



Retningslinjer for murdammer

3
2011



RETNINGSLINJER

Retningslinjer for murdammer

til § 5-12 i forskrift om sikkerhet ved
vassdragsanlegg

Retningslinjer nr. 3/2011

Retningslinjer for murdammer

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Ronald Andersen, NVE

Forfattere: Vebjørn Pedersen, NVE
Egil Hyllestad, NVE
Dag Bachke, NVE
Ronald Andersen, NVE

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 100

Forside: Bogstaddammen, Akershus (Bærum)/Oslo. Oktober 2010.
Foto: Roar Sivertsgård, NVE

ISSN: 1501-9810

Sammendrag: Retningslinjer for murdammer utdyper bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) § 5-12

Emneord: Murdammer, laster, påvirkninger, dimensjonering

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Desember 2011

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1 Generelt	6
1.1 Oppbygging av murdammer	6
1.1.1 Tørrmurte dammer	6
1.1.2 Murdammer med stein lagt i mørtel	8
2 Dimensjoneringsprinsipper	8
2.1 Laster mot tørrmurte dammer	9
2.1.1 Poretrykk ved bruddgrensekontroll	9
2.1.1.1 Fundamentering på fjell	9
2.1.1.2 Fundamentering på/i løsmasser	10
2.1.2 Poretrykk ved ulykkesgrensekontroll	10
2.1.3 Murdammer med torvtetning eller annen løsmassetetning ...	10
2.1.4 Stabiliserende effekt fra bolter	11
2.2 Egenlast for dam	12
2.3 Friksjonsvinkel i fuger	12
2.4 Trykkfasthet	13
3 Konstruksjonsmessige krav og materialkrav	13
3.1 Oppbygging av tørrmurte dammer	13
3.2 Torvtetning eller annen løsmassetetning	13
3.3 Oppstrøms betongplate	14
3.4 Fribord	14
3.5 Flomavledning	14
4 Referanser	15

Forord

NVE har gjennom tidene utgitt diverse retningslinjer og fastsatt regler for prosjektering og bygging av murdammer. De mest aktuelle NVE-publikasjonene er:

- NVE (1981), Forskifter for dammer, ”Regler og anbefalinger”
- NVE (1998), Sikkerhetskåndbok for vassdragsanlegg.

Retningslinjer for murdammer ble første gang utgitt i 2003 (utgave 1). Innholdet bygget bl.a. på materiale fra NGI og ICOLD. Andre utgave ble utgitt i 2005 (utgave 2). Her ble poretrykk og materialeegenskaper utdypet ytterligere.

Etter at det forelå ny forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) fra 1.1.2010, er denne utgaven av retningslinjen (utgave 3) revidert med visse presiseringer av dimensjoneringsprinsipper, lastforutsetninger og korrekte henvisninger til forskriften.

Sentralt i revisjonen for denne utgaven av retningslinjen (utgave 3) er også henvisninger til nye norske bygningsstandarder (Eurokoder per april 2010).

Oslo, desember 2011



Rune Flatby
avdelingsdirektør



Lars Grøttå
seksjonssjef

Sammendrag

Retningslinjer for murdammer utdyper bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg [1] (damsikkerhetsforskriften) § 5-12 og gir uttrykk for den praksis som NVE vil følge i sin saksbehandling for å påse at kravene i forskriften oppfylles. Andre løsninger enn de som er anført i retningslinjen kan aksepteres dersom like god sikkerhet kan dokumenteres.

Retningslinjen gjelder for anlegg i konsekvensklasse 1 og høyere, men NVE anbefaler at den også brukes for anlegg i konsekvensklasse 0 og prosjekteres og utføres som et anlegg i klasse 1. Dette gjelder spesielt for anlegg som er bygget på grunnlag av konsesjon etter vassdragslovgivningen, der det alltid er NVE som står for byggesaksbehandlingen inklusiv godkjenning av tekniske planer.

1 Generelt

Denne retningslinjen utdyper bestemmelsene for dimensjonering og utforming av murdammer i § 5-12 i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg [1] (damsikkerhetsforskriften). Retningslinjen gjelder for *tørrmurte dammer* dersom ikke annet er spesielt presisert i teksten. Murdammer med stein lagt i mørtel, dekkes i sin helhet av Retningslinjer for betongdammer [2].

Murdammer er hovedsakelig eldre konstruksjoner der det kan være behov for alternative løsninger for dimensjonering og utforming ved en fornying. Det vises da til § 5-1 i damsikkerhetsforskriften.

1.1 Oppbygging av murdammer

Murdam er en felles betegnelse for dammer bygget av stein og steinblokker, som er avhengig av egen vekt for å være stabil (gravitasjonsdammer). Den konstruksjonsmessige utformingen er imidlertid svært varierende. Murdammer omfatter alt fra dammer som beregningsmessig er å betrakte som en gravitasjonsdam i betong (murdam lagt i mørtel) til dammer som konstruksjonsmessig har flere likhetstrekk med fyllingsdammer (murdammer med sentral røysfylling).

For å vurdere sikkerheten ved en eksisterende murdam, må oppbygging avklares. Murdammer er ofte eldre konstruksjoner og hovedvekten av anleggene ble bygd før 1960. Dokumentasjonen fra byggetiden kan være begrenset, hvis den i det hele tatt eksisterer. Forvitring og nedbrytning kan også gjøre det vanskelig å avgjøre oppbygningen av dammen. Grundige undersøkelser og kjerneboring kan derfor være nødvendig for å avklare hvordan dammen er bygd opp.

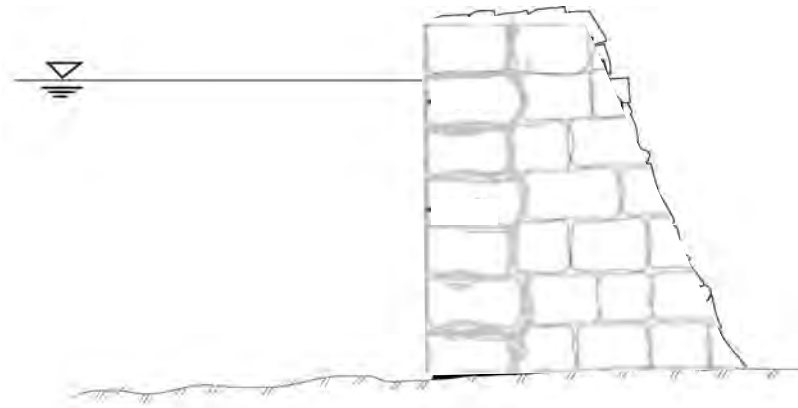
1.1.1 Tørrmurte dammer

Felles for tørrmurte dammer er at de har en drenerende damkropp og en tetning på oppstrøms side bestående av:

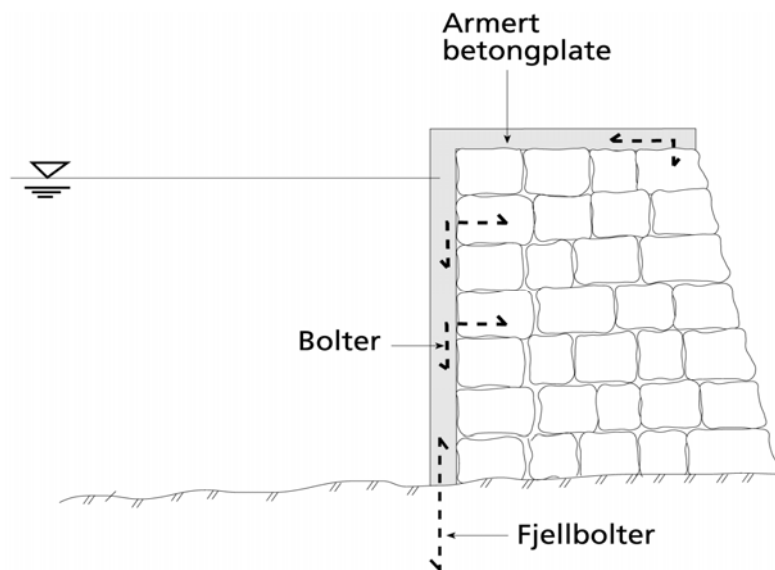
- spekkede fuger, puss eller sprøytebetong
- vertikalt steinskift på oppstrøms side lagt i mørtel
- betongplate
- jord/torv eller løsmasser, beskyttet med en oppstrøms mur eller plastring

Tørrmurte dammer er bygget opp med stein som er godt tilpasset hverandre. Stein mellom yttermurene ligger i forband og har god intern kontakt, slik at det ikke dannes svake plan verken horisontalt eller vertikalt.

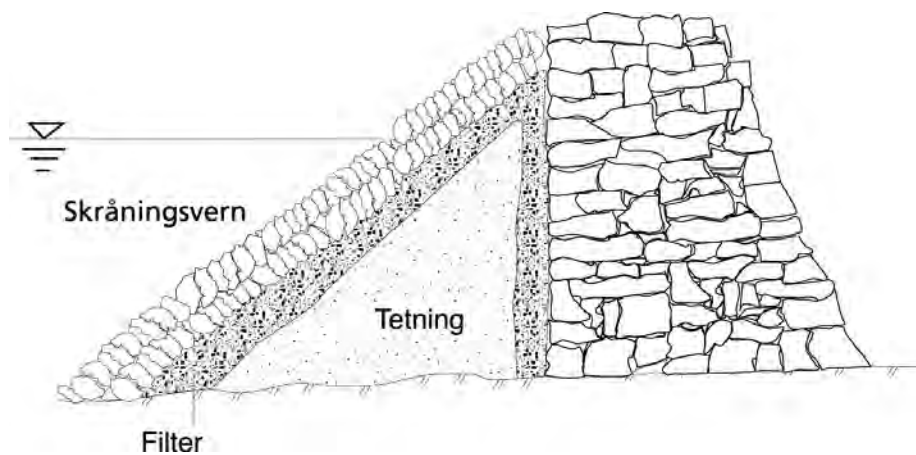
Eksempler på oppbygging av tørrmurte dammer er illustrert i figurene 1.1, 1.2 og 1.3.



Figur 1.1 Murdam med stein i forband der vertikalt steinskift på oppstrøms side er lagt i mørtel.



Figur 1.2 Murdam med tilpasset stein i hele tverrsnittet og en støpt betongplate på krona og oppstrøms side.



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

1.1.2 Murdammer med stein lagt i mørtel

Murdammer med stein lagt i mørtel er bygd opp ved at horisontale steinskift i sin helhet er lagt i mørtel og skal beregningsmessig behandles som en monolittisk konstruksjon. Denne typen dammer er normalt ikke drenerende og skal derfor dimensjoneres og utformes etter prinsipper angitt for gravitasjonsdammer i Retningslinjer for betongdammer [2]. For beregning av dammens egenvekt kan tyngdetettheter fra tabell 2.1 benyttes dersom ikke mer nøyaktige data foreligger.

2 Dimensjoneringsprinsipper

Prinsipper for dimensjonering av gravitasjonsdammer, i Retningslinjer for betongdammer [2], skal benyttes der det ikke er gitt spesielle regler i denne retningslinjen.

Generelt skal kontroll av kapasitet utføres i tverrsnitt der høye spenninger kan forekomme, som for eksempel lukepilarer. Kontroller av dammens bæreevne utføres i bruddgrense- og ulykkesgrensetilstand. Det vises til kapittel 2.4, med oversikt over trykkfasthet for forskjellige bergarter, samt mørtel.

Damsikkerhetsforskriften [1] krever at velte- og glidestabilitet skal kontrolleres i bruddgrensetilstand og i ulykkesgrensetilstand. Bruddgrensesituasjoner kan være: 1) HRV + islast + egenvekt + poretrykk, 2) DFV + egenvekt + poretrykk. Ulykkesgrensesituasjoner kan være: 1) MFV + egenvekt + poretrykk. Enkeltlastene skal inngå med karakteristisk verdi (lastfaktor $\gamma_f = 1.0$) i lasttilstandene, både for bruddgrensekontroll og ulykkesgrensekontroll. Kapasitetskontroll skal utføres på sannsynlige bruddplan i selve damkroppen, i overgangen mellom dam/fundament og i selve fundamentet. Lastforutsetninger er gitt i kapittel 2.1. Konstruktiv sikkerhet for en murdam skal dokumenteres med beregninger og kontroller som minst omfatter:

- velting ved påvisning av resultantens plassering, jf. Retningslinjer for betongdammer [2] og damsikkerhetsforskriften [1] § 5-11.
- glidning uttrykt som forholdet mellom glideplanets kapasitet til å motstå bevegelse og de påførte laster, jf. Retningslinjer for betongdammer [2] og damsikkerhetsforskriften [1] § 5-11.
- kontroll av spenninger i damkropp og fundament.

Der det er knyttet usikkerhet til fundamentforholdene eller der sprekkemønster kan gi svake glideplan, må det fremlegges en geologisk rapport som vurderer grunnforholdene.

Hver enkelt kontroll skal illustreres med en figur som viser angrepspunkt for de enkelte lastene som er inkludert i kontrollen. For lastsituasjoner og laststørrelser vises for øvrig til § 5-3 i damsikkerhetsforskriften [1] og tilhørende Retningslinjer for laster og dimensjonering [7].

2.1 Laster mot tørrmurte dammer

2.1.1 Poretrykk ved bruddgrensekontroll

2.1.1.1 Fundamentering på fjell

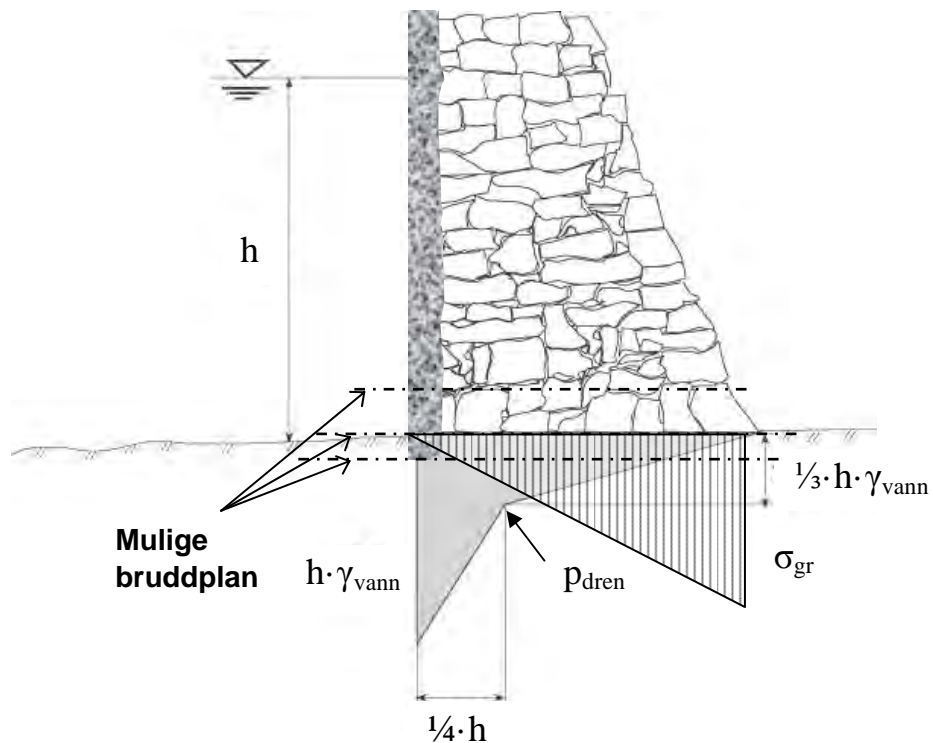
Hvis oppstrøms tetning er effektiv og nedstrøms damkropp er drenerende, kan det regnes med redusert oppdrift som vist i figur 2.1. Det forutsettes da at dammen er drenert i en avstand tilsvarende $\frac{1}{4}$ av oppstrøms vannstand, h , fra dammens vannside. Poretrykket i dreneringsplanet kan da forutsettes å være:

$$p_{dren} = k \cdot h \cdot \gamma_{vann} \quad (2.1)$$

Hvor:

- p_{dren} er redusert poretrykk i en avstand $\frac{1}{4} h$ fra dammens vannside
- k er en faktor satt til $\frac{1}{3}$ dersom forsøk, målinger eller annen dokumentasjon ikke gir grunnlag for å fastsette en annen verdi
- h er oppstrøms vannstand [m]
- γ_{vann} er tyngdetetthet til vann (10 kN/m^3)

Ved kontroll i bruddgrense, eksempelvis DFV, krever damsikkerhetsforskriften at dammen har trykkspenning σ_{gr} under hele fundamentet (resultanten skal ligge innenfor kjernetverrsnittet; dvs. minst $B/3$ fra nedstrøms damtå). Videre skal også sikkerhet mot glidning, $S_g > 1,5$.



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

- Hvis det dokumenteres at damkroppen er godt drenerende, kan poretrykket reduseres ytterligere ($k < 0,33$) i forhold til figur 2.1.
- Hvis dreneringen ikke er virksom skal det regnes lineært avtagende poretrykk (trekantfordelt, $k = 1,0$).
- Når nederste horisontale steinskift av dammen (hele fundamentet) er lagt i mørtel skal det forutsettes at dette kontrollsnittet (fugen) mellom damkropp og fundament ikke er drenert og dermed har lineært, trekantfordelt poretrykk.

2.1.1.2 Fundamentering på/i løsmasser

Murdammer skal fortrinnsvis fundamenteres på fjell. Når slike unntaksvis fundamenteres på løsmasser skal det anvendes tetningsskjerm eller tettematte slik at det ikke oppstår kanalisering i grunnen. Det skal dokumenteres at grunnen vil tåle den gjennomstrømning som vil finne sted.

Murdammer med oppstrøms tetning, fundamentert på løsmasser skal dimensjoneres/kontrolleres for opptredende poretrykk i løsmassene på vannside og på luftside ved samme dyp som fundamentsålen. Poretrykket skal regnes lineært mellom disse to punktene. Fundamentsålen skal antas tett.

2.1.2 Poretrykk ved ulykkesgrensekontroll

Ved kontroll av ulykkeslaster for tørrmurte dammer skal poretrykk under dammen regnes som angitt i kapittel 2.1.1, forutsatt at reduksjonsfaktoren k , ikke settes lavere enn 0,33 selv om dammen er godt drenerende. Er dreneringen eller fundamentet tett regnes lineært, trekantfordelt poretrykk, som i kapittel 2.1.1.

Ved kontroll av ulykkesituasjoner, eksempelvis MFV, krever damsikkerhetsforskriften at dammen har grunntrykk σ_{gr} , minst under halve fundamentet (resultanten skal ligge minst $B/6$ fra nedstrøms damtå). Videre skal også sikkerhet mot glidning, $S_g > 1,1$.

2.1.3 Murdammer med torvtetning eller annen løsmassetetning

Dette er dammer med tetning av torv eller annen løsmasse som er beskyttet av en oppstrøms mur eller plastring. Beregningsmessig anses vanntrykket i sin helhet å virke direkte mot nedstrøms tørrmur [3]. Mot nedstrøms mur vil det i tillegg til vanntrykk også virke et jordtrykk fra tetningen. Nedstrøms mur skal derfor dimensjoneres for både vanntrykk og jordtrykk. Poretrykk under nedstrøms mur kan regnes som angitt under kapittel 2.1.1. Tilleggstrykk fra tetningsmassen kan antas å virke som hviletrykk, med en jordtrykkskoeffisient k_0 på 0,5 [4]. Totaltrykket p_t kan da beregnes som:

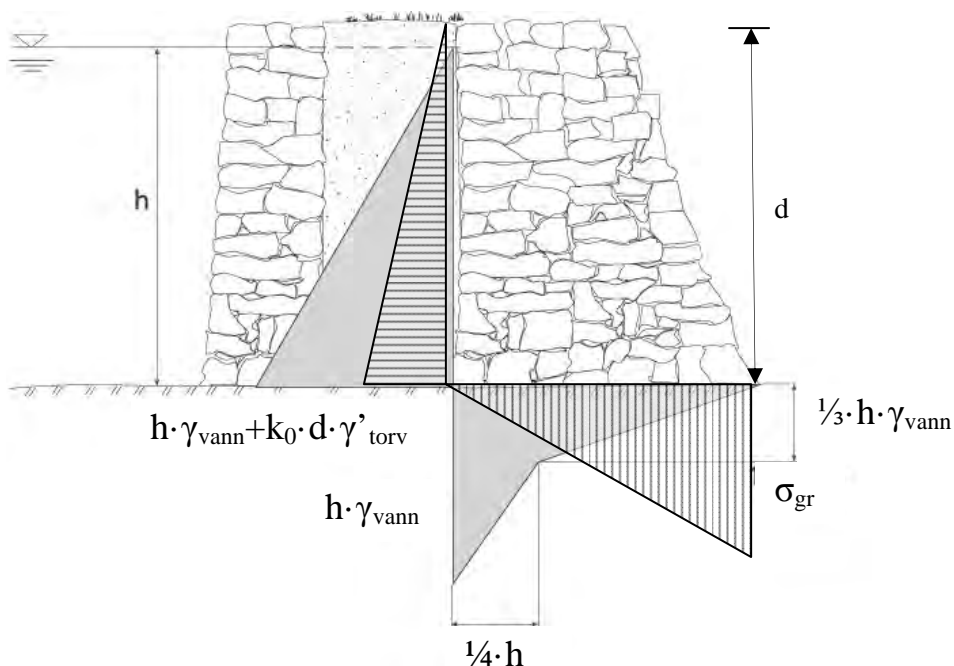
$$p_t = k_0 \cdot d \cdot \gamma'_{torv} + h \cdot \gamma_{vann} \quad (2.2)$$

Hvor

- p_t er totalt trykk mot nedstrøms mur [kN/m^2]
- k_0 er hviletrykkskoeffisient lik 0,5
- d er tettemassens høyde [m]
- γ'_{torv} er neddykket tyngdetetthet av tetting (typisk 3-10 kN/m^3)
- h er oppstrøms vannstand [m]
- γ_{vann} er tyngdetetthet til vann (10 kN/m^3)

Hvis det kan påvises et lavere poretrykk i overgang mellom tetningen og nedstrøms mur kan dette poretrykket også benyttes som poretrykk under nedstrøms mur.

Der tetningen er beskyttet med en oppstrøms mur, må denne beregningsmessig være stabil ved nedtapping av magasinet. Ved kontrollen regnes tetningsmassen å være vannmettet til nivå med HRV. Sidetrykkskoeffisient $k_0 = 0,5$ skal anvendes. Poretrykket i oppstrøms mur skal følge vannstandssenkningen i magasinet (muren regnes fullt drenerende). Oppstrøms mur, regnes å være stabil når resultanten av alle krefter faller innenfor murens oppstrøms tå, og når sikkerheten mot glidning, S_g er høyere enn 1,1.



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

Når tetningen består av løsmasser som er lagt ut mot oppstrøms side av dammen, må løsmassene være stabile mot utglidning ved nedtapping av magasinet, som angitt i Retningslinjer for fyllingsdammer [8]. Se også figur 1.3.

2.1.4 Stabiliserende effekt fra bolter

Stabiliserende effekt av fjellbolter kan medregnes for tørrmurte dammer med oppstrøms betongplate etter kriterier gitt i Retningslinjer for betongdammer [2].

Det må dokumenteres at betongplata er forankret på en måte som sikrer god kraftoverføring fra fundament til damkropp. For dimensjonering henvises det til Retningslinjer for betongdammer [2].

Etterspente stag i murkroppen vil normalt ikke være en god reparasjonsløsning for tørrmurte dammer, fordi påføring av vertikalkrefter kan gi utilsiktede deformasjoner i konstruksjonen. Løsningen kan likevel være aktuell sammen med støp av oppstrøms betongplate (for eksempel i innstøpte foringsrør i plata).

2.2 Egenlast for dam

Det anbefales å foreta prøver for å fastsette egenlast. Dersom egenlasten ikke er dokumentert ved prøver, kan verdier for tyngdetetthet i tabell 2.1 benyttes.

Ved å fastsette hulromsprosenten i dammen kan resulterende tyngdetetthet beregnes ved hjelp av verdier gitt i tabell 2.1. For tørrmurte dammer med tilpasset stein i hele tverrsnittet forutsetter tabellverdien en hulromsprosent på 22 %, mens det er forutsatt en hulromsprosent på 40 % for sentral røysfylling.

Tabell 2.1 Tabell med angivelse av tyngdetetthet for murdammer

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

* Torv er i utgangspunktet et porøst materiale, men strukturen i torven kan brytes ned over tid. Egenvekten kan derfor variere med grad av nedbrytning og grad av komprimering. Hvis det ikke er utført prøver, kan det for stabiliserende masser, forutsettes en vannmettet tyngdetetthet på 13 kN/m³. Der vekten av massene er destabiliserende kan en vannmettet tyngdetetthet på 20 kN/m³ benyttes.

Der dammens oppbygning ikke er kjent, skal det forutsettes at dammen er bygget opp med en sentral røysfylling. Dammens indre oppbygning kan dokumenteres ved å fjerne enkelte steiner i overflaten eller grave sjakt fra damtoppen. Der dette er vanskelig kan kjerneboring være aktuelt.

2.3 Friksjonsvinkel i fuger

Dersom friksjonsvinkelen ikke er dokumentert ved prøver, kan verdier i tabell 2.2 benyttes [6]. Friksjonsvinkelen i fuger i tørrmurer kan ikke settes høyere enn 36°.

Tabell 2.2 Friksjonsvinkel i fuger for granitt og skifer

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

Fuger med fortanning eller steinmur lagt i forband kan regnes å ha en skjærfasthet tilsvarende grunnmaterialets strekkfasthet på det arealet der fugen skjærer grunnmaterialet.

2.4 Trykkfasthet

Trykkfasthet til stein og mørtel må som et minimum påvises med prellhammer. Alternativt kan konservative verdier i tabell 2.3 forutsettes.

Tabell 2.3 Trykkfasthet for forskjellige bergarter [6]

Bergartens opprinnelse	Trykkfasthet [MPa]
Dypbergarter (for eksempel granitt)	75
Metasedimenter (for eksempel glimmer og skifer)	50
Sedimentære bergarter	25
Eruptive bergarter, finkorn	50
Mørtel	15

3 Konstruksjonsmessige krav og materialkrav

Relevante bestemmelser til utforming av gravitasjonsdammer i Retningslinjer for betongdammer [2], skal benyttes der det ikke er gitt spesielle regler i denne retningslinjen.

3.1 Oppbygging av tørrmurte dammer

Tørrmurte dammer skal bygges opp med stein som er godt tilpasset hverandre. Stein mellom yttermurene skal ligge i forband og ha god intern kontakt, slik at det ikke dannes svake plan verken horisontalt eller vertikalt. Stein som benyttes må ha en god bestandighet.

3.2 Torvtetning eller annen løsmassetetning

Det må påvises at torven er egnet som tetningsmateriale ved nybygging eller utskifting av torv. Vurdering av egnethet kan bygge på erfaring fra tidligere bruk av torvmateriale. Der det ikke finnes erfaringsgrunnlag, må torvens egenskaper dokumenteres. I følge Tveiten [3] er det kun "mellomtorv" dannet av gress og gresslignende karplanter som er egnet som tetningsmateriale.

Torven bør beskyttes mot frost, tørke og reaksjon med jernoksyd ettersom dette kan forringe tetningsegenskapene. Det bør derfor tilstrebes å holde magasin vannstanden ved HRV og nedtapping over lengre perioder bør unngås.

Oppstrøms tetning av løsmasser skal tilfredsstillende de krav som er gitt i Retningslinjer for fyllingsdammer [8], herunder krav til tetning, skråningsvern, filter og fribord. Kravene kan tillempes for dammer i konsekvensklasse 1.

3.3 Oppstrøms betongplate

Oppstrøms betongplate må være forankret på en måte som sikrer god kraftoverføring fra fundament til damkropp. Innfesting av bolter til fjell utføres etter reglene i Retningslinjer for betongdammer [2]. Etablering av et drenasjesystem i bakkant av betongplata kan være aktuelt.

3.4 Fribord

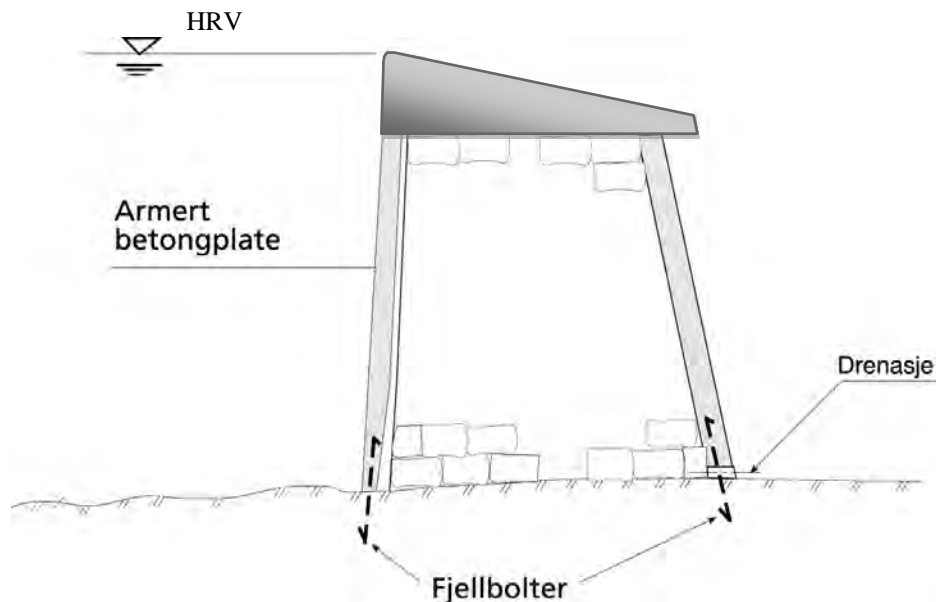
Det henvises til bestemmelsene i damsikkerhetsforskriften [1], § 5-12 pkt. c. Topp av dam skal ikke ligge lavere enn dimensjonerende flomvannsstand (DFV).

Bølgeoverskylling tillates dersom det dokumenteres at dette ikke medfører skade på dam eller fundament. For ulykkeslast (MFV) kan overtopping eller bølgeoverskylling aksepteres forutsatt at dam og fundament har sikkerhet mot brudd.

3.5 Flomavledning

Dammer som overtoppes ved flom, må dimensjoneres slik at damkrone, nedstrømsside og fundamentet ikke skades. Damkrona blir da å betrakte som et fast overløp og må utformes etter gjeldende regler for faste overløp, jf. Retningslinjer for flomløp [9].

Murdammer er spesielt utsatt for skade som resultat av dynamiske trykkpulser i undervannet og sikring av nedstrøms side må vies spesiell oppmerksomhet. Undertrykk og trykkvariasjoner under overløpsstrålen kan også forårsake skader på dammen. Det henvises for øvrig til bestemmelsene i damsikkerhetsforskriften, § 5-8, samt Retningslinjer for flomløp [9]. Alternativ løsning er vist i figur 3.1.



Figur 3.1 Mulig utforming av murdam med fast overløp. God sikring av nedstrøms side og lufting av overløpsstrålen er avgjørende for å unngå skader på dammen.

4 Referanser

- [1] OED (2010), Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften).
- [2] NVE (2012), Retningslinjer for betongdammer.
- [3] Tveiten A. (1955), Anvendelse av torv i dammer, Teknisk Ukeblad nr. 43, s. 937-946.
- [4] NGI (1956), Veiledning ved løsning av fundamenteringsoppgaver, NGI publikasjon nr. 16.
- [5] NS-EN 1991-1-1 (2008), Eurocode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-1: Allmenne laster. Tetthet, egenvekt nyttelaster i bygninger.
- [6] NGI (1997), Steindammers skjærmotstand, Rapport nr. 971010, Utarbeidet på oppdrag fra EnFO (EBL-kompetanse).
- [7] NVE (2012), Retningslinjer for laster og dimensjonering.
- [8] NVE (2012), Retningslinjer for fyllingsdammer.
- [9] NVE (2012), Retningslinjer for flomløp.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Retningslinjeserien i 2011

- Nr. 1 Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter (63 s.)
- Nr. 2 Flaum- og skredfare i arealplanar (80 s.)
- Nr. 3 Retningslinjer for murdammer (15 s.)
- Nr. 4 Retningslinjer for flomberegning (59 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen,
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no

