

RIDAS

Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet

Kapitel 3.2 Fyllningsdammar Tillämpningsanvisningar

2000-04-19

Tillämpningsanvisningar

3.2 FYLLNINGSDAMMAR

3.2.1 Allmänt

Dessa tillämpningsanvisningar är i första hand avsedda att användas vid uppförande av nya fyllningsdammar i Sverige. Det ingår även vissa anvisningar som kan tillämpas vid kontrollberäkning och förstärkning av befintliga äldre dammar.

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 tillämpningsbestämmelser.

Vattenfalls handbok för Jord- och Stenfyllningsdammar [3.2 - 2] har i stor omfattning legat till grund för nedanstående anvisningar för fyllningsdammar. Handboken bör härigenom användas som ett komplement till dessa anvisningar.

Förutom Vattenfalls handbok finns en mängd ytterligare litteratur som beskriver uppbyggnad, kontroll, övervakning samt underhåll av fyllningsdammar. I nedanstående text har angivits referenser till en del av denna litteratur.

Detta kapitel innehåller anvisningar och allmänna råd vid nybyggnad av fyllningsdammar. I tillämpliga delar kan de även användas vid ombyggnad, reparationer och förstärkningar. För fyllningsdammar kan det visa sig lämpligt eller nödvändigt att använda andra kriterier än de som anges nedan. Anledningen till detta är t ex att vissa anläggningar har särskilda förhållanden. Ny kunskap och förbättrad teknik framkommer kontinuerligt vilket medför att utveckling av nya tillämpningar bör uppmuntras.

3.2.2 Dimensionering

3.2.2.1 *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 åt nedströms- och uppströmshållet

Tillämpningsanvisningar

3.2.2.2 Fältundersökningar

Geotekniska utredningar utförs vanligen etappvis i olika skeden av projekteringen av en fyllningsdamm, jämför avsnitt 4.22 i ovan nämnda konstruktionsregler från Boverket [3.2 - 1] . Informationen tolkas och sammanställs, så att den i vid projektering av arbetshandlingar innehåller bl. a. följande uppgifter:

- Markens topografi
- Jordlagerföljd (borrhålsredovisning, material, lagergränser)
- Grundvattenförhållanden
- Materialegenskaper hos jord och berg (speciellt tätheten 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.

3.2.2.3 Karakteristiska materialvärden

Karakteristiska värden för en materialegenskap bestäms normalt som dess medelvärde, jämför avsnitt 4:23 i ovan nämnda konstruktionsregler från Boverket [3.2 - 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 3.2.3.3.

Egentyngder av materialen som ingår i fyllningsdammar bestäms i samband med projektering genom geoteknisk utredning med tillhörande laboratorieundersökningar, jämför avsnitt 3.2.2.2. Valda värden kontrolleras i samband med byggandet.

Vid förprojektering och vid avsaknad av pålitliga försöksresultat utgör värden i följande tabell rimliga värden:

Tabell 3.2 – 1 Egentyngder för material – typiska värden

Material	Skrymmdensitet, (kN/m ³)		Vattenmättad densitet, (kN/m ³)	
	Löst	Fast	Löst	Fast

Tillämpningsanvisningar

Sand	16,5	18,0	20,0	21,5
Grus	16,0	18,0	20,0	21,0
Sprängsten	15,0	17,5	19,5	21,0
Morän	19,0	21,0	21,5	23,0
Lera	18,0	-	18,0	-

3.2.3 Konstruktiv utformning

Utformningen av en fyllningsdamm definieras i olika skeden av projekteringen, t ex förstudier, vattendomsansökningar och arbetshandlingar. 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 anvisningar att bli kompletterade med anvisningar som styrs av de lokala förhållandena.

3.2.3.1 Grundläggning**3.2.3.1.1 Allmänt**

Dimensioneringen av grundläggningen görs med underlag från resultaten från fältundersökningar vars omfattning anpassas till de lokala förhållandena, jämför 3.2.2.2.

Geotekniska/geologiska undersökningar omfattar bestämning av material-egenskaper hos jord och berg. Tätheten hos material vid och under grundläggningsnivån undersöks särskilt noggrant.

3.2.3.1.2 Grundläggning på jord

Där tätjorden grundläggs på jord skall, om inga särskilda åtgärder vidtas för att minska eller ta hand om beräknat läckage, undergrunden verifieras ha motsvarande täthet som planerad ovanpåliggande tåtkärna. 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 tåtkärna skall metoder användas som uppfyller motsvarande krav som ovanpåliggande fyllningsdamm. Exempel på åtgärder som eventuellt kan kombineras kan vara:

- Tätmatta av morän uppströms tåtkärnan för att förlänga läckvägen,
- Tätskärm i form av tätdike, slitsmur eller injekteringskärm,
- Dränageanordningar i form av filterlager, dränagediken och/ eller brunnar.

Tillämpningsanvisningar

Dimensioneringen av åtgärderna med beräkningsförutsättningar 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.

3.2.3.1.3 Grundläggning på berg

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

För information om vanliga undersökningsmetoder och omfattning av undersökningarna hänvisas till [3.2 - 2 och 37 samt 38].

Bergets vattengenomsläpplighet undersöks t ex genom vattenförlustmätningar på olika nivåer i borrhål. 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 4 minuter när fortvarighetstillstånd uppnått. Vattenförlusten (v_f) för ett provsteg anges i l/min, m, MPa och beräknas med formeln:

$$v_f = \frac{q}{L \cdot p_o}$$

där 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).

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 ha minst tätheten enligt **Tabell 3.2 - 2**. Tätheten anges här vara beroende av dammhöjden (h), som i detta fall räknas som skillnaden mellan nivån för dammkrönet och lägsta grundläggningsnivån.

Tabell 3.2 - 2 Erforderlig täthet för berget under tatkärnan vid olika dammhöjd (h)

Dammhöjd (h) m	Täthet, Lugeon	
	översta 1/3 av (h)	mellan 1/3 till 2/3 av (h)

Tillämpningsanvisningar

< 30	2	4
> 30	1* och 2L**	3

* djup 0 – 6 m = 1 Lugeon, ** djup 6 m – 1/3H = 2Lugeon

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 [3.2 - 2].

3.2.3.1.4 Anslutning mot betongkonstruktioner

Erfarenheter från befintliga dammar har visat att skador i en del fall inträffar i området för anslutningen mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion t ex utskovspelare. Skadorna kan t ex ha följande orsaker:

- Svårigheter av utrymmesskäl att kunna 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 finns även 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 tätkärnan efter dämningen på grund av upphängning kan bli låga, vilket medför risk för hydraulisk uppspräckning, som anses kunna inträffa då jordtrycket blir mindre än vattentrycket.

För att minska risken för skador vid anslutning mellan fyllningsdamm och betongkonstruktion av t ex utskovspelare bör följande utförande övervägas:

- Anslutande betongkonstruktion ges en lutning av ca 8V : 1H och den traditionellt använda sponten från betongkonstruktionen in i tätkärnan 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 tätkärnans och nedströmsfiltrets bredd på bekostnad av stödjordens bredd (minskar valvbildning och ökar möjligheten till självläkning om läckage trots allt uppstår).

Tillämpningsanvisningar

- Tätjordens vattenkvot skall vid packningen vara högre än den optimala (för att vara plastisk och minska sättningarna vid vattendränkning, jämför avsnitt 3.2.3.2.4).

Även då ovanstående punkter beaktas bör hänsyn tas till att plötsliga läckage kan uppstå vid anslutningen till betongkonstruktioner. Dränagekapaciteten och nedströms dammtå behöver därför dimensioneras för eventuellt läckage, jämför avsnitt 3.2.3.4.4.

3.2.3.2 Tätning

3.2.3.2.1 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 [3.2 - 4].

Utomlands har stenfyllningsdammar med uppströms betongdäck (Concrete Face Rockfill Dams, CFRD) blivit en vanlig dammtyp, se [3.2 - 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 [3.2 - 6 och 7].

I det följande behandlas endast tätning med moränmaterial.

3.2.3.2.2 Moränens materialegenskaper som tätmaterial

Under planeringen för dammbygget 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 bör vara högst ca 3 % över den optimala (enligt tung laboriestampning) för att ha erforderlig bearbetbarhet om inte särskilda åtgärder görs för att minska vattenkvoten. Om materialet i täkten har högre vattenkvot kan dräneringsåtgärder, t ex genom utdikning i god tid före byggnadsarbetena påbörjas, medföra förbättrade materialegenskaper.

Finjordhalten (<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 som passerande sikt 2 mm vara högst 85 % och halten korn passerande sikt 20 mm minst 70 % av material mindre än 64

Tillämpningsanvisningar

mm. Härigenom kan moränen förväntas ha tillräcklig bärlighet 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 tätjordstakten.

Vid anslutning av tatkärnan mot berg får stenstorleken ej överstiga 30 mm inom 200 mm närmast bergytan.

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

3.2.3.2.3 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 skall vara något över den optimala vid tung laboriestedning.

Innan ny fyllning påförs skall den tidigare utlagda och packade fyllningens ytskikt rivas upp med tandat schaktblad 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 ej packade delen av lagret som är under utläggning och några meter från kanten av detta. Därigenom kommer traktorn vid utbredningen att få transportera hela jordhögen, varigenom en blandning av materialet sker. 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 tatkärnan 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.

3.2.3.2.4 Packning - vattenkvot av morän

Vid uppbyggnad av tatkärnan skall vattenkvoten hos moränen och packningsgraden hållas inom specificerade gränser. Kraven på packning och

Tillämpningsanvisningar

vattenkvot har ofta diskuterats i samband med byggandet av fyllningsdammar. Traditionellt packas materialet inom ett angivet område för vattenkvoten och till en minsta torrdensitet.

Gränsvärdena bestäms vanligen från resultaten av tung laboriestampning definierad enligt [3.2 – 8], vilket motsvarar ASTM D-1557. Gränser för packning/ vattenkvot anges t ex i [3.2 - 2] där värdena i första hand valts för att tillfredsställa behovet av en minsta 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
- Materialets plasticitet bör vara hög

För att hydrauliska konduktiviteten skall få ett begränsat högsta värde erhålls en acceptabel zon för densitet/vattenkvot som i ett diagram över densitet/vattenkvot är parallell med vattenmättnadsgränsen. Zonens undre gräns motsvarar härigenom en viss vattenmättnadsgrad, jämför [3.2 - 9].

Sättningar vid första vattendränkning av moränen blir betydande för material som packas in vid låg vattenkvot och till låg densitet, se [3.2 - 10]. En acceptabel zon för densitet/vattenkvot vid inpackning med hänsyn till vattendränkningssättningar är liknande den för hydrauliska konduktiviteten.

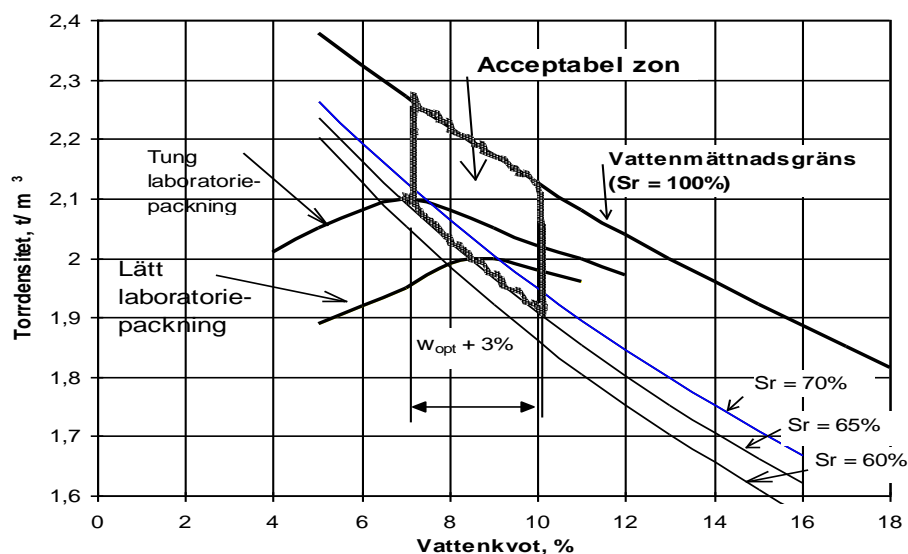
För att undvika att moränen blir spröd och känslig för sprickbildning i samband med första dämning behöver vattenkvoten vara högre än den optimala enligt tung laboriestampning.

Följande något modifierad acceptabel zon för densitet och vattenkvot bör tillämpas vid uppbyggnad av tatkärna av morän:

- 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 $w_{opt} + 3\%$).
- En minsta vattenmättnadsgrad (S_r) skall uppnås, (här vald till minst 65%).

De ovan angivna gränserna framgår i **Figur 3.2 - 1**. De modifierade gränserna 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.

Tillämpningsanvisningar



Figur 3.2 – 1 Acceptabel zon för moränens torrdensitet, vattenkvot och vattenmättnadsgrad vid packning

Förutom ovan beskrivna "torrpackningsmetod" kan "våtpackning" tillämpas. Jordmaterialet breddas 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. Sättningarna efter dammens färdigställning och vid första dämning har t ex oftast visat sig bli mindre än vid metoden med "torrpackningsmetoden". Metoden beskrivs mer i [3.2 - 2].

3.2.3.3 Filter, övergångszoner och dränage

3.2.3.3.1 Allmänt

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 [3.2 - 11].

En inventering av filter i svenska dammar [3.2 - 12] visar att kornstorleken D_{15} i flertalet anläggningar inte uppfyller filterkrav som t ex ges i Vattenfalls handbok för Jord- och Stenfyllningsdammar [3.2 - 2]. Vid några av anläggningarna kan dessutom konstateras att största stenstorleken för finfiltret är större än 60 mm, vilket är maximala stenstorleken enligt samma referens. För befintliga dammar bör därför vid bestämning av dimensionerande läckageflöde, (se bestämning av dränagekapacitet avsnitt 3.2.3.4.3) och vid dimensionering av eventuell nedströms dammtå (se avsnitt 3.2.3.4.4) hänsyn tas till den verkliga filterkvaliteten i dammen.

Filterreglerna som ges nedan baseras på referenserna [3.2 - 2, 13 och 14]. I huvudsak har reglerna i den senare angivna referensen från Bureau of Reclamation anpassats till svensk laboriestedandard till följande definitioner:

Tillämpningsanvisningar

d = kornstorlek hos basmaterial för tätjord (oftast bredgraderad morän) räknas på material < 20 mm. Då basmaterialet utgörs av finfiltret används dock totalsiktningsskurvan.

D = kornstorleken för filtermaterialet räknas på allt material (totalsiktkurvor).

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

Nedanstående filterkrav innebär hårdare krav än vad som enligt praxis använts under perioden då flertalet av de svenska fyllningsdammarna byggdes.

3.2.3.3.2 Filterregler

Filterreglerna för såväl månggraderade som ensgraderade basmaterial framgår av **Tabell 3.2 - 3**.

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

Tabell 3.2 - 3 Filterregler för olika basmaterial

Basmaterial med finjordshalt < 30 %	Basmaterial med finjordshalt 30 - 80 %
$4 < D_{15}/d_{15} < 40$ *	$4 < D_{15}/d_{15}$
$D_{15}/d_{85} < 4^{**}$	$D_{15} < 0,7$ mm
$D_{50}/d_{50} < 25$	$D_{50}/d_{50} < 25$

* detta krav avgörande för månggraderat basmaterial

** detta krav avgörande för ensgraderat basmaterial

Steninnehållet för finfilter behöver för att undvika **stenseparation** begränsas enligt kraven i **Tabell 3.2 - 4**, jämför [3.2 - 14].

Tabell 3.2 - 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

Tillämpningsanvisningar

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 härvid på samma sätt som vid övriga regler bestämmas på filterkurvan för allt filtermaterial.

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

3.2.3.3.3 Nedströmsfilter

Nedströmsfiltret närmast tätkärnan 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.

Risken för stenseparation medför vidare oftast att D_{90} behöver begränsas till 25 mm enligt **Tabell 3.2 - 4**.

Nedströmsfiltret närmast tätkärnan 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.

3.2.3.3.4 Övergångszoner och dränage

Förutom ovan behandlade nedströmsfiltret närmast tätkärnan behövs oftast filtermaterial till ett flertal ytterligare zoner för att säkerställa dränageförmågan 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.

Vid övergångarna mellan alla material som ingår i dammen bör ovanstående filterkrav i tillämpliga delar vara uppfyllda. Vidare behöver korngraderingen anpassas så att erforderlig flödeskapacitet uppnås, vilket bör bekräftas genom beräkningar. De ingående filterzonerna har dock olika betydelse för dammsäkerheten varför utformningen enligt praxis varierar t ex enligt följande:

- Uppströmsfiltret närmast tätkärnan väljs normalt med samma kornfördelning som nedströmsfiltret, vilket anses ge möjlighet att få en

Tillämpningsanvisningar

inspolning av materialet i tåtkärnan och en självläkande effekt om läckage uppstår. Tjockleken av uppströmsfiltret brukar dock minimeras 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 ICOLD Bulletin 95 [3.2 - 13].
- Filterzonen under nedströms stödfyllning kan likaså på grund av strömningsriktningen väljas med mindre strikta krav i övergång mot ovanliggande stödfyllning, jämför även här [3.2 - 13]. Filterövergången mot underliggande naturligt material är dock viktig för att förhindra materialtransport vid eventuellt läckage genom undergrunden. Denna övergången behöver härigenom uppfylla samma krav som finfiltret nedströms tåtkärnan.

3.2.3.4 Stödfyllning

3.2.3.4.1 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 tåtkärna eller grundläggningen.

En eventuell höjning av portrycken i stödfyllningen minskar stabiliteten för dammen. Nedan beskrivs hur stabiliteten behöver beräknas 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. Möjligt flöde som kan tålas innan skadlig erosion uppstår beror till stor del av utformningen och materialet vid dammens nedströmstå. Bestämning av dimensionerande läckageflöde och beräkning av dränagekapaciteten med hänsyn till erosionsmotståndet hos dammens nedströmstå redovisas också nedan.

3.2.3.4.2 Stabilitet

Stabiliteten beräknas för olika sektioner av en fyllningsdamm. Följande belastningsfall skall beaktas:

1. Färdig uppbyggnad av dammen
2. Normalt driftförhållande med stationär strömning genom dammkroppen

Tillämpningsanvisningar

3. Extrema driftförhållande med överdämning i samband med dimensionerande flöde
4. Efter snabb avsänkning av vattenståndet

Stabilitetskraven kan här inte anges generellt eftersom de är beroende på omfattningen av beräkningarna och osäkerheten i ingångsdata. För belastningsfall 1 och 2 kan dock som riktlinje anges att säkerheten skall vara minst 1,5. För belastningsfall 3 blir erforderlig säkerhetsfaktor i stor omfattning beroende på osäkerheten i ingångsparametrar, som skjuvhållfasthet, portryck och kännedom om t ex undergrundens beskaffenhet. Vid god kännedom om påverkande faktorer kan erforderlig säkerhet minskas till 1,3. För befintliga dammar kan osäkerheter i ingångsdata dock medföra stor osäkerhet i beräknad säkerhetsfaktor. Fältundersökningar kan då vara befogade. 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 beaktas även andra extrema och mycket osannolika omständigheter som kan vara dimensionerande vid speciella förhållanden. För dammar i konsekvensklass 1A och 1B tillses t ex att stabiliteten för glidytor är minst 1,0 i samband med dimensionerande läckage, jämför vidare "dränagekapacitet" avsnitt 3.2.3.4.3.

Stabiliteten kan beräknas antingen genom att säkerheten sätts på traditionellt vis helt på skjuvhållfasthet längs glidytan eller med partialsäkerheter. Då dimensionering görs med partialsäkerhetsmetoden bör dock för erfarenhetsåterföring kontroll göras genom att för belastningsfall 2 (normal drift) även beräkna säkerhetsfaktorn då den helt sätts på hållfastheten på traditionellt vis. Denna senare kontroll kan särskilt vara av intresse i de fall fyllningsdammen utgörs av material som deformeras olika mycket vid brott. En beräkning av brottgränstillståndet kan i dessa fall ge ett alltför fördelaktigt resultat på dammens stabilitet.

3.2.3.4.3 Dränagekapacitet

För dammar i konsekvensklass 1A och 1B skall dimensionerade läckageflöde bestämmas. Detta flöde avser varje rimligen möjligt läckage genom grund, tät kärna eller filterzonen över tät kärnan som dammen under sin livstid kan tänkas bli utsatt för. Dimensionerande läckageflödet är unikt för varje damm. I det följande ges vägledning hur läckageflödet kan bestämmas.

En viss läckning kommer alltid att ske genom dammen, eftersom tät kärnan och undergrunden har viss genomsläpplighet. Erfarenheter från befintliga dammar har dessutom visat att plötsliga läckage kan uppstå lång tid efter dammens färdigställning. Anledningarna till läckagen har ofta varit svåra att fastställa, men flertalet fall bedöms bero på relativt små detaljer antingen vid projekteringen eller byggandet. Exempel på sådana faktorer är följande:

- Alltför grovt dimensionerade filter nedströms tät kärnan av morän, möjligen i kombination med valvbildning och hydraulisk uppspräckning,

Tillämpningsanvisningar

- 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 veterligen inte rapporterats bland dammbrotten.

För **jordfyllningsdammar** kan en uppfattning av möjligt flöde erhållas genom beräkning av vilken genomläckning som skulle erhållas om läckaget bestämdes endast av filtrens och stödfyllningens vattengenomsläpplighet, dvs. utan hänsyn till materialet i tät kärnan. Tätjorden antas i detta fall vara utsatt för inre erosion så att det får liknande genomsläpplighet som omgivande material.

Uppskattning av möjligt läckageflöde vid jorrdammar, 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 bedömning bör göras om rimligheten att även ta med effekter från dammens utbredning i plan, jämför [3.2 - 16 och 17].

Vid bestämning av läckageflödet som en **stenfyllningsdamm** skall dimensioneras för kan viss ledning erhållas 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 inom anläggningen av erforderliga utrymmen under mark. Sprängstenen kan då få relativt litet styckefall och kan i flera fall närmast likställas med jordfyllning.

Tillämpningsanvisningar

Dammens höjd och utbredning kommer att få markant inverkan på dimensionerande läckageflödet. För jordfyllningsdammar av vanlig storlek (< ca 30 m) förväntas det dimensionerande läckageflödet bli i storleksordningen något eller några hundra liter per sekund.

Stenfyllningsdammar förväntas, med ledning av bl.a. ovan nämnda erfarenhet av inträffade läckage, bli dimensionerade för ett totalt läckageflöde på i storleksordningen 1 kubikmeter per sekund. Dalgångens geometri kommer att påverka storleken på utflödet vid nedströms dammtå. Utflödet vid dammtån bestämmer i sin tur erforderligt erosionsmotstånd, dvs. minsta stenstorlek i utströmningspunkterna.

Dammar i konsekvensklass 1A och 1B dimensioneras så att de har tillräcklig dränagekapacitet och erosionsmotstånd vid utströmningspunkter i samband med dimensionerande läckageflödet. Detta medför att befintliga dammar i vissa fall kommer att behöva förstärkas med t ex en nedströmstå av grövre material än stödfyllningen i övrigt.

3.2.3.4.4 Dimensionering av nedströms dammtå

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

- Längs nedströmssläntens anslutning till naturlig mark placeras tåstenar (nyckelstenar) som är stabila för dimensionerande läckning.
- Nedströmsslänten närmast tån stabiliseras genom att den utformas av sten med D_{50} som är större än 1/3 av höjden för vattenutströmningen vid dimensionerande läckning.
- Nedströmsslänten läggs i tillräcklig flack lutning, eller t ex stabiliseras med genomsläppligt material, så att slänten är stabil mot utglidning även vid förväntat porttryck i stödfyllningen i samband med dimensionerande läckning.

Flödet, innan erosion inträffar vid dammtån, bestäms antingen av storleken hos tåstenen eller av stenstorleken för materialet i slänten närmast tån.

Tåstenens storlek som funktion av utströmmande flöde och vinkeln mellan släntlutningen och horisontalplanet har vid erosionsstabilitet följande samband, jämför Solvik [3.2 - 17].

$$D = 1,5 \cdot q^{2/3} \cdot (\sin \gamma)^{7/9}$$

där D = erforderlig stenstorlek (m)

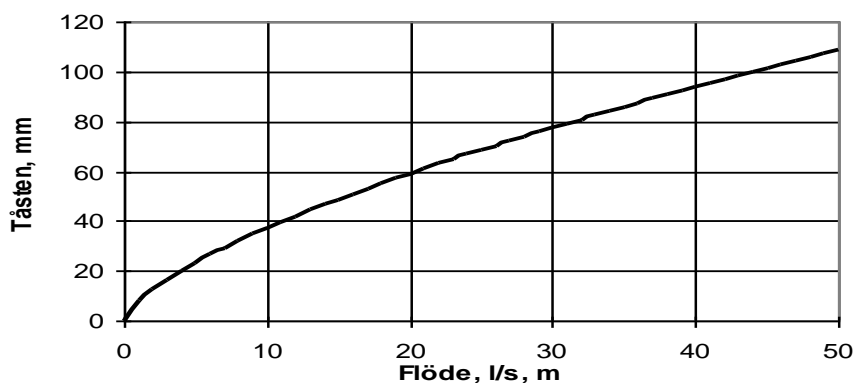
q = utflöde (m^3/s , m)

γ = vinkeln mellan slänt och horisontalplanet

I **Figur 3.2 - 4** framgår flödet vid olika storlek hos tåstenen. Sorterna i diagrammet har omvandlats till mindre enheter än de som används i

Tillämpningsanvisningar

ovanstående formel. Figuren visar endast ett exempel som gäller för nerströmsslänt i lutning 1V:2H och grundläggning på horisontell mark.



Figur 3.2 - 4 Erforderlig stenstorlek ur erosionssynpunkt för tåstenen i förhållande till utströmmande flödet

För ytterligare underlag för dimensionering av erosionsmotståndet för dammtån hänvisas till [3.2 - 16 och 17].

3.2.3.5 Erosionsskydd

3.2.3.5.1 Allmänt

Dimensionering av erosionsskydd har under senare tid behandlats i "Jord- och stenfyllningsdammar" [3.2 - 2] och VASO dammkommittés rapport nr 11 [3.2 - 19], samt ICOLD Bulletin 91 [3.2 - 20].

Dimensioneringsreglerna som beskrivs i det följande har i huvudsak hämtats från dessa rapporter.

3.2.3.5.2 Signifikant våghöjd och vågperiod

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.

3.2.3.5.3 Effektiv stryklängd för våghöjdsberäkning

Effektiva stryklängden är en beräkning av vindfånget för en bestämd riktning. Beräkning av effektiva stryklängden kan göras med Savilles metod, jämför VASO dammkommittés rapport nr 10 [3.2 - 18] och Forskrifter för Dammer [3.2 - 3]. Det bör noteras att metoden ger ett ungefärligt resultat och att även andra metoder, som i vissa fall ger högre vågor, används i andra länder.

Tillämpningsanvisningar

För att finna den kombination av effektiv stryklängd och infallsvinkel som är ogynnsammast (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, diffraktion och vattendjupets inverkan i övrigt.

3.2.3.5.4 Våghöjd

Följande uttryck för signifikant våghöjd H_s enligt Saville föreslås användas tillsammans med effektiv stryklängd:

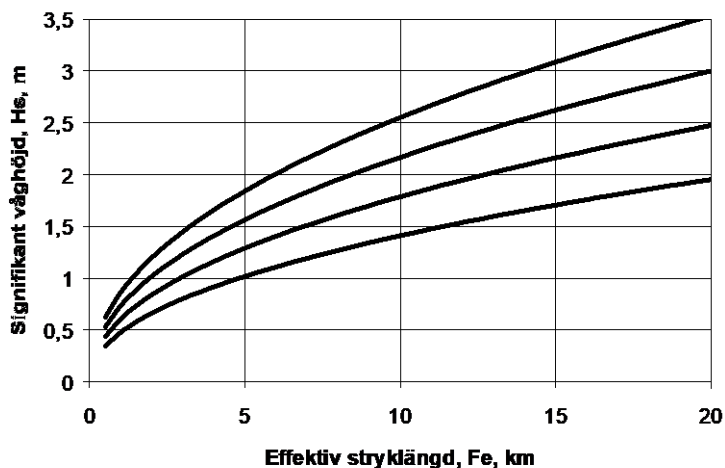
$$H_s = 0,0026 \cdot \frac{V^2}{g} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{V^2} \right)^{0,47}$$

där H_s = signifikant våghöjd, m

F_e = effektiv stryklängd, m

V = vindhastighet, m/s

g = tyngdaccelerationen, m/s²



Figur 3.2 - 5 Signifikant våghöjd (H_s) som funktion av effektiv stryklängd (F_e) och vindhastigheten

För en mer utförlig beskrivning av vågor i vattenkraftmagasin hänvisas till VASO rapport nr 10, [3.2 - 18]. I det följande behandlas dimensionerande vindhastighet och dimensionering för erosionsskydd.

3.2.3.5.5 Dimensionerande vindhastighet

Fribord och erosionsskydd beräknas för olika lastkombinationer, varefter den farligaste kombinationen väljs som dimensionerande. Valet av t ex

Tillämpningsanvisningar

"dimensionerande vind" och "dimensionerande våg" varierar för olika lastkombinationer.

Vid dimensionering av fyllningsdammens erosionsskydd beaktas följande två lastkombinationer:

1. Vind i samband med dimensionerande flöde
2. Vind då magasinet ligger vid dämmningsgränsen (utan högt flöde)

Val av vindhastighet för fall 1 (25 m/s i fjällterräng och 20 m/s i övrig terräng) finns behandlat i Tillägg nr 2 till Flödeskommitténs Riktlinjer för Dimensionerande Flöde [3.2 - 15]. Tillägget är grundat på undersökningar av Hans Alexandersson [3.2 - 21].

Vindhastigheter för fall 2 finns angivna i referens [3.2 - 22] till 29 - 33 m/s i fjällterräng och 25 - 28 m/s i övrig terräng.

För båda belastningsfallen har bestämningen av vindhastighet baserats på analys av vinduppgifter givna som medelvind under 10 minuter. Vindhastigheterna för fall 2 uppges ha en återkomsttid av 50 á 100 år.

Enligt tidigare praxis har dimensionering av t ex erosionsskydd enligt fall 2 i princip genomförts med partialkoefficienten lika med 1,0. Vid en sådan beräkning är det rimligt att vindhastigheterna för fall 2 höjs för att återspegla ungefärligen motsvarande sannolikhet för de båda fallen, jämför pågående utredning från VASO dammkommitté "Erosionsskydd för svenska fyllningsdammar" [3.2 - 23]. För fall 2 föreslås preliminärt att vindhastigheten 35 m/s används i fjällterräng och 30 m/s i övrig terräng.

Vindhastigheterna som vid dimensionering av t ex erforderligt fribord och erosionsskydd kan användas med partialkoefficient lika med 1,0 sammanfattas i **Tabell 3.2 - 5**.

Tabell 3.2 – 5 Reducerade vindhastigheter i samband med dimensionerande flöde (Fall 1), och extrema vindhastigheter utan samtidigt stort flöde (Fall 2)

Terrängtyp	Vindhastighet (m/s)	
	Fall 1	Fall 2
I fjällterräng	25	35
I övrig terräng	20	30

Vid belastningsfall 2 med de högsta vindhastigheterna förutsätts magasinet som högst ligga vid dämmningsgränsen, medan vid fall 1 med de reducerade hastigheterna kan tillfällig överdämning accepteras, se [3.2 - 15].

Vid dimensionering av stenstorleken i erosionsskyddet med hänsyn till vinderosion blir normalt vågor som alstras av vindar enligt belastningsfall 2 dimensionerande. Vid dimensionering av släntskyddets utbredning, som bör utsträckas från $2 \cdot H_{\text{dim}}$ under sänkningsgränsen (där $H_{\text{dim}} = H_{10} \approx 1,3 \cdot H_s$)

Tillämpningsanvisningar

till dammkrönets nivå, kan beaktas att signifikanta våghöjden varierar emedan magasinsytan varierar.

De reducerade vindhastigheterna enligt fall 1 används då överdämning antas inträffa på grund av dimensionerande flöde.

Vid bestämning av erforderligt fribord och eventuell tillåten överdämning behöver båda belastningsfallen beaktas, se vidare avsnitt 3.2.3.8.

3.2.3.5.6 Våguppspolning vid erosionsskydd av sprängsten

Erosionsskyddet bör täcka uppströmsslänten från minst $2 \cdot H_{\text{dim}}$ under sänkingsgränsen upp till krönnivån, som bestäms bl.a. med hänsyn till våguppspolningen, jämför bestämning av fribord i avsnitt 3.2.3.8. $H_{\text{dim}} = H_{10} \approx 1,3 \cdot H_s$, jämför avsnitt 3.2.3.5.2. Våguppspolning, H_{upp} avser det vertikala avståndet mellan lugnvattenytan vid aktuellt högvattenstånd och den högsta punkt på dammslänten som vågen når upp till.

Vid projektering av erforderligt fribord med avseende på vågors uppspolningshöjd används dimensionerande våghöjden $H_{\text{dim}} = 2 \cdot H_s$ i de fall då i princip inga vågor tillåts att spola upp på dammkrönet. Detta fall är aktuellt t ex då dammkrönet är erosionskänsligt eller då dammkrönet utgör en allmän väg eller dammsäkerhetsmässigt väsentlig tillfartsväg.

I de fall dammkrönet är skyddat mot erosion, t ex består av sprängsten och inte utgör allmän eller annan viktig väg, kan uppspolningen beräknas utifrån en dimensionerande våg med höjden $H_{\text{dim}} = H_1 \approx 1,7 \cdot H_s$.

Uppspolningshöjden beräknas enligt följande:

$$H_{\text{upp}} = R \cdot H_{\text{dim}} \cdot \sin \beta$$

där H_{upp} = aktuell uppspolningshöjd, m

R = uppspolningsfaktor

H_{dim} = dimensionerande våg för uppspolningen, m (väljs till $1,7$ å $2,0 \cdot H_s$)

β = vinkel mellan vågornas rörelseriktning och dammaxeln

Uppspolningsfaktorn (R) är för svenska dammar mestadels beroende av dammsläntens råhet och genomsläpplighet. Uppspolningen är dock även beroende av t ex vågens höjd, branthet och dammsläntens lutning. I flertalet fall kan faktorn R väljas enligt **Tabell 3.2 - 6.**, jämför VASO dammkommittés rapport nr 10 [3.2 - 18].

I vissa fall kan en noggrannare uppskattning av uppspolningshöjden vara befogad. I volym II av referens [3.2 - 25] finns ytterligare information om beräkning av uppspolningshöjder.

Tabell 3.2 - 6 Uppspolningsfaktor R för olika råhet hos dammslänten

Tillämpningsanvisningar

Uppspolningsfaktor R	Beskrivning av dammsläntens råhet och genomsläpplighet
1,0	Oordnat erosionsskydd i form av tippad sten och block
1,2	Ordnat erosionsskydd i form av block i ordnat stabilt förband i god kontakt mellan blocken
1,5	Ordnat erosionsskydd som ovan, men med hålrummen i släntens yta tätade med mindre block och sten
2,0 à 2,5	Slänt av glaciis, asfalt, betong eller trä

3.2.3.5.7 Erosionsskydd av sprängsten

Stenblocken kan antingen tippas, varefter slänten justeras med grävmaskin, eller också läggas ut i ordnat förband. Praxis för valet mellan tippad eller ordnat erosionsskydd av sprängsten har utvecklats olika i olika länder.

I de norska bestämmelserna [3.2 - 3] föreskrivs för ordnat erosionsskydd av sprängsten dessutom att blocken skall ordnas i förband så att stenarnas längdaxel kommer vinkelrätt mot överytan. Vidare föreskrivs att vid tippade erosionsskydd skall blocken ha dubbla vikten i förhållande till alternativet med ordnade block. Blockens storlek i ytlagret dimensioneras enligt de norska föreskrifterna för vägen $H_{dim} \geq H_{10} \approx 1,3 \cdot H_s$.

Det finns dock förespråkare för alternativet med tippade block, t ex Sherard [3.2 - 24] hävdar att ordnade block (av samma vikt) inte är mer effektiva att motstå vågkrafter än tippade block.

I det följande beskrivs dimensionering av blockstorleken enligt ICOLD Bulletin 105 från 1996, referens [3.2 - 26], som ger dimensioneringsregler för alternativet med tippade block och empiriska formler för blockens vikt i förhållande till bl.a. signifikanta våghöjden.

Blockstorleken kan beräknas enligt Hudsons ekvation, som utgör ett empiriskt samband mellan blockvikt och vågstorlek, jämför [3.2 - 25].

$$W_{50} = \frac{\gamma_r \cdot H_s^a}{K \cdot \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cdot n^b}$$

- där W_{50} = medeltyngd av sten/block i kN
 H_s = dimensionerande våghöjd
 K = konstant beroende av släntlutning, blocks form och förband mellan stenarna
 a, b = empiriska exponenter
 γ_r = tunghet för sten/block i kN/m³
 γ_w = tunghet för vatten = 10 kN/m³

Tillämpningsanvisningar

$$n = \cot \varphi \text{ där } \varphi \text{ är vinkeln mellan slänten och horisontalplanet}$$

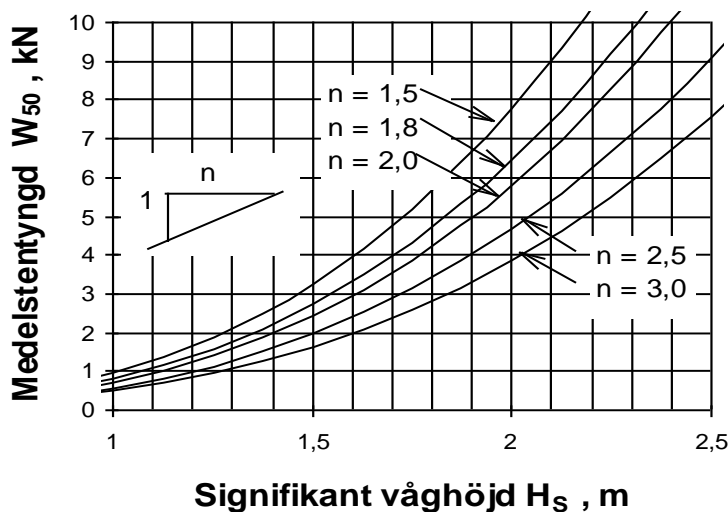
De empiriska faktorerna K , a och b varierar markant mellan olika referenser, vilket kan resultera i en variation med faktorn 5 på stenvikten. Flera referenser anger faktorer för "inga skador" där i huvudsak inga rörelser inträffar, respektive "tolerabla skador" där lite rörelser inträffar.

För alternativet med **ordnade block** rekommenderas att den norska beräkningsmodellen enligt [3.2 -3] användas vid beräkning av erforderlig stenvikt. Då används $H_{\text{dim}} \geq H_{10} \approx 1,3 \cdot H_s$. Faktorn K varierar enligt [3.2 - 3] mellan 5,7 och 13,6 för alternativet med närmast kubiska sten/block ordnade i förband. För långsmala block i ordnat förband med längdriktningen i huvudsak vinkelrätt mot slänten ökar K .

Vanligast använda är faktorer som föreskrivs av US Army Corps of Engineers (1975). Där anges för alternativet "**ej ordnade block**" $a=3$, $b=2/3$ och $K=3,62$ för fallet "inga skador", respektive $a=3$, $b=1,0$ och $K=4,37$ för fallet "tolerabla skador". Stenstorleken för dessa båda uppsättningar av empiriska konstanter framgår av **Figur 3.2 - 6** och **Figur 3.2 - 7**.

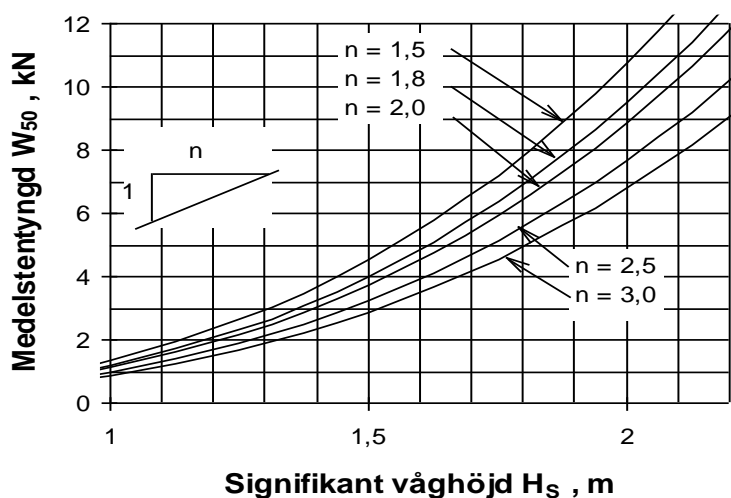
Erosionsskyddet uppbyggs normalt med ensgraderat material, dvs. med sten av ungefär lika storlek. W_{50} , som anges i diagrammen, kommer härigenom enligt praxis att ange den minsta tyngd som kommer till användning.

Fallet "inga skador" bör användas inom nivåer där magasinet oftast finns vid dimensionering av stenvikten för nya erosionsskydd och vid ombyggnad av befintliga skadade erosionsskydd. Vid bedömning av behovet av ombyggnad av erosionsskydd och dimensionering av partier av erosionsskyddet som sällan utsätts för vågor kan fallet "tolerabla skador" användas.



Tillämpningsanvisningar

Figur 3.2 – 6 Medelstyngd för *ej ordnade block* i förband i förhållande till signifikanta våghöjden och olika släntlutningar. Fall "*tolerabla skador*".



Figur 3.2 – 7 Medelstyngd för *ej ordnade block* i förband i förhållande till signifikanta våghöjden och olika släntlutningar. Fall "*inga skador*".

Vid omvandling av blockens tyngd till stendimension kan följande formel användas:

$$D = \sqrt[3]{\frac{W}{k \cdot \gamma_r}}$$

- där
- D = 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 (väljs vanligen till 0,65)
 - γ_r = tunghet för sten/block, kN/m³

Tjockleken på släntens ytlager, dvs. stenbeklädningen dimensionerad enligt ovan, skall för jordfyllningsdammar vara minst lika med stenens dubbla tvärmått och för stenfyllningsdammar vara minst 1,5 ggr stenens tvärmått.

I båda dammtyperna skall filterkraven uppfyllas mot underliggande material. Om dammens stödfyllning inte uppfyller filterkraven mot ytlagrets stenblock läggs ett övergångslager med mindre sten mellan ytlagret och stödfyllningen. Stenstorleken i övergångslagret anges genom största och minsta stenstorlek t ex enligt [3.2 - 26]. Lagrets tjocklek görs minst 0,5 - 1,0 ggr tvärmåttet hos ytlagrets stenblock.

Tillämpningsanvisningar

3.2.3.5.8 Stenstorlek med hänsyn till is och tjäle

En tidigare ofta förbisedd skadeorsak på erosionsskydd har uppstått genom att stenblocken fryser fast i vattenmagasinets istäcke och sedan bryts loss när vattenytan sjunker.

Med hänsyn till iskrafterna bör stenvikten för erosionsskydd i ordnat förband inte understiga 2 kN, dvs. $D_{\min} = 0,5$ m. För tippat erosionsskydd väljas i storleksordningen dubbelt så tunga block, dvs. $D_{\min} = 0,6$ m.

Skador kan dock uppstå av is även om stenvikten väljs enligt ovanstående rekommendation. Ett visst underhåll av erosionsskydden bör man räkna med.

Påverkan av is på erosionsskydd finns behandlat i ICOLDs Bulletin 105 [3.2 - 26]. Här framgår att riktlinjer för att ta hänsyn till isens påverkan på erosionsskydd varierar mycket mellan olika länder. För att ta hänsyn till isens påverkan använde Hydro-Québec t ex minsta blockvikten 4,5 kN ($D_{\min} = 0,65$ m) vid utbyggnaden av La Grande Project beläget i norra Kanada.

3.2.3.6 Dammkrön

Dammkrönet skall minst ha följande bredd:

$$b_{\min} = 4 + \frac{h}{30}$$

där b_{\min} = dammkrönets minsta bredd, m
 h = största dammhöjd, m

Om vägen ingår i det offentliga vägnätet dimensioneras bredd och material enligt vägnormer.

Krönet utformas så att moränen i tatkärnan blir skyddad från tjäle av minst 2m tjockt icke tjälfarligt material eller isoleras till minst motsvarande grad.

3.2.3.7 Överhöjning

För att kompensera förväntade sättningar efter uppfyllning av dammkrönet byggs fyllningsdammar med viss överhöjning. Enligt mätningar [3.2 - 27 till 29] utförda på väl packade dammar 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 påverkar normalt endast dammens övre del, dvs. temporärt accepteras här en något ökad släntlutning.

För fyllningsdammar som grundläggs på jord skall undergrundens sättning och dess tidsförlopp uppskattas. Erforderlig överhöjning ökas vid behov

Tillämpningsanvisningar

med den del av sättningen som bedöms återstå när fyllningen framskridit till krönnivån.

3.2.3.8 Fribord

Fribordet beräknas med hänsyn till vattenytans snedställning (vinddenivellering) och vågrörelser vid ogynnsammaste vindriktning och eventuell överdämning i samband med dimensionerande flöde. Dimensionerande vindhastigheter anges i avsnitt 3.2.3.5.5.

Erforderligt fribord, H_{fri} , beräknas enligt följande:

$$H_{fri} = H_{överd} + H_{sned} + H_{upp}$$

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

H_{sned} = snedställning (enligt nedan)

H_{upp} = uppspolningshöjd (enligt avsnitt 3.2.3.5.6)

Erforderligt fribord (H_{fri}) beräknas för belastningsfall 1 och 2 enligt tabell 3.2 - 5 i avsnitt 3.2.3.5.5.

Erforderlig överdämning ($H_{överd}$) beräknas från avbördningskapaciteten och dimensionerande flödet enligt [3.2 - 15].

Beräkning av uppspolningshöjden H_{upp} görs enligt avsnitt 3.2.3.5.6 för de två belastningsfallen för vinden.

Snedställning (H_{sned}) kan i vindriktningen beräknas med hjälp av Zuider Zee formeln:

$$H_{sned} = \frac{V^2 \cdot F}{4800 \cdot D}$$

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 vidare synpunkter i samband med beräkning av vinddenivelleringen hänvisas till [3.2 - 19]. Bestämning av säker överdämningsnivå utförs i enlighet med VASO dammkommittés rapport nr 15, [3.2 - 30].

Tillämpningsanvisningar

3.2.4 Instrumentering

3.2.4.1 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.

Målet med instrumenteringen är att mätningar skall ge information som möjliggör att åtgärder kan vidtas innan eventuella förändringar utvecklas så att de allvarligt påverkar dammens säkerhet. Om förändringarna trots allt utvecklas så att de påverkar dammens säkerhet bör resultaten från mätningarna kunna ligga till grund för beslut att starta åtgärder enligt förberedda beredskapsplaner.

3.2.4.2 Basinstrumentering

Erforderlig 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 minst skall övervakas. Val av instrumenteringen är beroende på grundläggningen av fyllningsdammen och dammens klassificering samt lokala förhållanden.

I det följande har "basbehovet av instrumentering" anpassats till om grundläggningen av dammen är utförd på berg eller jord. Vidare har behovet varierats beroende på dammens konsekvensklass, se **Tabell 3.2-7** och **-8**. Mätning markerade med x anger att mätningen bör vara obligatorisk där så är praktisk möjlig. Mätning med markering inom parantes bör eftersträvas, men kan i vissa fall undvaras och även längre tidsintervall kan vara tillräckligt, t ex där rörelserna avstannat några år efter dammens färdigställning. Anvisningarna överensstämmer till stor del med "Retningslinje nr. 9" från NVE, se [3.2 - 31].

Läckagemätningen har i båda typer av grundläggning angivits ske kontinuerligt för fyllningsdammar i konsekvensklass 1A och 1B. Med

Tillämpningsanvisningar

kontinuerlig mätning menas här att avläsningar görs med en frekvens av i storleksordningen en mätning var 15 minut. Detta kan utföras antingen genom instrument som kontinuerligt samlar in mätvärden och mätvärdena hämtas från mätstället (t ex varje månad), eller genom kontinuerlig mätning som automatiskt överförs t ex till kraftstation och driftcentral.

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 [3.2 - 32].

Tabell 3.2 – 7 Basinstrumentering för fyllningsdamm grundlagd med tåtkärna och stödfyllning på berg

Variabel för mätning	Klass 1A	Klass 1B	Klass 2
Läckage, (mätöverfall)	x, kont.	x, kont.	x, halvår
Sättning och sidorörelse av krön (mätbrunnar i dammkrön)	x, halvår	x, halvår	(x, årlig)
Sättning i slänter (släntdubbar)	x, halvår	(x, halvår)	-
Portryck i tåtkärna (portrycksgivare)	(x, årlig)	(x, årlig)	-
Vattenstånd i stödfyllning (vattenståndsror)	x, halvår	(x, halvår)	-
Vattenstånd/portryck i undergrund	-	-	-

Tabell 3.2 – 8 Basinstrumentering för fyllningsdamm grundlagd med tåtkärna och stödfyllning på jord

Variabel för mätning	Klass 1A	Klass 1B	Klass 2
Läckage, (mätöverfall)	x, kont.	x, kont.	x, halvår
Sättning och sidorörelse av krön (mätbrunnar i dammkrön)	x, halvår	x, halvår	(x, årlig)
Sättning i slänter (släntdubbar)	x, halvår	(x, halvår)	(x)
Portryck i tåtkärna (portrycksgivare)	(x, årlig)	(x, årlig)	(x)
Vattenstånd i stödfyllning (vattenståndsror)	x, halvår	(x, halvår)	(x)
Vattenstånd/portryck i undergrund	x, halvår	x, halvår	(x, halvår)

3.2.4.3 Kompletterande instrumentering

Även andra variabler kan dock på grund av lokala förhållanden och speciella projekteringsantaganden bli aktuella att övervaka, jämför [3.2 - 33 till 37].

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.

Tillämpningsanvisningar

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

3.2.4.4 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, skiss 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 beredskapsplan
- Redovisningsstandard för mätresultaten t ex skalor för 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 tidsspillan undvikas. Övriga värden betydelse för dammsäkerheten skall utvärderas utan dröjsmål. 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.

3.2.5 Bygghandlingar

3.2.5.1 Allmänt

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

3.2.5.2 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.

Tillämpningsanvisningar

3.2.5.3 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.

3.2.6 Utförande

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

3.2.7 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.

Arbetsledning och kontrollorganisation skall verka oberoende av varandra och kontrollpersonalen skall ha rätt att avbryta byggnadsarbetena då omständigheterna, de använda materialen eller arbetsmetoderna avviker från de som föreskrivs i bygghandlingarna.

Projektören skall medverka i kontrollen genom att följa genomförandet av åtminstone de mest kritiska arbetsmomenten och genom att granska byggplatsprotokollen.

Tillämpningsanvisningar

3.2.8 Dokumentation

Resultat från fältundersökningar (jämför avsnitt 3.2.2.2) 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

- [3.2 - 1] "Boverkets konstruktionsregler ", Föreskrifter och allmänna råd. BKR, Boverket byggavdelningen, upplaga 1:1, ISBN:91-38-12852-7, ISSN:1100-0856.

Tillämpningsanvisningar

- [3.2 - 2] "Jord- och Stenfyllningsdammar", Vattenfalls handbok, Stockholm 1988
- [3.2 - 3] "Forskrifter for Dammer", 1981, Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, Vassdragsdirektoratet.
- [3.2 - 4] "Hydro Power in Sweden", Vattenkraftforeningen og Vattenfall, 1981.
- [3.2 - 5] ICOLD Bulletin 70, "Rockfill Dams with Concrete Facing - State of the Art", 1989.
- [3.2 - 6] Hpeg K. "Asphaltic Concrete Cores for Embankment Dams", Norwegian Geotechnical Institute, 1993.
- [3.2 - 7] ICOLD Bulletin 84, "Bituminous Cores for Fill Dams", 1992.
- [3.2 - 8] "Packingsegenskaper", Geotekniska laboratorieanvisningar, del 5, Byggnadsforskningens informationsblad B2:1971.
- [3.2 - 9] Daniel D.E. "Water content - Density Criteria for Compacted Soil Liners", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No 12, December 1990.
- [3.2 - 10] Lawton E. C el. al "Review of Wetting-Induced Collapse in Compacted Soil", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 118, No 9, September 1992.
- [3.2 - 11] VASO dammkommittés rapport nr 16, "Åldersförändringar i fyllningsdammar", Åke Nilsson, 1995.
- [3.2 - 12] VASO dammkommittés rapport nr 13, "Filter Inventering og funksjonsanalys", Åke Nilsson, 1995.
- [3.2 - 13] ICOLD Bulletin 95 "Embankment Dams - Granular Filters and Drains", 1994.
- [3.2 - 14] "Design Standards, Embankment Dams, No. 13, Chapter 5 Protective Filters", Bureau of Reclamation, USA, 1987.
- [3.2 - 15] "Riktlinjer for bestämning av dimensionerande flöden for dammanläggningar", Slutrapport från flödeskommittén, 1990, med Tillägg nr 2 avseende "Ändringar beträffande vindhastighet vid bestämning av erforderligt fribord" 1994-02-08.

Tillämpningsanvisningar

- [3.2 - 16] Solvik Ø, "Safe Remedies for Leaking Embankment Dams", ICOLD, Q.52, R.78, Rio de Janeiro, 1982.
- [3.2 - 17] Solvik Ø, "Stenfyllningsdammars stabilitet vid genomströmning", VASO dammkommittés rapport nr 17, 1995.
- [3.2 - 18] "Vågor i vattenkraftmagasin", 1995, VASO dammkommittés rapport nr 10.
- [3.2 - 19] "Erosionsskydd för fyllningsdammars uppströmsslänter", 1995, VASO dammkommittés rapport nr 11.
- [3.2 - 20] ICOLD Bulletin 91 "Embankment Dams – Upstream Slope Protection", 1993.
- [3.2 - 21] "Sambandet mellan extrem nederbörd och vind", Hans Alexandersson, SMHI, 1993-08-16.
- [3.2 - 22] "Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar". Rapport från VAST-VATTENFALL, oktober 1988.
- [3.2 - 23] "Erosionsskydd för svenska fyllningsdammar", Pågående (1997) utredning av VASO dammkommitté.
- [3.2 - 24] Sherard, J.L. et al. "Earth and Earth-rock Dams", Wiley & Sons, New York, 1963
- [3.2 - 25] "Shore Protection Manual", Vols. I and II, Coastal Engineering Research Center, Fourth Edition, U.S. Army Corps of Engineers, 1984.
- [3.2 - 26] ICOLD Bulletin 105 "Dams and Related Structures in Cold Climate", 1996.
- [3.2 - 27] "Rörelser i jorddammar", Examensarbete i vattenbyggnad, nr 300, KTH, Susanne Olsson.
- [3.2 - 28] R. P. Clements, "Post-construction Deformation of Rockfill Dams", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 110, No. 7, July 1987.
- [3.2 - 29] O. Dascal, " Post-construction Deformation of Rockfill Dams", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 113, No. 1, January 1987.
- [3.2 - 30] "Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning", 1995, VASO dammkommittés rapport nr 15.

Tillämpningsanvisningar

- [3.2 - 31] Sikkerhetshåndbok for Vassdragsanlegg, Retningslinje nr. 1 till 9, NVE, 1996.
- [3.2 - 32] "Instrumentering och mätningar för fyllningsdammar", Delrapport, Allmän översikt, Vattenfall FUD-rapport 1990/30, 1990 och Delrapport, Redovisning av praktikfall, FUD-rapport 1990/29, 1990-04-30.
- [3.2 - 33] ICOLD Bulletin 41, "Automated Observation for the Safety Control of Dams", 1982.
- [3.2 - 34] ICOLD Bulletin 60, "Dam Monitoring, General Considerations", 1988.
- [3.2 - 35] ICOLD Bulletin 68, "Monitoring of Dams and their Foundations", 1989.
- [3.2 - 36] ICOLD Bulletin 87, "Improvement of Existing Dam Monitoring", 1992.
- [3.2 - 37] FERC - "Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Project", Federal Energy Regulatory Commission Office of Hydropower Licensing, Washington 1991.
- [3.2 - 38] "Dam Safety Guidelines", Canadian Dam Safety Association, January 1995.

----- O -----