångens geometri att påverka storleken på utflödet vid nedströms dammtå och flödet parallellt med dammtån. Utflödet per breddmeter vid dammtån bestämmer i sin tur erforderligt erosionsmotstånd, dvs. minsta stenstorlek i utströmningspunkterna.

Läckagets storlek är också starkt beroende av stödfyllningens genomsläpplighet. Provgropsgrävning och bestämning av totalsiktcurvor från stödfyllningen följt av ovan indikerade beräkningsförfarande kan motivera ett anpassat läckageflöde för den aktuella dammen. Vidare bör samtliga felmoder i Figur 7.2 – 5 övervägas.

7.2.3.4.4 Dimensionering av nedströms dammtå

Dammtån vid nedströms stödfyllnings anslutning till grundläggningen dimensioneras efter följande kriterier:

- Längs nedströmssläntens anslutning till naturlig mark placeras stenar som är stabila för utströmmande dimensionerande läckage.
- Nedströmsslänten läggs i tillräcklig flack lutning, eller t.ex. stabiliseras med genomsläppligt material, så att slänten är stabil mot utglidning även vid konservativt beräknat portryck i stödfyllningen i samband med dimensionerande läckage.

Flödet, innan erosion inträffar vid dammtån bestäms av storleken hos stenen där vattnet strömmar ut.

Tåstenens storlek som funktion av utströmmande flöde och vinkeln mellan släntlutningen och horisontalplanet har vid erosionsstabilitet följande samband, jämför Solvik [7.2 - 17].

$$D = 1,5 \cdot q^{2/3} \cdot (\sin \alpha)^{7/9} \quad (\text{Ekv. 10})$$

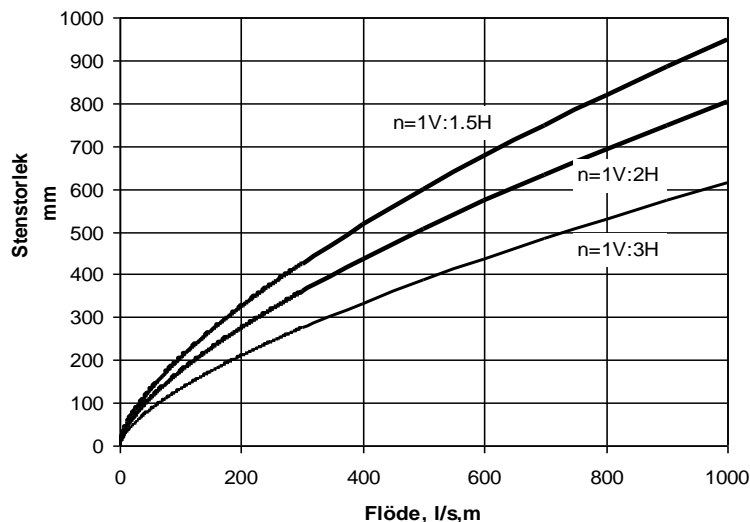
där:

D = erforderlig stenstorlek (m)

q = utflöde (m³/s, m)

α = vinkeln mellan slänt och horisontalplanet

I **Figur 7.2-8** framgår flödet vid olika storlekar på stenen vid utströmningspunkten. Observera att i diagrammet används andra enheter än de som används i ovanstående formel. Figuren gäller horisontell mark och tre olika lutningar för nedströmsslänten.

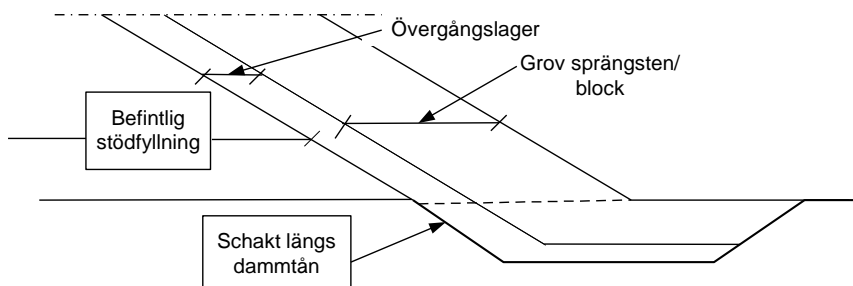


Figur 7.2 - 8 Erforderlig stenstorlek ur erosionssynpunkt i förhållande till utströmmande flödet

Skyddsvallen dras upp till sådan höjd i dammslänten att den med marginal täcker in källsprånget i samband med dimensionerande läckaget. Källsprångets läge kan bestämmas genom beräkning av strömningen vid belastningsfallet enligt **Figur 7.2-6 (b)**. För att få en säker nivå bör över-

vägas att vid beräkningen anta högre hydraulisk konduktivitet i horisontell led än vertikalt.

Ett exempel på utformning av anslutning till naturlig jord för en damm där dammtån på en jordfyllningsdamm dimensioneras för en tvådimensionell utströmning framgår av **Figur 7.2–9**.



Figur 7.2 – 9 Utformning av skyddsvall där dammens stödfyllning är grundlagd på jord

Skyddsvallen för dimensionerande läckage bör utformas så att hänsyn tas till stödfyllningens grundläggning och dammens tredimensionella utformning. Vid stenfyllningsdammar och vid koncentration av utströmningen där dimensionerande läckage blir stort behövs särskilt utredning för att anpassa anslutningen till den aktuella grundläggningen. För ytterligare underlag för dimensionering av erosionsmotståndet för dammtån hänvisas till [7.2 - 16 och 17].

7.2.3.5 Erosionsskydd

7.2.3.5.1 Bakgrund och syfte

I denna vägledning behandlas dimensioneringen av skydd på fyllningsdammars uppströmsslänt mot angrepp av vågor och is. Där det även förekommer strömmar bör det beaktas särskilt. Beträffande solitära vågor se punkt 7.2.3.8 Fribord nedan.

Storleken av vågor förorsakade av vind beror av vindhastigheten, stryklängden, vindens varaktighet och magasinets djupförhållanden. Erosionsskyddet skall klara påverkan från vågor, is och tjäle. Det skall täcka den del av dammen som är utsatt för dessa krafter. Vägledningen anger metoder för att bestämma vind, vågor och våguppspolning samt dimensionering av erosionsskydd i första hand med hänsyn till dammsäkerheten.

Vägledningen gäller primärt erosionsskydd av sten. Beträffande erosionsskydd av andra typer hänvisas till [7.2 - 23].

7.2.3.5.2 Konstruktionstyper

Tillämpningsanvisningarna omfattar uppströms erosionsskydd av sten på befintliga såväl som nya fyllningsdammar i Sverige.

Befintliga erosionsskydd på svenska dammar består i allmänhet av stenblock som antingen tippats på plats (oordnat erosionsskydd) eller av block som först tippats och därefter justerats in på slänten i ett mer eller mindre ordnat förband (ordnat erosionsskydd).

För svenska fyllningsdammar rekommenderas att någon form av ordnat erosionsskydd används. Detta kan ske genom att tippade stenblock efterjusteras med hjälp av grävmaskin så att föreskriven släntlutning erhålls. För att ytterligare förbättra stabiliteten rekommenderas att blocken ordnas så att stenarna hamnar i stabila positioner med längdaxeln lutande in mot dammen, som antyts i Figur 7.2-12. Vid byggande av erosionsskydd under vatten kommer detta i regeln att bli oordnat. Ett erosionsskydd av sprängsten som dimensioneras enligt dessa riktlinjer bör bestå av ensgraderat material med lämplig blockstorlek, se punkt 7.2.3.5.8 och -9. Kvoten mellan största och minsta huvudmått bör vara mindre än 3. En avgörande förutsättning för erosionsskyddets funktion är att underliggande material inte kan passera ut genom mellanrummen mellan stenblocken.

Det understryks att riktlinjerna i punkt 7.2.3.5.8 och -9, för dimensionering av erosionsskydd gäller båda oordnat och ordnat erosionsskydd enligt beskrivningen ovan.

Den ”norska modellen” för erosionsskydd av fyllningsdammar innebär att relativt likformiga block placeras sten för sten i ett mycket ordnat förband med längdaxeln lutande in mot dammen. För dimensionering av erosionsskydd enligt ”norska modellen” hänvisas till de norska riktlinjerna, som vid tillkomsten av dessa rekommendationer inte var klara, se även [7.2 – 51]. Laster på erosionsskydd utformat efter norska riktlinjerna kan väljas efter [7.2 – 51], vilket ger högre vågor än vågor beräknade efter de svenska riktlinjerna.

7.2.3.5.3 Material

Det stenmaterial som skall användas till erosionsskydd måste kunna tas ut med lämpliga blockstorlekar och lämplig form. Materialet ska vara av god kvalitet och vittrings- och frostbeständigt. Lämpliga bergarter med hög kvalitet brukar vara granit, gnejs, diorit och gabbro, under det att skiffriga bergarter som glimmerskiffer, lerskiffer och fyllit bör undvikas på uppströmssidan och dammkrönet. Vissa bergarter med inbyggda svaghetsplan eller sprickor kan vara olämpliga som erosionsskydd. Användbarheten hos tillgängliga bergmaterial bör bedömas från fall till fall.

Befintliga erosionsskydd är i många fall uppbyggda av sprängsten från uttag av kraftstation och vattenvägar vid respektive anläggning och innehåller ofta alltför fint material. Förekomsten av det finare materialet innebär att de större blocken inte hamnat i stabila positioner utan ändrar läge allteftersom det finare materialet spolats ut ur erosionsskyddet, vilket ger skydden sämre beständighet. Dessutom får erosionsskydden lägre genomsläpplighet än de erosionsskydd som testats i hydraulisk modell och utgör den tekniska grunden för skyddens dimensionering.

Det förekommer att natursten används som erosionsskydd, men den begränsade förekomsten av stenar med lämplig storlek gör att detta inte är ett realistiskt alternativ vid mer omfattande ny- och ombyggnad av erosionsskydd. Därför är öppna sprängningar med större dimensioner eller särskilda bergtäkter det mest realistiska alternativet. Det tilltänkta bergmaterialets lämplighet kan behöva undersökas genom såväl laboratorieprovning av beständigheten som provsprängning.

7.2.3.5.4 Säkerhetsnivå och livslängd

Skador på erosionsskydd är en vanligt förekommande anmärkning vid besiktningar och fördjupade dammsäkerhetsutvärderingar av fyllningsdammar. Internationell statistik över dammbrott tyder på att det är sällsynt att fyllningsdammar går till brott enbart på grund av vågerosion [7.2 – 52]. Det saknas dock för närvarande allmänt vedertagna metoder för att fullt ut bedöma dammsäkerhetsrisker i samband med skador på erosionsskydd. För dammar i konsekvensklass 1+ och 1 rekommenderas därför att erosionsskydd ska vara i princip underhållsfria. Denna rekommendation kan frångås i speciella fall om det tydligt kan visas att förväntade erosionsskador inte medför en dammsäkerhetsrisk.

En analys av faktorer som påverkar dammens motståndskraft i samband med skador på erosionsskydd kan omfatta t.ex. dammtyp, krönets bredd och utformning, magasinsnivå, stormens varaktighet, möjlighet att utföra reparationsåtgärder etc. Även om erosionsskyddet dimensionerats så att ett visst underhåll förväntas, ska det klara dimensionerande våglast utan att skador som direkt eller indirekt kan leda till att dammbrott uppkommer.

Erosionsskydd för fyllningsdammar i konsekvensklass 2 dimensioneras på motsvarande sätt, men för laster med 50-100 års återkomsttid, se **Tabell 7.2-8**.

Som ett alternativ till ombyggnad av befintliga, underdimensionerade erosionsskydd kan en ökad beredskap för underhåll övervägas där så är praktiskt och dammsäkerhetsmässigt möjligt.

7.2.3.5.5 Vindhastighet

Vid dimensionering av erosionsskydd och fribord för fyllningsdammar i konsekvensklass 1+ och 1 beaktas följande två belastningsfall:

Fall 1: Vind i samband med dimensionerande flöde

Fall 2: Vind då magasinet ligger vid dämningens gräns (under i övrigt normala hydrologiska förhållanden)

Vid Fall 2 förutsätts magasinet som högst ligga vid dämningens gräns, medan tillfällig överdämning eventuellt kan förekomma vid Fall 1, se [7.2 - 15].

Vindhastigheterna som vid dimensionering av erforderligt fribord och erosionsskydd kan användas med partialkoefficient lika med 1,0 sammanfattas i **Tabell 7.2 - 8**. Om en enskild damm är speciellt utsatt för extrema

vindar och om magasinet ligger nära dämmningsgränsen under stora delar av året, kan det finnas behov av att använda högre dimensionerande vindhastigheter.

Tabell 7.2-8 Vindhastigheter för dimensionering av fribord och stenstorlek.

Terrängtyp	Vindhastighet på 10 meters höjd (m/s)	
	Fall 1	Fall 2
Kalfjäll	25	35
Lågfjäll/Skogsland	20	30

Angivna vindar för Fall 1 är uppskattade 50-100 års vindar medan vindarna i Fall 2 har en uppskattad återkomsttid av storleksordningen 10 000 år. Fyllningsdammar i konsekvensklass 1+ och 1 skall dimensioneras för både Fall 1 och Fall 2. Dammar i konsekvensklass 2 behöver dimensioneras endast för Fall 1.

Värdena i ovanstående tabell bör användas i de fall där vinddata saknas. Om tillförlitliga vinddata finns tillgänglig för magasinet eller intilliggande områden kan dessa istället användas för att beräkna dimensionerande vindhastigheter.

Slätskyddet bör utsträckas från $2,6 \cdot H_s$ under sänkningsgränsen till dammkrönets nivå. I detta sammanhang kan beaktas att signifikanta våghöjden varierar då magasinsytan varierar. I de flesta fall kommer kraven på erosionsskyddets storlek och uppbyggnad att vara störst omkring dämmningsgränsen och eventuell överdämmningsnivå.

7.2.3.5.6 Effektiv stryklängd för beräkning av våghöjd och period

Fri stryklängd i vindriktningen definieras som avståndet över vatten från dammens uppströms slänt till motsatt sida av magasinet. Den effektiva stryklängden är den fria stryklängd som över öppet vatten ger upphov till samma vågor som i det betraktade begränsade vattenområdet.

Det rekommenderas att beräkningar av vågor och av den effektiva stryklängd görs med Savilles metod, se [7.2 - 2] och [7.2 - 18].

$$F_e = \frac{\sum (r_i \cdot \cos^2 \beta_i)}{\sum \cos \beta_i} \quad (\text{Ekv. 11})$$

där:

F_e = effektiv stryklängd

r_i = längden hos delsektorns bisektris

β_i = bisektrisens vinkel mot vindriktningen

Summering sker över en lämplig uppdelning av ett 90° vinkelrum centrerat kring den betraktade vindriktningen.

Det är viktigt, oavsett vilken metod som används, att det vid beräkning av den effektiva stryklängd används den metod som anbefalls i den använda vågberäkningsmetoden.

För att finna den kombination av effektiv stryklängd och infallsvinkel som är mest ogynnsam (dvs. dimensionerande) behöver beräkningen i regel genomföras för flera vindriktningar.

I vissa fall kan det vara lämpligt att utföra en noggrannare beräkning med hänsyn även till läverkan eller vindförstärkning av höga stränder, refraction, diffraction och vattendjupets inverkan i övrigt. Behovet av en sådan noggrannare beräkning kan bedömas först efter studier av vattendjup och terrängförhållanden.

Under en och samma storm varierar vågornas storlek på en och samma plats även vid konstant vindhastighet. För att karakterisera vågornas storlek har införts statistiska begrepp som "signifikanta våghöjden, H_s ", som avser medelhöjden av de 33 % högsta vågorna under stormen.

I formler för dimensionering av erosionsskydd används signifikanta våghöjden som en referensstorlek. Följande symboler och definitioner används:

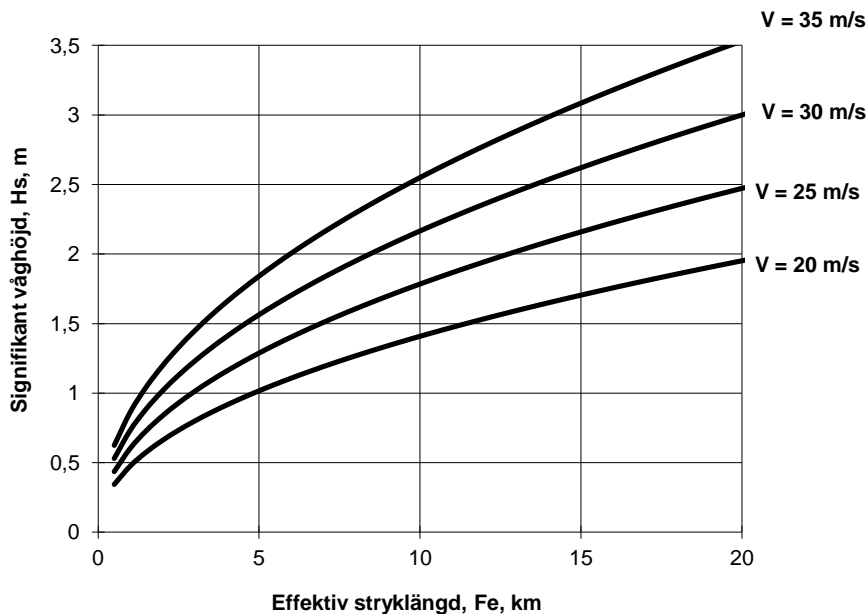
- H_s : Medelhöjden av de 33 % högsta vågorna
- $H_{0,5\%}$: Våghöjden som överskrids av 1 av 200 vågor
- $H_{0,05\%}$: Våghöjden som överskrids av 1 av 2000 vågor
- T_s : Signifikanta vågperioden (medelperioden av de 33 % högsta vågorna)
- T_m : Medelvågperioden

Följande uttryck för signifikant våghöjd H_s för fullt utvecklade vågor används tillsammans med den effektiva stryklängden beräknad med Savilles metod [3.2 - 18]:

$$H_s = 7,76 \cdot 10^{-4} \cdot V^{1,06} \cdot F_e^{0,47} \quad (\text{Ekv. 12})$$

där:

- H_s = signifikant våghöjd, m
- F_e = effektiv stryklängd enligt Saville, m
- V = vindhastighet 10m över vattennivå, m/s



Figur 7.2 – 10 Signifikanta våghöjden som funktion av effektiva stryklängden

Varaktigheten av vinden antas vanligen vara tillräcklig för full utveckling av vågorna, vilket för de flesta svenska magasin är i storleksordningen en halv till en timme.

Signifikanta vågperioden bestäms enligt Saville av:

$$T_s = 0,0889 \cdot V^{0,44} \cdot F_e^{0,28} \quad (\text{Ekv. 13})$$

7.2.3.5.7 Våguppspolning vid erosionsskydd av sprängsten

Med våguppspolning avses det vertikala måttet från vattenytans medelnivå vid dammen till den högsta punkten på dammslätten dit en våg når. Uppspolningshöjden används vid bestämning av fribordet i punkt 7.2.3.8. Våguppspolningen beror av våghöjd och branthet, infallsvinkel och släntlutning samt erosionsskyddets råhet och permeabilitet.

Liksom våghöjden, har även uppspolningshöjden en viss statistikfördelning.

Vilken uppspolningshöjd som används vid beräkning på fribord beror på den önskade säkerheten mot överspolning av dammkrönet. Generellt rekommenderas att fribordet dimensioneras för en uppspolningshöjd motsvarande $H_{0,05\%}$ -vågen. Avvikelse från denna generella rekommendation kan göras om man har särskilt motståndskraftigt krön och att dammen inte används som tillfartsväg.

Om H_s är känt kan $H_{0,05\%}$ bestämmas som:

$$H_{0,05\%} = 1,95 \cdot H_s$$

Holländska laboratorieförsök med olika vågparameter, släntlutningar och råhet och permeabilitet av slänten används för att bestämma våguppspolningen. För en slänt med erosionsskydd av oordnade stenblock av lämplig storlek (dvs ej graderat material) visar van der Meers undersökningar [7.2 – 56] att man för slänter med lutning 1V:1,8 á 2,0·H kan räkna med en uppspolning på maximalt 105 % av den för uppspolningen dimensionerande vågens höjd.

För slänter av andra material kan uppspolningen grovt skattas med hjälp av en uppspolningsfaktorn, R. Med utgångspunkt från uppspolningen för en slänt av tippade ensartade men oordnade stenblock definieras R enligt **Tabell 7.2-9** nedan. Uppspolningshöjden beräknas sedan med tillämpning av nedanstående formel.

$$H_{\text{upp}} = 1,05 \cdot R \cdot H \quad (\text{Ekv. 14})$$

där:

- H_{upp} = aktuell uppspolningshöjd, m
- R = uppspolningsfaktor
- H = dimensionerande våg för uppspolningen, m (väljs till $H_{0,05\%}$)

I vissa fall kan en noggrannare uppskattning av uppspolningshöjden vara befogad. I volym II av referens [7.2 - 25] finns ytterligare information om beräkning av uppspolningshöjder.

Uppspolningshöjden kan reduceras om der finns grunt vatten framför slänten [3.2 – 55] eller om vågornas inte faller vinkelrät mot slänten [7.2 – 56].

Tabell 7.2 – 9 Korrektionsfaktor för släntytans råhet och permeabilitet i relation till oordnat erosionsskydd.

Beskrivning av dammsläntens råhet och genomsläplighet	Uppspolningsfaktor, R
Slät, tät yta (t.ex. slänt av glaci, asfalt, betong, trä eller tät murad betongsten)	2-2,5
Ordnat erosionsskydd med hålrummen i släntens yta tätade med mindre block och sten	1,5-1,7
Ordnat erosionsskydd i form av block i stabilt förband i god kontakt mellan blocken	1,2-1,5
Oordnat erosionsskydd i form av tippade ensartade stenblock	1,0

7.2.3.5.8 Dimensionering av erosionsskydd av sprängsten med hänsyn till vågor

Dimensionering av blockstorlek i erosionsskydd för vindvågor kan göras antingen med Hudsons eller med van der Meers metod. Hudsons metod är enkel att hantera och duger för de flesta normala förhållanden medan van der Meers metod ger möjlighet att ta hänsyn till speciella förutsättningar, som t.ex. stormens varaktighet, typ av vågbrytning mot slänten, erosionsskyddets permeabilitet och skadegrad.

Nedan angivna formler ger stenstorlekar för ”tippade efterjusterade erosionsskydd”, se punkt 7.2.3.5.2 ovan. Om blocken läggs i ett stabilare förband ökar säkerheten, vilket i princip innebär att en mindre stenstorlek kan vara acceptabel. På grund av risken för brister i utförandet och med tanke på att ett ordnat erosionsskydd är känsligare för att ett enstaka block rubbas, bör dock inte stenstorleken reduceras vid ny- och ombyggnad av erosionsskydd även om stabila förband användas. Graden av samverkan mellan blocken kan dock vägas in vid bedömningen av behovet av ombyggnad av ett befintligt erosionsskydd.

Dimensionering enligt Hudson:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K \cdot \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cdot n} \quad (\text{Ekv. 15})$$

där:

W_{50} = medeltyngd av sten/block i kN

H = $1,3 \cdot H_s$

K = dimensionslös konstant som tar hänsyn till bl.a. skadegrad, blockform, inre friktion ($K=2,5$ eller $3,5$)

γ_r = tunghet för sten/block, kN/m^3

γ_w = tunghet för vatten, 10 kN/m^3

n = $\cot \alpha$, där α är vinkeln mellan slänten och horisontalplanet

Vid användning av Hudsons ekvation skall värdena $H=1,3 \cdot H_s$ och $K=2,5$ användas om inga skador kan accepteras. Om dammens säkerhet inte hotas av begränsade skador kan $K=3,5$ användas.

Dimensionering enligt van der Meer [3.2 – 56]:

Den mest användbara parametern för att beskriva hur en våg bryter mot en slänt är branthetsparametern:

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_{om}}} \quad (\text{Ekv. 16})$$

där:

α = släntlutningen, grader

$L_{om} = 1,561 \cdot T_m^2$ är våglängden, m

H_s = signifikant våghöjd, m
 T_m = medel vågperiod, s

Medelvågperioden kan bestämmas som $0,8 \cdot T_s$. Förutsatt att branthetsparametern ξ_m ligger inom intervallet 1-3 (brytande vågor) kan stenstorleken beräknas enligt följande formel:

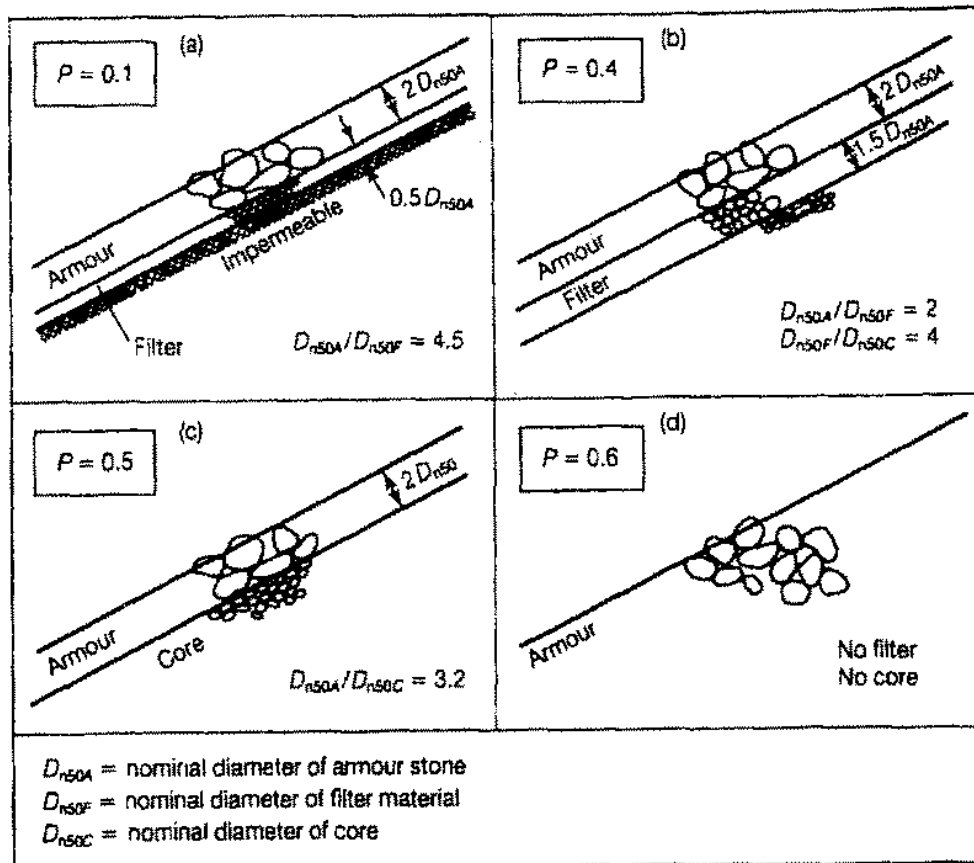
$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = 6,2 \cdot P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \xi_m^{-0,5} \quad (\text{Ekv. 17})$$

där:

Δ = $(\gamma_r / \gamma_w) - 1$ relativ densitet under vatten
 $D_{n50} = (W_{50} / \gamma_r)^{1/3} = 0,84 \cdot D_{50}$
 W_{50} = vikten som 50% af stenen är mindre än
 γ_r = tunghet för sten/block, kN/m^3
 P = permeabilitetsparameter
 $S_d = A_e / D_{n50}^2$ = skadeparameter
 A_e = erosionsskada, m^2
 N = antalet vågor

Erosionsskadans omfattning är definierad i släntens vertikalsektion som arean av bortroderat material i närheten av (över och under) den aktuella lugnvattenytan och skadeparametern relaterar erosionsskadan till aktuell blockstorlek. För släntlutningar mellan 1V:1,5H och 1V:2H uppges ett värde av $S_d = 2$ att motsvara ”initiell skada”, $S_d = 3-6$ ”mellanstor skada” och $S_d = 8$ ”kollaps” svarande mot förlust av erosionsskyddets funktion därför att underliggande filterlager blottas.

Permeabilitetsparametern (P) varierar för tänkbara utföranden mellan 0,1 och 0,6 med lägre värde ju större täthet och ju närmare släntytan ett tätt material finns. Skillnaden i erforderlig nominell blockdiameter D_{n50} mellan dessa båda extremvärden är betydande, ca 38 %. För erosionsskydd på fyllningsdammar med en tjocklek av ca $2 \cdot D_{n50}$ och med ett underliggande filter av tjockleken $0,5 \cdot D_{n50}$ gäller det lägsta och minst förmånliga värdet, dvs $P = 0,1$. Vid förhållanden som är mer fördelaktiga och inte stämmer överens med någon av de fyra fall som van der Meer anger, kan ett ungefärligt värde på P användas som baseras på en ingenjörsmässig bedömning. Alternativt kan P bestämmas vid modellering av vattenströmningen i dammen efter metoder beskrivna i litteraturen.



Figur 7.2-11 Riktlinjer för bestämning av permeabilitetsparametern, P, enligt van der Meer [3.2 – 56]. Observera att $D_{n50} = 0,84 \cdot D_{50}$ samt att 'Core' i bild (c) avser stödfyllning.

Branthetsparametern (ξ_m) relaterar den aktuella släntens lutning till angripande vågors branthet (H/L) enligt Ekv. 16. Parametern kan vid effektiva stryklängder upp till ca 5 km sättas till till 2,0, men kan avvika från detta värde om magasinet är grunt och/eller slänt är brantare än 1V:1,8H.

Vid dimensionering enligt van der Meers metod skall fallet "initieell skada" förutsättas efter en storm med minst 2000 vågor (vanligen $S_d = 2$ och $N \geq 2000$).

Vid omvandling av blockens tyngd till stendimension kan följande formel användas oavsett om stenstorleken dimensionerats med Hudsons eller van der Meers formel:

$$D = \sqrt[3]{\frac{W}{k \cdot \gamma_r}} \quad (\text{Ekv. 18})$$

där:

D = Teoretisk siktöppning som stenen passerar, m

W = tyngden av sten/block, kN

k = konstant varierar mellan 0,45 för flata till ca 0,75 för kubiska

γ_r = tungnet för sten/block, kN/m³

Gradering och övergångslager

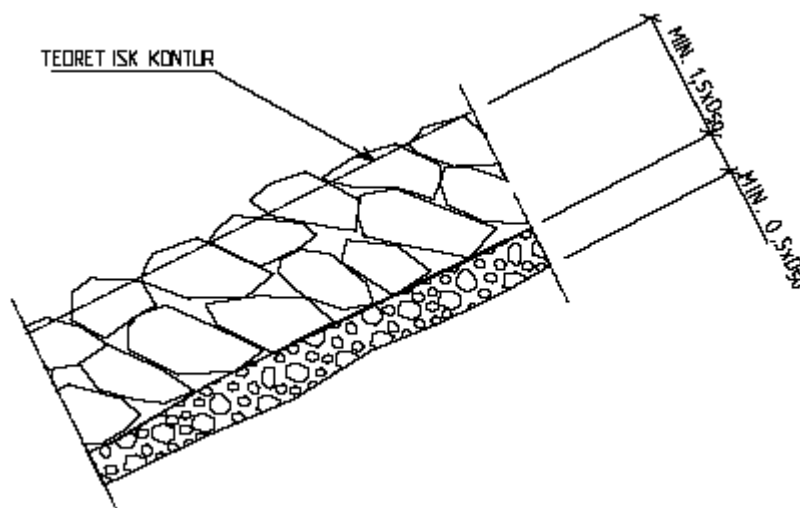
Erosionsskydd bör byggas upp av relativt ensgraderat material med följande förhållande mellan största och minsta stentyngder:

$$0,75 \cdot W_{50} \leq W \leq 3 \cdot W_{50}$$

Detta i kombination med ovanstående formel ger:

$$0,9 \cdot D_{50} \leq D \leq 1,4 \cdot D_{50}$$

Tjockleken på släntens ytlager, dvs. stenbeklädningen dimensionerad enligt ovan, skall vara minst lika med $2 \cdot D_{50}$, om dammfyllningen består av jordfyllning, och minst $1,5 \cdot D_{50}$, om stödfyllningen består av stenfyllning. Stenblocken läggs så att erosionsskyddet i släntytan minst uppfyller teoretisk sektion. Mellan stenbeklädningen och dammens stödfyllning, med tjocklek av minst lika med $0,5 \cdot D_{50}$, läggs ett övergångslager med sådan stenstorlek, att filterreglerna uppfylls både mot stödfyllning och mot stenbeklädningen. Ytterligare ett filterlager kan krävas för att uppfylla filterreglerna mot dammens stödfyllning.



Figur 7.2-12 Utformning av erosionsskydd (princip).

7.2.3.5.9 Dimensionering av erosionsskydd av sprängsten med hänsyn till is

En vanlig skadeorsak på erosionsskydd är att stenblocken fryser fast i vattenmagasinets istäcke och sedan bryts loss när vattenytan sjunker eller stiger. I normala fall är detta en underhållsfråga, men kopplingen till dammsäkerhetsrisker bör utredas i varje enskilt fall.

Med hänsyn till iskrafterna bör stenstorlekarna väljas enligt **Tabell 7.2-10**.

Tabell 7.2 – 10 Stenstorlek med hänsyn till iskrafter

Område	Min stenstorlek med hänsyn till ispåverkan, D_{min} (m)	
	Ordnat förband	Tippat
Norr om linje mellan Stockholm och Karlstad	0,5	0,6
Mellansverige	0,4	0,5
Södra Sverige (Skåne, Halland, Bohuslän och Västergötland)	0,3	

Värdena i tabellen baseras på ett betraktelsesätt där ispåverkan bestäms av istjockleken. Istjockleken bestäms av köldmängden, som ökar från Syd mot Norr. Det kan förekomma speciella förhållanden som gör att även andra faktorer bör beaktas. Genom att dimensionera erosionsskydd på detta sätt erhålls en rimlig grad av skydd mot skador p.g.a. is. Skador av is kan dock uppstå även om stenvikten väljs enligt ovanstående rekommendation. Ett visst underhåll av erosionsskydden bör man räkna med.

I vissa fall kan det vara nödvändigt med en noggrannare värdering av stenstorlekar med avseende på islast. Faktorer som påverkar islasten är t ex:

- Isens inspänningsförhållanden
- Vattenståndsväxlingar
- Köldmängd
- Speciella geografiska och klimatologiska förhållanden
- Drifterfarenheter
- Typ av erosionsskydd

Påverkan av is på erosionsskydd finns behandlat i [7.2 - 26]. Här framgår att riktlinjer för att ta hänsyn till isens påverkan på erosionsskydd varierar mycket mellan olika länder.

Om det kan förklaras att eventuella skador på erosionsskyddet under en vinter på grund av is inte hotar dammens säkerhet och att såna skador kan åtgärdas innan erosionsskyddet attackerats av stormvågor, då kan man för klass 2 anläggningar bortse från is i dimensioneringen av erosionsskyddet.

7.2.3.6 Dammkrän

Dammkrönet skall ha en bredd som säkrar en kvalitetsmässigt bra utformning av de olika zonerna. För höga dammar ställs högre krav på utformningen av dammkranen än för låga dammar. Deformationerna i en fyllningsdamm är vanligtvis proportionella med dammhöjden och störst i dammkranen.

Dammkränns bredd kan anpassas med utgångspunkt från släntlutningen tillsammans med de nödvändiga bredderna för tätkärna, filter och

övergångszoner i höjd med tätkärnans överkant samt de krav som finns avseende fribord och tjälskydd. Dammkrönet rekommenderas ha en minsta bredd på 5 m för dammar som är lägre än ca 30m. Vid högre dammar ökas bredden normalt med 1 m för varje ökning av dammhöjden med 30m.

Om dammkrönet innehåller bro och väg i det offentliga vägnätet dimensioneras bredd och material enligt bro- och vägnormer.

Krönet bör utformas så att moränen i tätkärnan blir skyddad så att inte tjälen tränger ner till en nivå dit vattnet i magasinet kan tänkas nå. Vid bedömning av konsekvenserna av tjälning bör hänsyn tas till utformningen av filter nedströms tätkärnan.

Tjäldjupet för ett snöfritt dammkrön kan bestämmas enligt ekvation 19, [7.2 – 43].

$$Z = k \times \sqrt{F} \quad (\text{Ekv. 19})$$

där

Z = tjäldjupet, cm

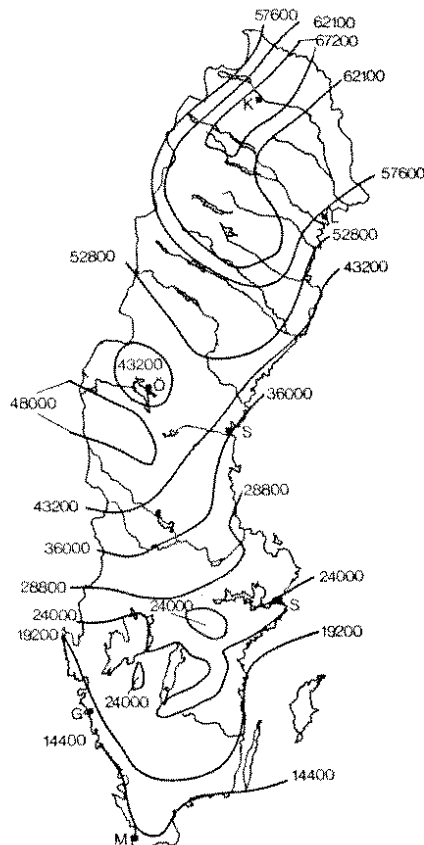
k = materialkoefficient enligt **tabell 7.2 - 11** nedan

F = maximal köldmängd i negativa timgrader enligt **Figur 7.2 – 12**.

Tabell 7.2 –11 Översikt över materialets inverkan på koefficienten k

Homogen damm av morän	Zonad damm med tätkärna av morän
$k = 1,20$	$k = 1,30$

Det kan krävas en särskild utredning i de fall då dammkrönet består av sprängsten eller annat grovt material eftersom tjälen då kan tränga längre ned än ovan framräknade tjäldjup.



Figur 7.2 – 12 Maximiköldmängd i Sverige. Köldmängderna redovisade i negativa timgrader [3.2 – 44].

7.2.3.7 Överhöjning

För att kompensera förväntade sättningar efter uppfyllning av dammkrönet byggs fyllningsdammar med viss överhöjning. Enligt mätningar [7.2 - 27 till 29] utförda på väl packade dammar grundlagda på berg bör överhöjningen vara 0,2 - 0,5 % av dammhöjden. Överhöjningen görs således störst där dammen är som högst.

I fyllningsdammar med moränkärna ges kärnans överkant och dammens krön samma överhöjning. Överhöjningen görs normalt endast i dammens övre del. Här accepteras då en något ökad släntlutning.

För fyllningsdammar som grundläggs på jord skall undergrundens sättning och dess tidsförlopp uppskattas. Erforderlig överhöjning ökas vid behov med den del av sättningen som bedöms återstå när fyllningen framskridit till krönnivån.

7.2.3.8 Fribord

7.2.3.8.1 Fribord med hänsyn till vågor

Fribordet beräknas med hänsyn till vattenytans snedställning (vindnivellering, vinduppstuvning) och våguppspolning vid ogynnsammaste vindriktning och eventuell överdämning i samband med dimensionerande

flöde. Dimensionerande vindhastigheter anges i punkt 7.2.3.5.5 Vindhastighet ovan. Erforderligt fribord, H_{fri} , beräknas enligt följande:

$$H_{fri} = H_{överd} + H_{sned} + H_{upp} \quad (\text{Ekv. 20})$$

där:

$H_{överd}$ = överdämning i samband med dimensionerande flöde

H_{sned} = snedställning (enligt nedan)

H_{upp} = uppspolningshöjd

Erforderligt fribord (H_{fri}) med hänsyn till vågor beräknas för belastningsfall 1 och 2 enligt **tabell 7.2 - 8** i punkt 7.2.3.5.5 Vindhastighet ovan.

Erforderlig överdämning ($H_{överd}$) beräknas från den tekniska avbördningskapaciteten och dimensionerande flödet enligt [7.2 - 15].

Beräkning av uppspolningshöjden H_{upp} görs enligt punkt 7.2.3.5.7 för de två belastningsfallen för vinden. Snedställning (H_{sned}) kan i normalfallet beräknas med hjälp av Zuider Zee-formeln:

$$H_{sned} = \frac{V^2 \cdot F}{4800 \cdot D} \quad (\text{Ekv. 21})$$

där

H_{sned} = snedställning av vattenytan, m

V = vindhastighet, m/s

F = stryklängd definierad som maximala längden av magasinet i vindriktningen, km

D = magasinets medeldjup, m

För magasin med planform som starkt avviker från den rektangulära formen som Zuider Zee-formeln utvecklats för kan formeln ge felaktiga resultat och en särskild utredning vara påkallad. För vidare synpunkter i samband med beräkning av vindnivelleringen hänvisas till [7.2 - 19].

Våguppspolning kan även orsakas av stora ras av berg eller jord från slänter i magasin även på stort avstånd från själva dammkroppen som ger upphov till så kallade solitära vågor med mycket lång våglängd liknande tsunamis. I Norge har vågor med höjd på 50 – 100 m skapats av bergras ned i fjordarna (Tjelle, Loen, Tafjord) med fler än 200 omkomna. Katastrofen då dammen i Vaiont överspolades och ca 2600 personer omkom orsakades av jordras ned i magasinet. Fenomenet bör beaktas vid dammar där magasinets slänter någonstans når mer än ca 75 m över vattenytan och har en medellutning av ca 20° eller mer.

7.2.3.8.2 Överdämningsförmåga

Den säkra överdämningsförmågan skall fastställas för varje damm. Viss vägledning vid bestämning av fyllningsdammars tekniska säkra överdämningsnivå kan fås från [7.2 - 30].

Vid flertalet anläggningar finns följande gemensamma kritiska punkter som kan vara dimensionerande för överdämningsförmågan:

- Uppspolning av vågor
- Erosion vid dammtån
- Stabilitet hos nedströmsslätten
- Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden
- Läckage och erosion i dammkrönet

Uppspolningen av vågor behandlas i punkt 7.2.3.8.1 ovan och erosion vid dammtån och stabilitet hos nedströmsslätten beskrivs i punkt 7.2.3.4 Stödfyllning ovan.

Risken för erosion i dammkroppen eller undergrunden är, tillsammans med överströmning av krönet, vanligaste orsaken till dammbrott. Vid överdämning kommer tryckskillnaden mellan uppströms och nedströms vattenyta att bli större och gradienten öka. Risken för att inre erosion skall inträffa i undergrunden i samband med överdämning mot en damm kan bedömas som liten i de fall där områden där läckage mynnar på nedströmssidan är täckta med filtermaterial som uppfyller filterreglerna mot underliggande material.

I samband med överdämning kan inre erosion uppstå i tät kärnan på grund av ökad gradient mellan uppströms och nedströmssidan av kärnan. Risken för att erosionen skall leda till skador är liten i de fall där nedströmsfiltret uppfyller moderna krav på filterregler. Befintliga dammar har dock många gånger ett grövre filter, eftersom reglerna tidigare varit mindre restriktiva. Den aktuella kornfördelningen hos filtret nedströms tät kärnan är därför en faktor som påverkar risken för inre erosion vid överdämning. Vidare behöver hänsyn tas från drifttiden t.ex. om läckage och/eller sjunkgropar inträffat, vilket oftast kan antas bero på att inre erosion inträffat.

Vid bestämning av högsta nivå som vattenytan kan tänkas få stiga behöver hänsyn tas till bl.a. ovan nämnda faktorer. Behovet av undersökningar i fält blir beroende av tillgänglig dokumentation över dammen och dammsäkerhetsbedömningar gjorda vid fördjupade dammsäkerhetsutvärderingar (FDU) etc.

Möjlig överdämningsförmåga påverkar också av valet av dimensionerande läckage och för detta utförda förstärkningsåtgärder, jämför punkt 7.2.3.4.3 Dränagekapacitet.

Mängden faktorer som påverkar förmågan till överdämning gör att några generella regler inte kan ställas upp utan dessa behöver bedömas från fall till fall.

7.2.4 Instrumentering

7.2.4.1 Allmänt

I detta avsnitt behandlas endast dammens instrumentering, medan övervakning av vattenytor i magasinet och nedströms anläggningen behandlas i andra avsnitt.

Fyllningsdammar skall instrumenteras så att gjorda antaganden vid projekteringen kan verifieras och dammen kontrolleras så att den fungerar på förutsatt sätt under uppbyggandet och i samband med första dämningen. Instrumenteringen behöver således anpassas till aktuella förutsättningar och kommer härigenom att vara unik för den aktuella dammen.

För övervakning av dammen på lång sikt väljs ut de instrument som redan installerats och bedöms ge information om eventuella framtida förändringar som påverkar dammens säkerhet. Behovet av att installera ytterligare instrument bör övervägas så att information från avläsningar från instrumenteringen kan identifiera eventuella processer som kan påverka dammens säkerhet på lång sikt.

I det följande beskrivs huvudsakligen behovet av instrumentering av befintliga fyllningsdammar. Instrumentering som behövs för övervakning i byggfasen, första dämningen och de första driftåren behandlas således inte.

Målet med instrumenteringen är att mätningar skall ge information som möjliggör att åtgärder kan vidtas innan eventuella förändringar utvecklas så att de allvarigt påverkar dammens säkerhet. Om förändringarna trots allt utvecklas så att de påverkar dammens säkerhet bör resultaten från mätningarna kunna ligga till grund för planering av åtgärder både på lång och kort sikt med målet att se om behov finns att starta åtgärder enligt förberedda beredskapsplaner.

7.2.4.2 Basinstrumentering

7.2.4.2.1 Allmänt

Behovet av instrumentering av en fyllningsdamm är beroende av aktuella grundläggningsförhållanden, ingående material och utformningen av dammen. I det följande ges därför endast anvisningar som anger de variabler som skall övervakas vid alla berörda dammar. Val av instrumenteringen är beroende på dammens klassificering samt lokala förhållanden.

I det följande har "basbehovet av instrumentering" anpassats till om grundläggningen av dammen är byggd på berg eller jord. Vidare har behovet och mätfrekvenserna varierats beroende på dammens konsekvensklass, se **Tabell 7.2-12**. Mätning markerad med x anger att mätningen bör vara obligatorisk där så är praktisk möjlig. Mätning med markering inom parentes rekommenderas, men kan i vissa fall undvaras och även längre tidsintervall kan vara tillräckligt, t.ex. övervakningen av sättningar i dammkrön och slänter där övervakningen kan genomföras på annat sätt, jämför punkt 7.2.4.4 Kartering av fyllningsdammar nedan.

Tabell 7.2 – 12 Basinstrumentering för fyllningsdamm med tät kärna grundlagd på jord eller berg och stödfyllning på jord eller berg.

Variabel för mätning	Konsekvensklass 1+	Konsekvensklass 1	Konsekvensklass 2
Läckage, (mätöverfall)	x, kont.	x, kont.	x, månadsvis ²⁾
Sättning och sidorörelse av krön (mätbrunnar i dammkrön)	x, år	x, år	(x, årlig)
Portryck i tät kärna (portrycksgivare)	(x, årlig)	(x, årlig)	-
Vattenstånd i nedströms filter eller i stödfyllning	x, halvår	x, halvår	-
Vattenstånd/portryck i undergrund ¹⁾	x, halvår	x, halvår	x, halvår

¹⁾ vid stödfyllning på jord mäts trycket i första hand vid dammtån

²⁾ Då läckageförändringar kan utvecklas snabbt bör tätare mätningar övervägas ur beredskapssynpunkt. Avläsning i samband med tillsynen t.ex. veckovis kan vara motiverat.

Referensen ”Retningslinje for overvåkning og instrumentering av vassdragsanlegg, høringsutkast daterat 31 augusti 2003” från NVE, se [7.2 - 31] kan ge ytterligare information om t.ex. lämplig redovisningsform hämtas. Vidare ger t.ex. referens [7.2 - 32] kompletterande information vid uppgradering av instrumentering på befintliga dammar.

7.2.4.2.2 Läckageövervakning

Läckagemätningen har i båda typer av grundläggning angivits bli utförd kontinuerligt för fyllningsdammar i konsekvensklass 1+ och 1. Med kontinuerlig mätning menas här att avläsningar görs med en frekvens av i storleksordningen en mätning var 15 minut. Automatisk överföring av larm skall alltid kunna göras t.ex. till kraftstation och driftcentral.

Inhämtning av mätdata kan antingen utföras genom att mätvärdena från kontinuerlig mätning automatiskt överförs och lagras i en databas eller att lagrade mätdata hämtas från mätstället med viss frekvens för analys av eventuella trender i resultaten. Oavsett metod bör funktion finnas som ger larm omedelbart utan att vänta på ordinarie inhämtningsintervall för mätdata.

Då fyllningsdammar är grundlagda på mäktiga lager av genomsläpplig jord eller då det finns en nedströmsvattenyta mot nedströms dammtå är det ofta inte möjligt att mäta läckaget. För att få viss kontroll på läckaget kan man i dessa fall mäta grundvattentrycket i nedströms filterzon eller i undergrunden. Vid dammar i konsekvensklass 1+ och 1 skall vattenståndsmätningarna i dessa fall anordnas för kontinuerlig mätning med möjlighet till larm på motsvarande sätt som vid läckagemätning.

Mätning av temperaturen på olika nivåer i vattenståndsrör kan ge information om läget för eventuella läckage. Vidare kan viss information erhållas av läckagets storlek genom att studera temperaturens årstidsvariationer i rören.

Vid läckagemätningar skall man särskilt ge akt på förändringar i läckvattenmängd och beskaffenhet (färg, grumling o.s.v.). Även i de fall då mätvärden automatiskt överförs till annan plats finns härigenom behov av

att besöka mätstället med viss frekvens (t.ex. vid veckovisa driftmässiga tillsynen) för att göra okulära observationer.

Möjligheter att vid automatisk överföring av mätdata ta hänsyn till nederbörd och snösmältning finns diskuterade i referens [7.2 - 33].

7.2.4.2.3 Mätning av sättning och sidorörelse

Basinstrumenteringen omfattar mätning av sättning och sidorörelser i krön. Rörelsemätningarna är antingen markerade med x där de bör vara obligatoriska eller (x) där de rekommenderas men kan i vissa fall undvaras. Vidare bör mätfrekvenser väljas beroende på dammens konsekvensklass och beroende på om dammen är grundlagd på berg eller jord.

Oftast mäts horisontalrörelser och vertikalrörelser genom geodetiska metoder och precisionsavvägningar, med utgångspunkt från fasta punkter. Dessa fixpunkter placeras så att dämningen inte påverkar läget samt så att varje mät dubb kan ses från minst två punkter. Mät dubbar består ofta av metall dubbar eller stål stänger försedda med körnslag. Dubbarna gjuts fast i dammslänten i stabila block och på tätkärnans krön i betongplintar som förses med tillräcklig isolering [7.2 - 2] för att undvika inverkan av tjäle. Mät punkterna bör projekteras och installeras med tanke på att de måste skyddas mot alla förutsebara verksamheter på platsen som kan skada dubbarna. Ofta innebär det att mät punkterna placeras i brunnar.

För att mäta rörelser finns ytterligare alternativ som utnyttjar t.ex. hydrauliska sensorer eller inklinometrar vilka kan kopplas till ett automatiskt mätsystem. Dessa alternativ kan hänföras till kompletterande instrumentering som bör övervägas vid behov.

7.2.4.2.4 Mätning av vattenstånd och portryck

I likhet med mätning av rörelser omfattar basinstrumentering mätning av grundvatten som antingen är markerade med x där de bör vara obligatoriska eller (x) där de rekommenderas men kan i vissa fall undvaras. Vidare bör mätfrekvensen väljas beroende på dammens konsekvensklass och beroende på om dammen är grundlagd på berg eller jord. Basinstrumenteringen kan inkludera portryck i tätkärna (vid nybyggnad av dammar), vattenstånd i stödfyllningen, samt både vattenstånd och portryck i undergrunden.

För befintliga dammar bör dock med hänsyn till risk för skador normalt ingen borrhning utföras i tätkärnan för t.ex. installation av portrycksmätare. I speciella fall där stort behov bedöms finnas för borrhningar i tätkärnan bör innan något arbete påbörjas särskild utredning göras och anpassade metoder utredas för att minimera risken för skador i samband med en eventuell borrhning.

För alla dammar grundlagda med tätkärna och stödfyllning på jord är mätningar i alla ovan angivna lägen antingen ett krav eller önskemål. För dammar byggda på berg finns det inget krav för mätning av grundvatten i undergrunden. Det finns inte heller något särskilt krav avseende

grundvattenmätning för dammar som har konsekvensklass 2 och är byggda på berg.

Mätning av grundvatten utförs genom vattenståndsrör eller porttrycksgivare. Detaljer avseende rören kan bestämmas beroende på genomsläppligheten i marken och mätningarna görs med olika typer av lod, t.ex. klucklod eller elektrisk dubbelledare. Det finns ett urval porttrycksgivare som inkluderar bl.a. hydrauliska-, pneumatiska- och elektriska mätsystem.

7.2.4.3 Kameraövervakning

Kameraövervakning är ett komplement till existerande övervakning som kan visualisera de faktiska förhållandena. Överföring av bilder anordnas så att de vid behov kan ses i driftcentralen. Installation av kameror skall speciellt övervägas vid dammar i konsekvensklass 1+ och 1.

Kamerorna bör placeras så att hela anläggningen, manövrerbara utskov och andra väsentliga delar på anläggningen kan observeras. Det kan också vara aktuellt att övervaka t.ex. dammtån och mätöverfall för att på sätt avfärda eller bekräfta resultaten från andra mätningar som utförs.

Vid stora eller komplexa anläggningar är det nödvändigt att använda sig av flera kameror. Det bör också finnas möjlighet att spara inspelningarna.

7.2.4.4 Kartering av fyllningsdammar

Överytan på alla fyllningsdammar i konsekvensklass 1+ och 1 bör karteras och redovisas i plan. Vid de flesta anläggningar i denna konsekvensklass behövs härigenom flygfotografering från låg höjd och fotogrammetrisk kartläggning. Alternativt kan dammöverytan scannas från marken.

Dammslänter under vatten scannas lämpligen med hjälp av registrerande noggranna ekolodsutrustningar som kan presentera resultaten i form av kartor med upplösning i plan och höjd på $\pm 0,1$ m, jämför **Tabell 7.2 –13**.

Karteringen av dammen är av intresse för att upptäcka större förändringar i dammens överyta som kan uppstå som resultat av t.ex. inre eller yttre erosion. Normalt behöver kartläggningen endast genomföras en gång, men förnyad inmätning kan bli aktuella där behov finns att studera eventuella förändringar. Anläggningar där kartering inte redan finns bör denna göras i samband med genomförandet av nästa fördjupade dammsäkerhetsutvärdering.

7.2.4.5 Automatisering av mätningar

Automatisering av mätningar är ett område som förändras och utvecklas snabbt i anslutning till utvecklingen inom teknologi och datakommunikation. Automatisering av instrumenteringen på fyllningsdammar kan vara gemensam för instrumenteringen för betongdammar och annan övervakning. En beskrivning av automatiseringens olika delar redovisas här i **Bilaga 7.2-1**.

7.2.4.6 Kompletterande instrumentering

Även andra variabler kan dock på grund av lokala förhållanden och speciella projekteringsantaganden bli aktuella att övervaka, jämför [7.2 - 34 till 38].

Typ av instrumentering och antal mätpunkter behöver anpassas för varje damm. Behovet av instrumentering för långtidsövervakning är till stor del beroende på erfarenheter från byggnadstiden och tiden efter drifttagning.

Onödigt mycket instrumentering eller hög frekvens på avläsningarna, kan medföra praktiska svårigheter att upptäcka förändringar som påverkar dammsäkerheten.

När behovet av instrumentering optimerats behöver mätprogrammet genomföras med tillräcklig personal och medel för regelbundna mätningar samt utvärdering av resultaten.

7.2.4.7 Onoggrannhet vid mätningar

Normalt förutsätts att mätningarna kan göras med följande noggrannhet:

Tabell 7.2 –13 Onoggrannhet för olika typer av mätningar

Mätning	Enhet	Onoggrannhet	Mätområde
Vattenstånd	m	± 0,01 m	Tänkbar överdämningsnivå till sänkingsgränsen eller alternativt några meter under dämningsgränsen
Läckageflöde	l/s	Vid 1 l/s ± 0,25 l/s, vid 100 l/s ± 3,5 l/s *	1- 200 l/s
Portryck/vattentryck	m	± 0,05m	
Fotogrammetrisk kartläggning	m	± 0,1m i både plan och höjd	
Lufttemperatur	°C	± 1 °C	
Nederbörd	mm	± 2 mm	

* Detta motsvarar ± 5 mm i de fall mätningen görs med ett 90° Thomsonöverfall

7.2.4.8 Planläggning, utvärdering och redovisning

Ett mätprogram skall finnas för varje fyllningsdamm. I programmet skall ingå minst följande information:

- Vilka mätningar som skall göras och frekvens för dessa
- Placering av instrumenten, t.ex. plan och djup
- Utformning av instrumenten, t.ex. fabrikat, ritning på mätöverfall
- Behov av kalibrering eller annan kontroll av instrumenten
- Noggrannheten vid de olika mätningarna
- Protokoll och rutiner för rapportering av mätresultat
- Förväntade variationsområden för respektive mätvärde och larmgränser då behov av omedelbara åtgärder specificeras, jämför beredningsplan

- Grafisk redovisningsstandard för mätresultaten med skalor för t.ex. kort- och långsiktig redovisning
- Frekvens för normala utvärderingen då inte ovan nämnda gränsvärden överskrids

I samband med mätningen bör tidigare mätresultat vara tillgängliga för jämförelse. Kontroll av riktigheten hos uppmätta värden kan härigenom underlättas och tidspillan undvikas. Övriga värdenas betydelse för dammsäkerheten skall utvärderas utan dröjsmål.

Variationer i vattenstånd i magasinet påverkar oftast läckaget, deformationer och vattentryck i dammen, varför magasinsvattenståndet bör mätas och redovisas tillsammans med dessa mätningar.

Vid normala förhållande bör göras en årlig redovisning och utvärdering av uppmätta värden. Utvärderingen skall innehålla en beskrivning av erhållna mätresultat där trender och absolutvärden värderas i förhållande till förväntade värden.

Bilaga 7.2.4 – 1 Automatisering av mätningar

Allmänt

Automatisering av mätningar är ett område som förändras och utvecklas snabbt i anslutning till utvecklingen inom teknologi och datakommunikation. Utvecklingen inom detta område möjliggör noggranna och driftsäkra mätningar med en ökad frekvens. Automatiska mätsystem ger snabbt information om avvikande mätvärden som eventuellt påverkar dammsäkerhet. Vidare kan automatisering vara ekonomiskt motiverad eftersom det minskar behovet av besök på platsen. Dessutom kan data kontrolleras med avseende på giltighet och repeterbarhet och det är möjligt att ställa in gränsvärden så att signaler för ökad varsamhet eller larm kan sändas i händelse av att gränsvärden överskrids.

Automatiska mätsystem har ett stort antal fördelar, men det finns även nackdelar och dessa bör också övervägas under projekteringsfasen. Automatisering kan resultera i ett överflöd av data som kan dra bort uppmärksamhet från fältbesiktningar. Vidare kan systemen vara dyra och komplicerade och ha krav på personal med en högre nivå av datakunskap jämfört med manuella mätningar, jämför [7.2 - 41, -42].

Ny mätutrustning och teknik för kommunikation utvecklas kontinuerligt, således presenteras i detta kapitel endast allmänna riktlinjer och synpunkter som kan övervägas tillsammans med valet av aktuell teknik. Systemen behöver vara skräddarsydda med hänsyn till att varje anläggning är unik, men viss standardisering av enskilda element i systemen bör eftersträvas.

Mätning

Terminologin som används för olika komponenter av ett mätsystem är ibland kopplade till specifika produkter och fabrikat. Därför kan det vara svårt att komma fram till en terminologi som är lämplig för alla möjliga system. Den följande indelningen är generaliserad. Vissa funktioner kan dock utföras med olika komponenter beroende på systemen (t.ex. data kan delvis bearbetas av antingen en datalogger eller en dator beroende på systems konfiguration).

Sensorer

Sensorern är den del av systemen som placeras på den punkt där den fysiska mätningen görs. En fysisk förändring av sensorn leder till en förändring i en elektrisk signal som kan mätas. Avläsning kan initieras antingen manuellt eller automatiskt. Det är viktigt att alla sensorerna kan mätas manuellt på ett sätt så att avläsningar kan jämföras med data som har blivit insamlade automatiskt. Dessutom är det viktigt att manuella avläsningar görs periodiskt för att bekräfta de automatiska mätvärdena, jämför [7.2 - 32]. I likhet med all instrumentering är det viktigt att välja sensorer som kan mäta de fysiska förändringar som kan förväntas. Vidare skall de vara tåliga mot påverkan av miljön (t.ex. temperatur, vatten, åska).

Mätstation

Det finns ett stort urval av mätstationer, eller automatiska datainsamlings-system, allt ifrån enkla system till system som har mycket avancerade funktioner. Emellertid har de alla en förmåga att ta mätningar från sensorerna och samla data tillfälligt i ett inbyggt minne samt överföra data till en mätdator. Ofta består en mätstation av en datalogger tillsammans med en eller flera multiplexrar.

Valet av en mätstation bör inkludera följande överväganden [7.2 - 32].

- Mätssystem är beroende av kraftförsörjning och denna behöver vara fri från avbrott. Systemet kan ha ett batteri som reserv, vara batteridrivet med kontinuerlig laddning, eller ha en nödgenerator. Mätssystemet bör utföras som ett lågvoltssystem.
- Det bör finnas minst två alternativ för att överföra data från mätstation till mätdatorn. Ett av alternativen bör vara direkt nedladdning från mätssystemet till en bärbar dator på plats.
- Storleken på det inbyggda minnet bör kontrolleras så att inga data förloras även vid en hög frekvens av mätningar under en tid när kommunikationen är ur funktion.
- Det bör vara möjligt att uppdatera mätssystemets programmering med fjärrstyrning från mätdatorn.
- Det bör vara möjligt att inkludera gränsvärden i programmeringen av mätssystemet så att ett larm kan initieras av systemet, d.v.s. ge mätdatorn information om överskridna gränsvärden och/eller ändra mätningfrekvens till en förinställd tidsfrekvens.
- Systemet bör rapportera parametrar avseende systemets tillstånd.
- Mätssystemet måste vara skyddat mot miljöfaktorer i överensstämmelse med tillverkarens krav gällande bland annat temperatur och fuktighet.

Mätdatorn

Mätdatorn samlar, bearbetar och lagrar data från en eller flera mätstationer. Normalt består den av en dator vid anläggningen varifrån mätstationen styrs. Oftast behöver en mätdatorn en uppvärmt och skyddat plats. Det finns dock system som kan tåla en mer utsatt plats. I likhet med mätssystem behöver mätdatorer avbrottsfri kraftförsörjning.

Datorerna bör utrustas med mjukvara som kan:

- Programmera mätstationer
- Ladda ner data som finns i minnet i mätssystem
- Bearbeta data avseende gränsvärden, trender, giltighet etc.
- Presentera diagram som visar bearbetade data över användardefinierade tidsperioder
- Utföra larmaktioner t.ex. ringa, skicka e-post eller SMS

Diverse

Alla kablar skall vara avskärmade mot elektriska störningar. Alla komponenter av mätsystemet behöver vara åskskyddade för att minimera skador av åsknedslag. Vidare bör varje sensors ingång i mätstationen förses med ett transientskydd. Alla systemkomponenter bör vara åtkomliga och utbytbara.

Överföring

Avseende överföring av data bör systemet vara särskilt skyddat mot sviktande funktion. För alla viktiga mätningar bör det vara möjligt, som ovan nämnts, att överföra data via två oberoende system.

- Från sensorerna till mätstationen:
Oftast används här överföring med kablar, men trådlösa överföringar är under utveckling. Kabeldragningen behöver ges en skyddad sträckning. Om praktiskt möjligt bör signalkablar läggas separerade från kraftkablar.
- Från mätstationen till mät datorn [7.2 - 40].
 - Radiosändare är här ett alternativ för överföring. De mest använda system är VHF och UHF. Signalen kan här överföras 35 – 40 km.
 - Kablar direkt mellan mätsystemet och mät datorn är ett annat alternativ. Med ett multidropinterface kan en koaxialkabel koppla en mät dator till många mätsystem över stora avstånd (flera kilometer). Ett korthållsmodem kan koppla ett mätsystem över ett längre avstånd (ca.10 km).
 - Ethernet möjliggör koppling för dataöverföring över en LAN, WAN, eller Internet.
 - Telefonmodem i både mätstation och mät datorn med fast telefonförbindelse är ytterligare ett alternativ. Detta är dock sällan en praktisk lösning.
 - Genom att GSM-modem i mätsystemet kan mät datorn ringa till systemet för att överföra data. Detta förutsätter naturligtvis GSM-täckning i området.
 - Satellitteknologi är en annan metod där telefoni och radio inte är möjliga.

Larm

Mät datorn bör kunna larma när förutbestämda nivåer på mät värdena överskrids. Larmen kan skickas ut i form av en larmsignal, ett telefonnummer som t.ex. rings till ett modem i en annan dator som kan ta emot mät data, eller ett meddelande med e-post som innehåller information om de värden som har överskridit ett gränsvärde.

Gränsvärdena kan bestå av fasta värden. Det bör dock finnas en möjlighet att basera ett larmläge på en förändringshastighet vid en sensor, eller på kombinerade mät värden (t.ex. ökning av läckage tillsammans med ingen

nederbörd). Det bör också eftersträvas att system kan känna igen ogiltiga mätvärde för att undvika falska larm.

Långtidslagring och utvärdering

Ofta finns det en central lagringsenhet där mätvärden från flera anläggningar lagras i en databas. Dessa system är avsedda för långtidslagring och utvärdering av data med avseende på långtidstrender. I likhet med överföring av data mellan mätsystemet och mät datorn finns det ett stort urval av kommunikationsmetoder. Då en mät dator vanligtvis finns på ett kontor vid anläggningen, finns det ofta flera driftsäkra och enkla metoder som t.ex. fast telefoni eller internet. Om trådlösa metoder behövs kan man överväga satellit- eller GSM-överföring.

7.2.5 Bygghandlingar

7.2.5.1 Allmänt

Beträffande bygghandlingar hänvisas även till uppgifter i anslutning till ovanstående punkter som behandlar olika moment i tillkomsten av fyllningsdamm, exempelvis punkt 7.2.3.1 Grundläggning.

Tidigare utförda förstudier ligger till grund för utarbetandet av bygghandlingar. Arbete med bygghandlingarna delas ofta upp i detaljprojektering och förfrågningsunderlag.

7.2.5.2 Detaljprojektering

Detaljprojekteringen av en fyllningsdamm omfattar bl.a. topografiska, geotekniska/geologiska undersökningar, dimensionering av grundläggning och damm.

Optimering av utformningen av dammen genomförs och redovisas. Den valda utformningen redovisas på ritningar med sammanställningar och detaljer.

Underlaget ligger oftast till grund för en förnyad kostnadsuppskattning.

7.2.5.3 Förfrågningsunderlag

I detta skede utförs normalt inga nya undersökningar utan arbetet är inriktat på att överföra förväntade förhållandena till förfrågningsunderlaget. Till grund för förfrågningsunderlaget ligger detaljprojekteringen samt utförda geotekniska och geologiska undersökningar.

Byggnadsbeskrivning som innehåller anpassade specifikationer till lokala förhållanden upprättas. Vidare görs en mängdförteckning över ingående arbeten.

Utförda undersökningar och utredningar redovisas var för sig så att det klart framgår vad som är undersökningsresultat och vad som är tolkningar.

7.2.6 Utförande

Arbetsledning och kontrollpersonal skall ha tillräcklig erfarenhet av att utföra större jordbyggnadsarbeten. De personer som ansvarar för arbetena skall ha tidigare relevant erfarenhet av arbeten med fyllningsdamm.

7.2.7 Kontroll

Arbetet kontrolleras genom fortlöpande övervakning av arbetsutförandet. Arbetet och materialens kvalitet kontrolleras minst i den omfattning som föreskrivs i bygghandlingarnas specifikationer, som skall innehålla minimikrav för materialundersökningar och frekvens för provtagningen.

Protokoll skall föras över provtagningen. Av protokollen skall framgå provens tidpunkt, resultat, eventuella avvikelser och gjorda rättelser mm. Härigenom skall de ställen där provningarna utförts även i efterhand entydigt kunna bestämmas.

Kontrollpersonalen skall ha rätt att avbryta byggnadsarbetena då omständigheterna, de använda materialen eller arbetsmetoderna avviker från dem som föreskrivs i bygghandlingarna.

Projektören bör medverka i kontrollen genom att följa genomförandet av åtminstone de mest kritiska arbetsmomenten och genom att ta del av byggplatsprotokollen.

7.2.8 Dokumentation

Resultat från fältundersökningar (jämför avsnitt 7.2.2.2) och beräkningar samt andra förutsättningar gjorda under projekteringen skall arkiveras på sådant sätt att de är lätt åtkomliga vid framtida utvärderingar av dammens säkerhet, eller vid eventuella framtida reparationer eller förstärkningar.

Relationsritningar skall upprättas med underlag av mätningar som utförs under byggnadstiden. Relationsritningarna skall uppvisa det slutliga utförandet av grundläggningen och konstruktionerna. Vidare bör det framgå var ändringar genomförts i samband med byggnadsarbetena.

Resultatet från alla provtagningar skall samlas på ett och samma ställe. Dessutom skall resultatet från provtagningarna sammanställas och utvärderas i t.ex. årsrapporter som arkiveras på samma ställe.

Referenser

- [7.2 - 1] "Boverkets konstruktionsregler", Föreskrifter och allmänna råd. BKR, Boverket byggavdelningen, upplaga 1:1, ISBN:91-38-12852-7, ISSN:1100-0856.
- [7.2 - 2] "Jord- och Stenfyllningsdammar", Vattenfalls handbok, Stockholm 1988
- [7.2 - 3] NVE (2002); Retningslinje for tilsyn og revurdering till §§ 7-2 og 7-3 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg.
- [7.2 - 4] "Hydro Power in Sweden", Vattenkraftföreningen och Vattenfall, 1981.
- [7.2 - 5] ICOLD Bulletin 70, "Rockfill Dams with Concrete Facing - State of the Art", 1989.
- [7.2 - 6] Hæg K. "Asphaltic Concrete Cores for Embankment Dams", Norwegian Geotechnical Institute, 1993.
- [7.2 - 7] ICOLD Bulletin 84, "Bituminous Cores for Fill Dams", 1992.
- [7.2 - 8] "Packningsegenskaper", Geotekniska laboratorieanvisningar, del 5, Byggnadsforskningens informationsblad B2:1971.
- [7.2 - 9] Daniel D.E. "Water content - Density Criteria for Compacted Soil Liners", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No 12, December 1990.
- [7.2 - 10] Lawton E. C et al "Review of Wetting-Induced Collapse in Compacted Soil", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 118, No 9, September 1992.
- [7.2 - 11] VASO dammkommittés rapport nr 16, "Åldersförändringar i fyllningsdammar", Åke Nilsson, 1995.
- [7.2 - 12] VASO dammkommittés rapport nr 13, "Filter Inventering och funktionsanalys", Åke Nilsson, 1995.
- [7.2 - 13] ICOLD Bulletin 95 "Embankment Dams - Granular Filters and Drains", 1994.
- [7.2 - 14] "Design Standards, Embankment Dams, No. 13, Chapter 5 Protective Filters", Bureau of Reclamation, USA, 1999.

- [7.2 - 15] "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar", Slutrapport från flödeskommittén, 1990, med Tillägg nr 2 avseende "Ändringar beträffande vindhastighet vid bestämning av erforderligt fribord" 1994-02-08.
- [7.2 - 16] Solvik Ø, "Safe Remedies for Leaking Embankment Dams", ICOLD, Q.52, R.78, Rio de Janeiro, 1982.
- [7.2 - 17] Solvik Ø, "Stenfyllningsdammars stabilitet vid genomströmning", VASO dammkommittés rapport nr 17, 1995.
- [7.2 - 18] "Vågor i vattenkraftmagasin", 1995, VASO dammkommittés rapport nr 10.
- [7.2 - 19] "Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänter", 1995, VASO dammkommittés rapport nr 11.
- [7.2 - 20] ICOLD Bulletin 91 "Embankment Dams – Upstream Slope Protection", 1993.
- [7.2 - 21] "Sambandet mellan extrem nederbörd och vind", Hans Alexandersson, SMHI, 1993-08-16.
- [7.2 - 22] "Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar". Rapport från VAST-VATTENFALL, oktober 1988.
- [7.2 - 23] "Erosionsskydd för svenska fyllningsdamm", ELFORSK 99:22.
- [7.2 - 24] Sherard, J.L. et al. "Earth and Earth-rock Dams", Wiley & Sons, New York, 1963.
- [7.2 - 25] "Shore Protection Manual", Vols. I and II, Coastal Engineering Research Center, Fourth Edition, U.S. Army Corps of Engineers, 1977 rev. 1984.
- [7.2 - 26] ICOLD Bulletin 105 "Dams and Related Structures in Cold Climate", 1996.
- [7.2 - 27] "Rörelser i jorddammar", Examensarbete i vattenbyggnad, nr 300, KTH, Susanne Olsson.
- [7.2 - 28] R. P. Clements, "Post-construction Deformation of Rockfill Dams", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 110, No. 7, July 1987.

- [7.2 - 29] O. Dascal, " Post-construction Deformation of Rockfill Dams", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 113, No. 1, January 1987.
- [7.2 - 30] "Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning", 1995, VASO dammkommittés rapport nr 15.
- [7.2 - 31] Retningslinje for overvåkning og instrumentering av vassdragsanlegg, høringsutkast, 31 August 2003.
- [7.2 - 32] EBL-Kompetense (2000), Håndbok for etterinstrumentering av dammer, Enfo, Publikation nr: 466-2000.
- [7.2 - 33] "Instrumentering och mätningar för fyllningsdamm", Delrapport, Allmän översikt, Vattenfall FUD-rapport 1990/30, 1990 och Delrapport, Redovisning av praktikfall, FUD-rapport 1990/29, 1990-04-30.
- [7.2 - 34] ICOLD Bulletin 41, "Automated Observation for the Safety Control of Dams", 1982.
- [7.2 - 35] ICOLD Bulletin 60, "Dam Monitoring, General Considerations", 1988.
- [7.2 - 36] ICOLD Bulletin 68, "Monitoring of Dams and their Foundations", 1989.
- [7.2 - 37] ICOLD Bulletin 87, "Improvement of Existing Dam Monitoring", 1992.
- [7.2 - 38] FERC - "Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Project", Federal Energy Regulatory Commission Office of Hydropower Licensing, Washington 1991.
- [7.2 - 39] "Dam Safety Guidelines", Canadian Dam Safety Association, 2000.
- [7.2 - 40] Cambell Scientific, Canada, Corp., 2003, produktblad, Internet, www.compbellsci.ca.
- [7.2 - 41] US Army Corps of Engineers, Guidelines of Embankment Dams and Levees, EM-1110-2-1908. 30 June 1995.
- [7.2 - 42] American Society of Civil Engineers, Guidelines for Instrumentation and Measurements for Monitoring Dam Performance, 2000.

- [7.2 – 43] Jord- och skogsbruksministeriet, (1997) *Anvisningar för dammsäkerhet*, JSM:s publikationer 7a, Helsingfors 1997.
- [7.2 – 44] ”Handboken BYGG, Geoteknik”, Liber Förlag Stockholm, 1984.
- [7.2 – 45] Lars Forssblad, ”Packning, Handbok om packning av jord- och bergmaterial”, AB svensk Byggtjänst, Stockholm 2000.
- [7.2 – 46] ICOLD Bulletin 92, “Rock Materials for Rockfill Dams”, 1993.
- [7.2 – 47] Kenney, T.C. and Lau, D. “Internal stability of granular filters” Canadian Geotechnical Journal. Vol 22, No. 3, pp215-225, and Vol.22, No. 1, pp32-43, 1985.
- [7.2 – 48] Coastal Engineering Manual. U. S. Army Corps of Engineers EM-1110-2-1100, 2002.
- [7.2 – 49] Saville, McClendon, Cochran: Freeboard allowances for waves in inland reservoirs. Journal of the Waterways and Harbours Division, Vol. 88, No WW2, 1962.
- [7.2 – 50] ”PM angående extrema vindförhållanden på de stora regleringsmagasinen i norra Sverige“, Haldo Vedin, SMHI, 1988-03-30.
- [7.2 – 51] ”Retningslinje for laster og dimensionering”, NVE, 2003.
- [7.2 – 52] ICOLD Bulletin 99 “Dam failures statistical analysis”, 1995.
- [7.2 – 53] Elforsk rapport 99:35, ”Fyllningsdammars motståndskraft mot överspolande vågor”, 1999.
- [7.2 – 54] van der Meer, J.W., “Conceptual design of rubble mound breakwaters”, 1993.
- [7.2 – 55] US Army Corps of Engineers: ”Reduction of wave run up on a revetment by addition of a berm”. REMR Technical Note CORR-1.3, Waterways Experiment Station, 1994.
- [7.2 – 56] van der Meer J.W. and Stam, C.J.M.: “Wave run-up on smooth and rock slopes of coastal structures”. ASCE journal of WPC&OE, vol 118, (5) pp534-550, 1992.
- [7.2 – 57] Skredkommissionen, Anvisningar för slläntstabilitetsutredningar, Rapport 2:89, 3:95, 4:95 och 5:95.

----- O -----