

HÅNDBOK

Tilstandsbeskrivelse for betong- og fyllingsdammer



Del III Supplement

Del III-1

Skaders betydning for forskjellige typer betongdammer



Innhold

1.	Skaders betydning for forskjellige typer betongdammer	1
1.1	Generelt	1
2.	Massivdammer	2
2.1	Lekkasje	4
2.2	Tett drenasjesystem	6
2.3	Fundamenterosjon	7
2.4	Armeringskorrosjon	8
2.5	Alkalireaksjoner	8
2.6	Frostskader	9
2.7	Sprekker og riss	10
2.8	Overbelastning	11
2.9	Fuger	14
3.	Buedammer	15
3.1	Generelt	15
3.2	Lekkasje og stabilitet av fundament og vederlag	16
3.3	Fundamenterosjon	17
3.4	Armeringskorrosjon	18
3.5	Alkalireaksjoner	19
3.6	Frostskader	20
3.7	Sprekker og riss	20
3.8	Overbelastning	21
4.	Platedammer	23
4.1	Generelt	23
4.2	Lekkasje	24
4.3	Fundamenterosjon	25
4.4	Armeringskorrosjon	26
4.5	Alkalireaksjoner	27
4.6	Frostskader	28
4.7	Sprekker og riss	28
4.8	Overbelastning	29



1. SKADERS BETYDNING FOR FORSKJELLIGE TYPER BETONGDAMMER

1.1 Generelt

De vanligste betongdammer i Norge er

- Massivdammer/gravitasjonsdammer
- Buedammer/hvelvdammer
- Platedammer

Virkemåten til dammene er forskjellig. Massivdammen får sin stabilitet og sikkerhet ved egenvekt alene – den er ikke, eller i svært liten grad, avhengig av armering, stiller svært beskjedne krav til trykkfasthet i betongen, og er generelt meget robust og lite ømfintlig for skader. En seksjon av en massivdam er generelt stabil selv om en naboseksjon er skadet eller fjernet.

Buedammer utnytter bueformen til å skape vesentlig trykkspenninger i tverrsnittet, og man sparer betongvolum i forhold til en gravitasjonsdam. Buedammer kan gjøres meget slanke, men blir da i økende grad ømfintlige for skader. Damtypen er i noen grad avhengig av armering.

Platedammen er en meget slank, lett damtype. Den skrå vannsiden gjør at vanntrykket selv bidrar som stabiliserende faktor. Konstruksjonen er helt avhengig av armering, og er ømfintlig for skader.

Sikkerhetsvurderinger for en dam er avhengig av hvorledes dammen bærer de påførte krefter og det vil derfor være forskjellige former for svikt som er av betydning for de forskjellige damtyper. Nedenfor er de forskjellige damtyper behandlet hver for seg, når det gjelder en del typiske skader.

Det vil ved de fleste anlegg være komponenter som ikke direkte har betydning for dammens sikkerhet i tradisjonell forstand, men som vil ha betydning for sikkerheten til de som ferdes på og eventuelt rundt anlegget. Dette kan være broer, gangbaner, trapper, etc. hvor det kan være svikt ved bæreevne, eller sikkerhetsdetaljer som f.eks. rekkverk, gjerder, varselskilt, etc. Dette er også en type svikt som ikke er avhengig av damtype, men av forholdene ved det enkelte anlegg.



2. MASSIVDAMMER

Dammens egenvekt er det viktigste stabiliserende element og typen kalles derfor også for gravitasjonsdam. Utført på enkleste måte har dammen et trapesformet tverrsnitt med en vertikal oppstrøms side og en skrå nedstrøms side. Varianter hvor også oppstrømssiden er skrå er ikke uvanlig. Vinkelen på nedstrøms side er normalt i området 1,0:1,25 til 1,0:2,5 avhengig av kronebredde og høyde. Mange luke-dammer, pilarer og terskler, er massivdammer. Massive betongdammer er en videreføring av tidligere tiders murdammer og ble tatt i bruk da betong ble et billigere bygningsmateriale enn det tradisjonelle murverk.

På en gravitasjonsdam virker følgende laster:

- Vanntrykk mot oppstrøms flate
- Oppdrift eller poretrykk, fra vanntrykk i sprekker og riss i selve dammen og i fundamentet under dammen
- Reaksjonkrefter fra fundamentet
- Istrykk

Avgjørende for stabiliteten og sikkerheten av en massiv gravitasjonsdam er følgende faktorer:

- Kontroll med oppdriften
- At fundament og damkonstruksjon tåler de trykkpåkjenninger de utsettes for og som normalt er konsentrert i dammens bakside
- At fundament og damkonstruksjon tåler de skjær- eller glidningskrefter som påføres

Det er normalt å gi dammen en slik utforming at den under normale laster har trykkspenninger i hele tverrsnittet. Dette reduserer faren for at det oppstår store riss og sprekker på vannsiden som igjen kan lede vann under trykk inn i konstruksjonen. Konstruksjonen skal være så tung at den ikke glir mot underlaget eller i svake sjikt som f.eks. horisontale støpeskjøter. Disse kravene gir dammens tykkelse i et hvert horisontalsnitt.

Massive betongdammer er derfor ikke primært avhengig av armering for bæring og betraktes derfor normalt som en uarmert betongkonstruksjon selv om det i enkelte dammer er lagt inn en mindre overflatarmering for å fordele eventuelle riss. I enkelte dammer og spesielt i lave dammer, er det brukt bolter for å bære krefter fra istrykket. Det er da også vanlig at den armeringsmengden boltene representerer føres videre opp i dammen helt opp til kronen. Spesielt overløpsdammer vil ha liten vekt der istrykket angriper og en forsterkning med armering i de øvre deler av dammen er vanlig. I dammer der dette ikke er gjort vil betongen utsettes for strekkspenninger.



Når betong støpes ut og herder vil den kjemiske prosessen i betongen medføre en temperaturstigning og deretter en avkjøling. Dette medfører små temperaturavhengig dimensjonsendringer som sammen med det svinnet som oppstår ved herding og uttørking, kan gi oppsprekking av konstruksjonen. Spesielt på store massive konstruksjoner som ikke er armert, eller svært lite armerte, slik det er for de aller fleste massive damkonstruksjoner, er en oppdeling av konstruksjonen med svinnfuger viktig for å unngå oppsprekking. Normalt vil en for en vanlige massiv damkonstruksjon velge en fugeavstand på fra 5 til 10 m. For at fugene skal fungere etter hensikten må det ikke være armering gjennom fugen og ved støp mot herdet betong må den herdete betongflaten ikke være preparert slik at den gir heft i fugen.

Fugene utføres oftest bare som svinnfuger, men kan også i noen tilfeller være laget som en kombinert svinn og ekspansjonsfuge ved at det er lagt inn et fleksibelt fugeinnlegg som f.eks. en impregneret trefiberplate eller liknende. Inne i fugene mot oppstrøms side er det lagt inn et fugebånd i plast eller kobber som skal tette fugen mot lekkasje. På utsiden er fugen ofte dekket med fugemasse.

Vann som trenger inn i dammen fra vannsiden gjennom sprekker i dammen og mellom dam og fundament gir dammen en oppdrift. Denne er en vesentlig destabiliserende kraft på enhver massiv dam. Det er derfor i mange tilfeller lagt vekt på å redusere denne oppdriften mest mulig. Dette gjøres først og fremst ved innlegging av drenering i dam og fundament, gjerne i kombinasjon med en tetthetsprøving av fundamentet og injeksjon for å tette der fjellet ikke er tett nok. Disse tiltakene reduserer inntrenging av vann og leder bort det som allikevel trenger inn.

For små dammer er tiltakene utført slik at de sjelden kan inspiseres og dokumenteres i ettertid. Større massive dammer har normalt boret drenshull fra et gangbart galleri, der det er mulig å inspisere dreneringen. Når denne virker, kan man regne med redusert oppdrift under dammen.



Betydning av forskjellige skader

Nedenfor er de vanligste skader observert på massive betongdammer listet opp. For hver enkelt type skade er det gjort en evaluering av betydningen av denne skaden. Skade kan være oppstått som følge av en type skade eller som en sum av flere skadetyper. Det vil være av betydning for vurderingen av skaden at skademekanismen og skadeårsaken er kjent. I gjennomgangen nedenfor er det skademekanisme som er benyttet som inngangsparameter.

Følgene former for skade er behandlet:



2.1 Lekkasje

Lekkasje kan forekomme i selve damkroppen, gjennom sprekker eller i dammens fundament. Normalt vil en lokal lekkasje ikke ha noen betydning for en betongdams sikkerhet. Det vil i praksis ikke kunne oppstå så stor lekkasje at det fører til erosjon hverken i betongen eller i fundamentet så lenge dette består av rimelig godt fjell. Det er som indikasjon på at det kan være større poretrykk i konstruksjonen eller i fundamentet enn det som er lagt til grunn i dimensjoneringen, at lekkasjen er av sikkerhetsmessig interesse. Dårlig utførte horisontale støpeskjøter kan føre til lekkasje, forhøyet poretrykk (større oppdrift) i store deler av tverrsnittet, og redusert sikkerhet.

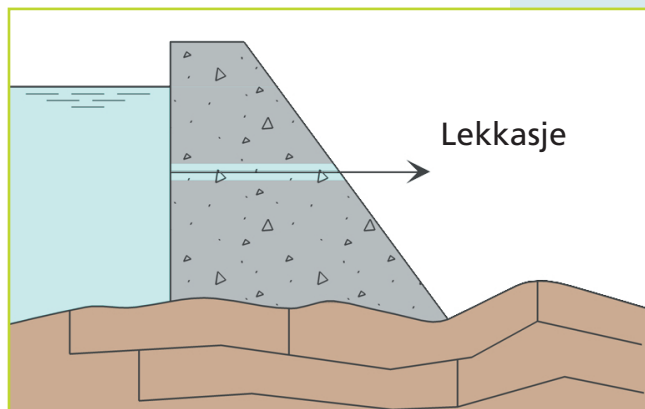


Generelt er det regnet med at poretrykket avtar jevnt fra vannsiden av dammen til luftsiden og at lekkasjeveien i fundamentet ender tett opptil dammens nedstrøms side. Indikasjon på at dette ikke er oppfylt kan være:

- Vann lekker i hele feltlengden fra horisontale sprekker.
- Vann lekker ut av fjellet et stykke nedenfor dammen.

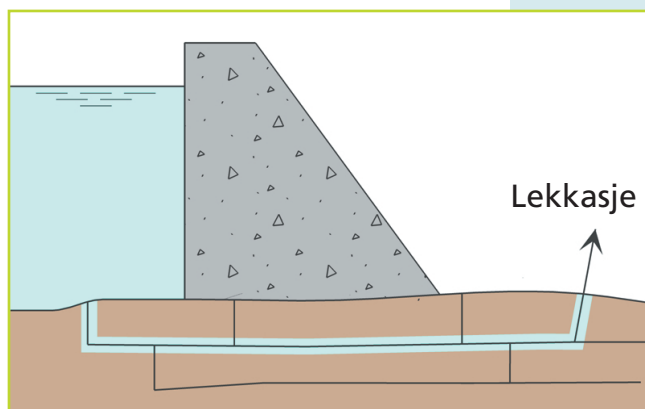
Figur 2.1.1:
Lekkasjer fra horisontale riss/
sprekker.

Dette tyder på at det er større oppdrift på en rissflate enn forutsatt og dammen har lavere sikkerhet enn forutsatt. Vannsig fra lange horisontale riss som fryser til om vinteren kan gi forhøyet oppdrift når is tetter risset i nedstrøms ende.



Figur 2.1.2:
Lekkasje i fundamentet i god
avstand fra dammen.

Dette tyder på oppdrift over et større område enn antatt og dammens sikkerhet er redusert.





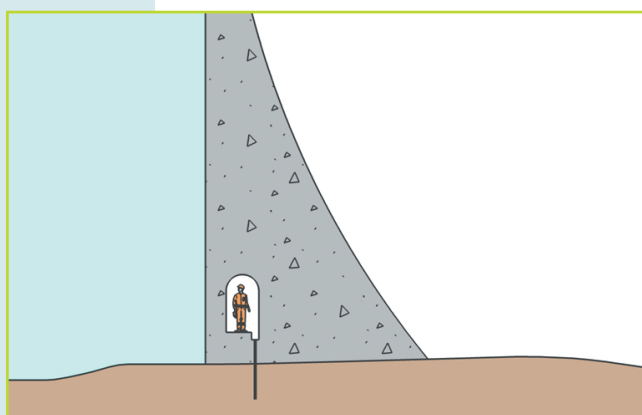
2.2 Tett drenasjesystem

En del massive betongdammer er utstyrt med drenasjesystem i form av drenasjehull boret fra et innvendig galleri eller gang i betongen, eller ved innlegging av drensrør, halvkløvinger, i samme posisjon som galleriet.

Slike drenasjesystemer ble benyttet for å redusere oppdriften i dammen og i fundamentet. Der det er brukt et galleri hvor enden av drenshullene kan inspiseres, er det til enhver tid mulig å dokumentere at systemet fungerer som forutsatt og eventuelt bore nye hull. Dersom det bare er brukt hele drensrør og halvkløvinger, vil det i ettertid ikke være mulig å dokumentere at systemet er virksomt. Det kan i mange tilfeller ikke engang dokumenteres hvorledes systemet virkelig ble bygget.

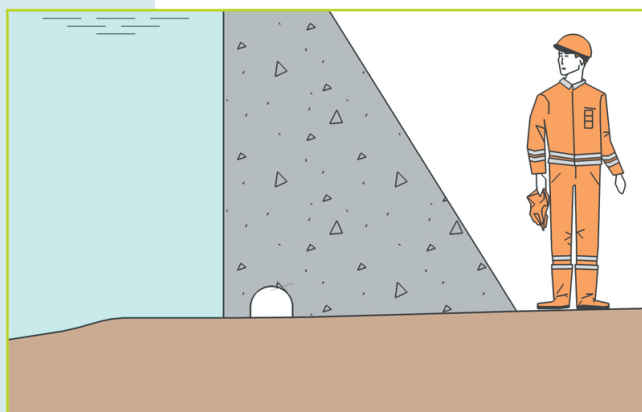
Drenasjesystemet vil i første rekke tettes til med kalkavleiringer avsatt av vann som har løst opp kalk i betongen på sin vei til drenasjesystemet. Kalken avsettes der vannet møter luft inneholdende CO_2 .

Uansett dokumentasjon skal drenasjesystemer holdes i funksjon så godt det lar seg gjøre. Et vel fungerende system vil redusere oppdriften på dammen. Sikkerheten reduseres om drenasjen ikke fungerer.



Figur 2.2.1:
Drenasjesystem basert på galleri i dammen.

Tettes de enkelte drenshull reduseres dammens sikkerhet.



Figur 2.2.2 :
Drenasjesystem basert på drenasjerør halvkløvinger og rør.

Systemet kan være anlagt for drenasje av fugen mellom fjell og betong og vil da mangle drenasjehull opp i damkroppen og ned i fundamentet.



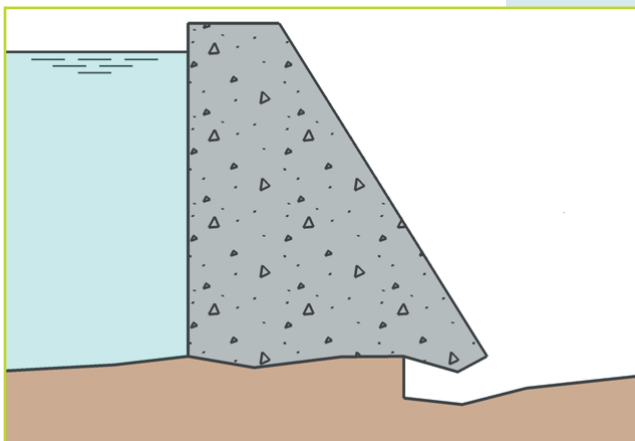
2.3 Fundamenterosjon

Fundamenterosjon oppstår oftest i forbindelse med overløpsseksjoner og der det ofte renner mye vann, men frost kan også sprengte løs partier i dammens fundament. Det er i første rekke erosjon i dammens bakkant, på luftsiden, som er av betydning for sikkerheten. En erosjon her av noen størrelse kan medføre at dammen får redusert sikkerhet mot brudd.

Dersom det oppstår erosjon på oppstrøms side vil dette påvirke stabiliteten av dammen i mindre grad, fordi spenningene her er små ved fullt vanntrykk på dammen. Men fordi tetning mellom dam og fundament forsvinner, kan det føre til økende oppdrift og svekket stabilitet for dammen.

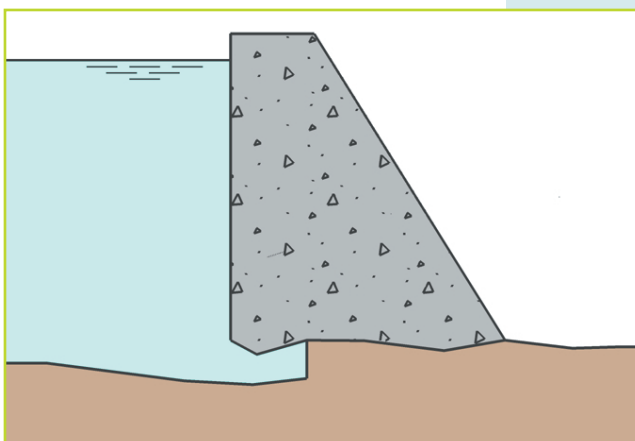
Figur 2.3.1:
Fundamenterosjon på dammens nedstrøms side.

Dette gjør at den effektive fundamentflaten blir mindre og dammens sikkerhet mot velting og glidning reduseres.



Figur 2.3.2:
Fundamenterosjon på dammens oppstrøms side.

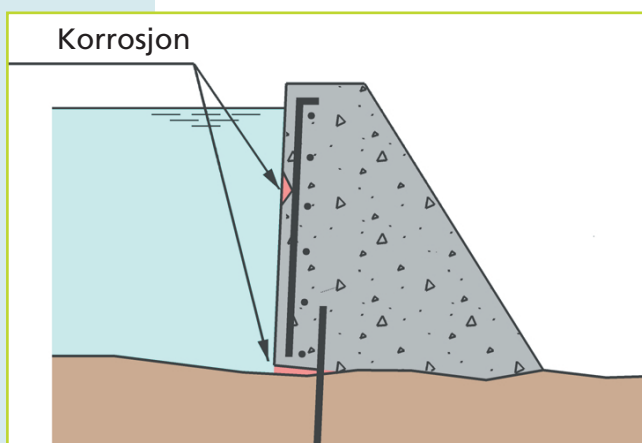
Dette reduserer fundamentbredden, men på den siden hvor spenningene er lave og betydningen for stabiliteten mindre. Erosjon på oppstrøms side kan resultere i øket oppdrift da tetningen mellom fjell og dam reduseres.





2.4 Armeringskorrosjon

Armeringskorrosjon vil normalt ha liten betydning for massive dammer. For lave dammer eller lave partier av større dammer vil det kunne være behov for bolter, spesielt mot istrykk. Da fortsettes normalt boltearmeringen i et nett opp til kronen som sikrer eventuelle støpeskjøter. Eventuell korrosjon vil være av størst betydning for boltene kapasitet, men disse vil også være vanskeligst å kontrollere.



Figur 2.4.1:

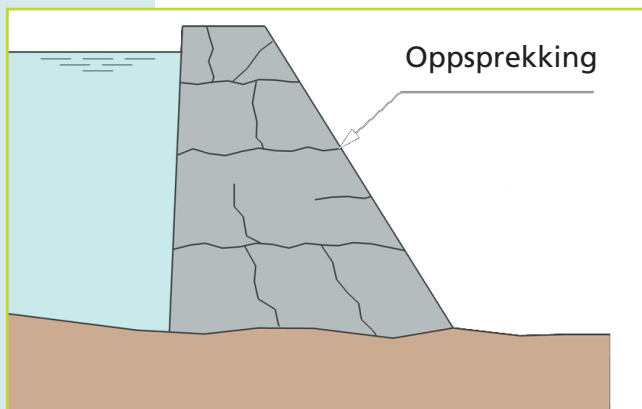
Armeringskorrosjon. Korrosjon på eventuell vannsidearmering samt på fjellbolter.

Lave massive dammer krever ofte bolter og armering av vannsiden gjennom horisontale støpeskjøter for å oppta laster fra istrykk.

2.5 Alkalireaksjoner

Alkalireaksjoner i massive betongdammer er normalt ikke av betydning før skaden har ført til omfattende oppsprekking av betongen. Allerede i en tidlig fase kan det oppstå trykkspenninger i dammens lengderetning dersom utvidelse hindres av innspenning i dammens ender. Dette kan medføre at klaringer i forbindelse med luker presses sammen og luker kiler seg fast.

Normalt vil spenninger i dammens lengderetning ikke medføre noen sikkerhetsrisiko. Dersom dammen er lang og det er vinkelendringer i aksen vil det kunne oppstå skadelige forskyvninger ved vinkelpunktet. Dette kan medføre at riss åpner seg og gir redusert friksjon og øket oppdrift.



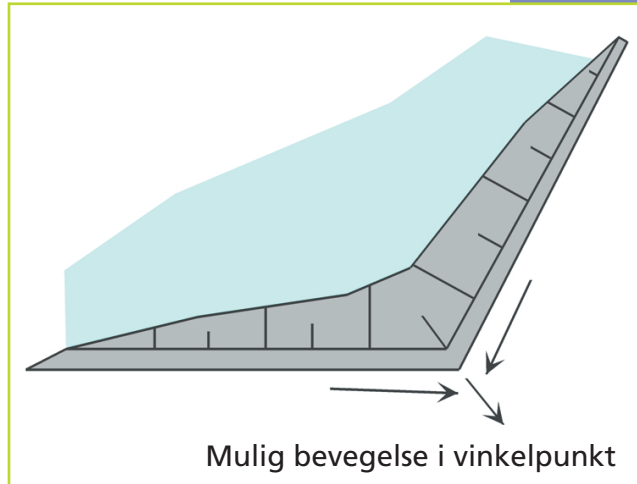
Figur 2.5.1:

Alkalireaksjoner gir oppsprekking som til slutt fører til at massivet går i oppløsning.

Dette gjør dammen utett og gir tilgang for vann som igjen gir frostsprengning.



Figur 2.5.2:
Alkalireaksjoner gir spenninger
eller glidning i lengderetning av
dammen ved vinkelpunkt i
damaksen.



2.6 Frostskader

Frostskader gjør seg gjeldende på to måter enten ved at vann fryser i betongens porestruktur som så fører til at betongen går i oppløsning, eller at vann i sprekker og riss fryser, en prosess som stadig utvider rissene.

Begge typer frostskader starter som et overflatefenomen og vil først kunne føre til armeringskorrosjon ved at dekningssjiktet med betong over armeringen skades. En massivdam er normalt mindre sårbar for frostskader enn en armert konstruksjon. Ofte vil det imidlertid kunne observeres mer skade på disse konstruksjonene enn på nærliggende armerte konstruksjoner. Dette kan skyldes at det er brukt en betong med et lavere masseforhold (mindre sement og mer vann) enn det er brukt i tilsvarende armerte konstruksjoner.

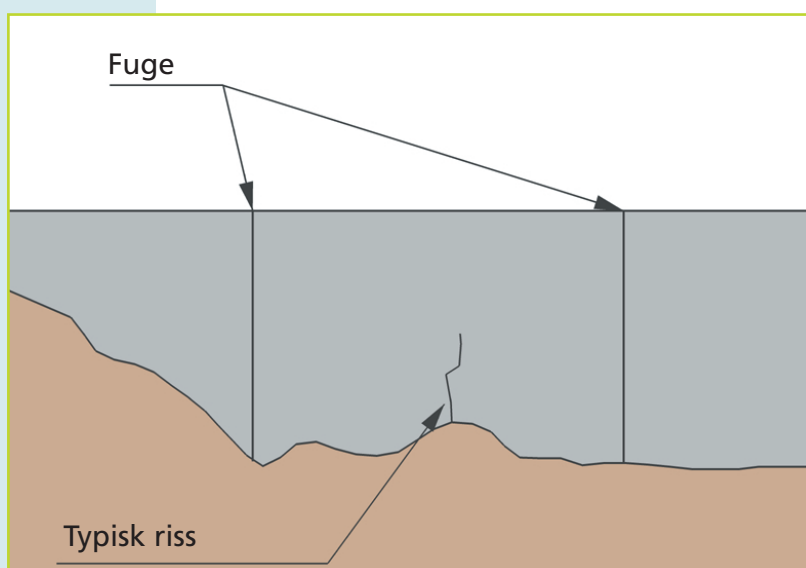
Figur 2.6.1:
Område utsatt for frostsprengning





2.7 Sprekker og riss

Sprekker vil kunne dannes som et resultat av svinn og temperaturspenninger når større massive konstruksjoner støpes. Overflateriss vil normalt ikke påvirke dammens sikkerhet, men vil kunne være angrepunkt for nedbryting av frost. Riss i massive konstruksjoner vil normalt ikke være gjennomgående. Sprekker derimot vil ofte være gjennomgående. Av gjennomgående sprekker vil normalt vertikale eller nær vertikale, sprekker ikke ha betydning for sikkerheten. Horisontale sprekker kan indikere større inngang av vann i konstruksjonen og derved større oppdrift.



Figur 2.7.1:
Typisk riss fra svinn
eller temperatur.



2.8 Overbelastning

Permanente deformasjoner som oppstår som følge av overbelastning er en indikasjon på at dammen ikke fungerer som forutsatt og at det kan være alvorlig fare for sikkerheten. Sikkerhetsrisikoen avhenger av hva som er årsaken til overbelastningen. Generelt vil høyt istrykk utgjøre en mindre risiko enn om årsaken er ekstrem flom. Dette fordi istrykket reduseres når konstruksjonen viker unna. Ved ekstrem flom vil det, dersom overløpets geometri ikke er utformet for den aktuelle vannstand, kunne oppstå undertrykk som øker på kjenningen ut over det statiske vanntrykket mot oppstrøms side. Dette undertrykket kan pulsere og gi en ugunstigere belastning.

Nedenfor er det gitt en oversikt over symptomer på overbelastninger, årsak og betydning for anlegget.

Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
Volumendring i betongen	Alkalireaksjoner	Konstruksjonselementer utvider seg i alle retninger. I retninger hvor det ikke er frihet til utvidelse vil konstruksjonselementet komme i klemme og bli påført interne spenninger. Disse vil kunne være så store at det oppstår brudd i materialet. Eventuell innspenning vil oftest være langs damaksen og vinkelrett på de spenninger vanntrykket påfører dammen. Normalt vil dette ikke svekke dammen. Det vil imidlertid kunne medføre at lukeløp klemmes slik at luker kan sette seg fast. For dammer som ikke er rette vil det i vinkelpunktet kunne oppstå forskyvninger.
Setning/heving og deformasjon i terrenget ved dammen.	Skade på fundament	Dersom setninger skyldes komprimering av grunnen og dette skjer uten fare for at det kan oppstå lekkasje er situasjonen ikke kritisk men bør holdes under oppsikt. Dersom deformasjoner skyldes at masse vaskes ut under dammen er dette en kritisk situasjon som kan føre til dambrudd.

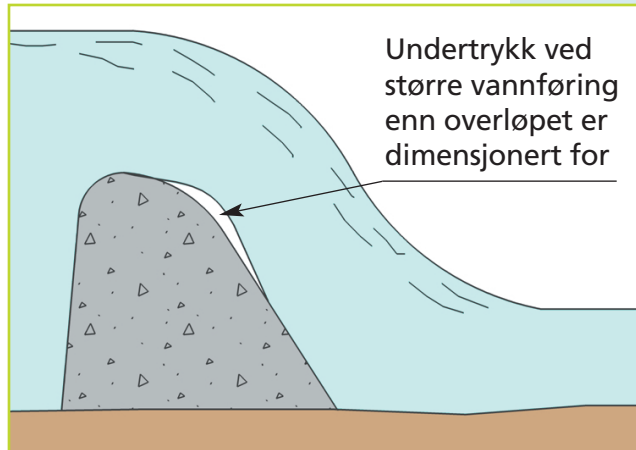


Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
Deformasjon	Generelt	Overbelastning kan føre til at dammen glir eller tipper. Glidning kan oppstå på svake plan f.eks. i støpeskjøter, i fuge fjell/betong eller i selve fundamentet. Avhengig av glideplanet vil glidningen kunne stoppe etter en kort bevegelse eller det kan skje et totalbrudd. Vanligst vil nok en begrenset glidning være siden det må antas at den skjer som følge av svakheter med en begrenset utstrekning og at det derfor fort skjer en omfordeling av krefter til andre mer bæredyktige områder av konstruksjonen. Massivdammer vil bedre enn andre damtyper ha evne til å omfordele krefter.
	Istrykk	Observeres det at deler av en dam glir er dette en situasjon som må undersøke nærmere. Tipping om nedstrøms ende er en alvorlig situasjon og må snarest undersøkes nærmere. Istrykk kan bli vesentlig større enn det dammen er dimensjonert for selv om den er dimensjonert i henhold til damforskriftens krav om islast på 100 kN/m. Istrykk er en korttidslast som opptrer med sin største verdi når et godt etablert isdekke på ca. 1/2m tykkelse varmes opp og ekspanderer. Dersom de konstruksjoner som overbelastes av istrykk kan unnvike, forskyves, letter istrykket mot denne konstruksjonen etter en relativt liten forskyvning. Konstruksjonen kan dermed skyves litt i hver gang forholdene ligger til rette for maksimalt istrykk. I sum over mange år kan dette bli en synlig forskyvning. Slik forskyvning kan skje uten alvorlig sikkerhetsrisiko.

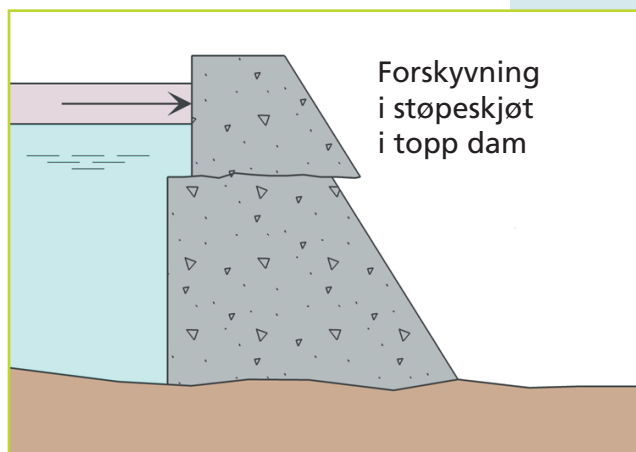


Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
	Istrykk	For massivdammer kan den største sikkerhetsrisikoen bestå i at det åpnes sprekker som så åpner for større oppdrift på konstruksjonen.
	Ekstrem flom	Ekstrem flom kan gi uforutsette belastninger på spesielt lave deler av en damkonstruksjon. Spesielt dersom det blir overløp som er vesentlig større enn forutsatt kan det i tillegg til økt statisk vannlast også oppstå undertrykk under vannstrålen på overløpet. I uheldig fall vil dette undertrykket være pulserende og påføre konstruksjonen ekstra støtbelastninger. Denne situasjonen er en større sikkerhetsrisiko enn om forskyvningene skyldes istrykk.

Figur 2.8.1:
Overbelastning som følge av
ekstrem vannstand/vannføring.



Figur 2.8.2:
Overbelastning som følge av for høyt istrykk.

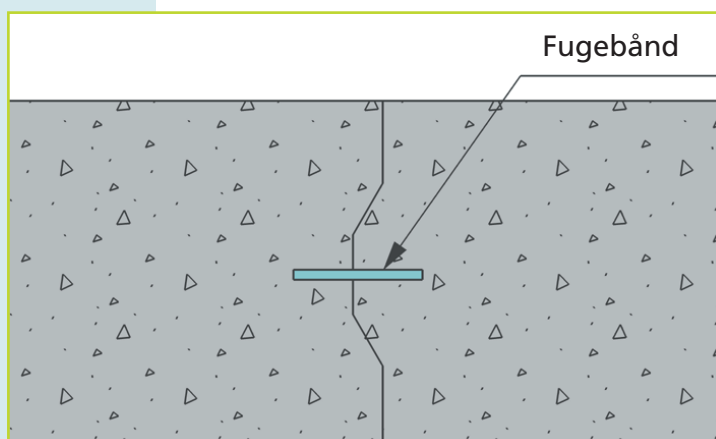




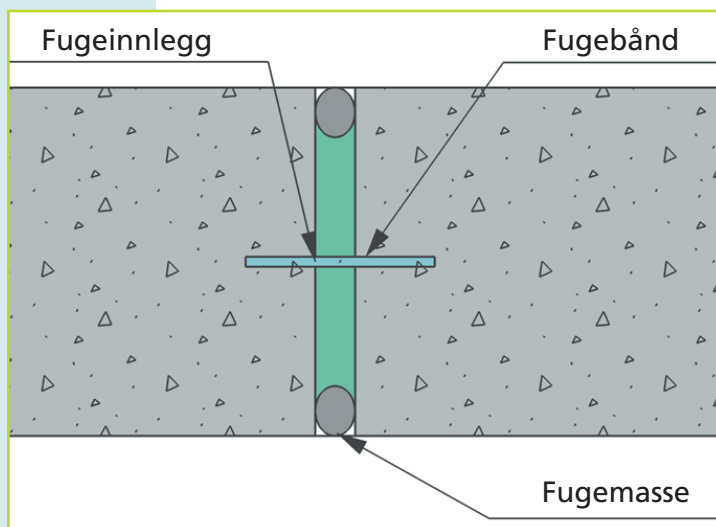
2.9 Fuger

Massive dammer utføres med fuger med fra 5 til 10 m avstand. Disse fuger har vært utført med fugebånd av plast eller som tidligere med kobberblikk som tetning. Noen fuger utføres kun for å tillate svinn og de enkelte seksjoner er da støpt i direkte kontakt. Noen fuger er utført for å ta både svinn og ekspansjon, betongseksjonene er da støpt med et mellomlegg av en porøs plate som kan presses sammen. Mot overflaten legges det ofte en fugemasse. Slik fuger av denne type utføres og den svært dårlige holdbarhet disse fugematerialene har, er de ikke egnet som tetting mot vanntrykk.

Observeres det at fuger presses sammen er dette ofte en indikasjon på at konstruksjonen er utsatt for alkalireaksjoner. Sammenpressede fuger kan være det første varsel og kan vise seg før det er oppstått andre tydelige tegn på reaksjon.



Figur 2.9.1:
Oppbygging av fuge. Svinn.



Figur 2.9.2:
Oppbygging av fuge.
Svinn og ekspansjon.



3. Buedammer

3.1 Generelt

Buedammer eller hvelvdammer som de også kalles overfører kreftene fra vanntrykket til fjellet på dammens sider og bunn. Disse dammene bygges på steder der damstedet er relativt smalt i forhold til damhøyden.

Dammene utføres enten som tynne armerte konstruksjoner eller som tykke uarmerte konstruksjoner. De kan utføres som enkle buer med konstant radius fra topp til bunn, og betegnes da som enkeltkrumme, eller de kan utføres med varierende radius, økende mot toppen og da med en relativt sett lik åpningsvinkel og får da en dobbelkrum form. Av dobbelkrumme former er det mange varianter avhengig av damstedets form, dammens størrelse og konstruktørens preferanser.

Tynne armerte buedammer utføres normalt i seksjoner på 7 til 15 m bredde adskilt med en svinnfuge med bredde ca. 1m. Denne gjenstøpes når alle seksjonene er ferdig støpt og de enkelte seksjoner er herdet og avkjølt. Kan utstøpingen av fugen gjøres på et tidspunkt av året hvor temperaturen er omtrent lik gjennomsnittstemperaturen er dette det gunstigste.

Tykke eller massive buedammer støpes oftest i seksjoner som ligger mot hverandre men der støpefronten forskyves for å gi annen hver seksjon anledning til noe svinn før neste seksjon støpes. Disse dammene er ofte så store at det legges inn kjølerør for å ta ut varmen fra betongens herdeprosess. Ved avsluttet støping og herding kan det være aktuelt å injisere de vertikale fugene mellom seksjonene for å få et jevnest mulig forløp av krefter i alle dammens deler.

I dammer der en forventer at det kan oppstå lekkasje i støpeskjøter legges det inn fugebånd enten av et plaststoff eller av kobber.

Avgjørende for dammens sikkerhet er følgende forhold:

- Hvelvets bæreevne sett ut fra de spenninger som opptrer og de materialegenskaper som er innebygget i konstruksjonen
- Fjellfundamentets evne til å bære de påførte krefter uten deformasjoner
- At fjellet er tett slik at grunnvannstrykket ikke stiger i området nedstrøms dammen og at det av den grunn utløses ras

Betydningen av forskjellige typer skade

Nedenfor har vi listet opp de vanligste former for skade observert på buedammer. For hver enkelt type skade er det gjort en evaluering av betydning for dammens sikkerhet denne skaden kan antas å ha. Skade kan være oppstått som følge av en type skade eller som en sum av flere skadetyper. Det vil være av betydning for vurderingen av skaden at skademekanismen, henholdsvis skadeårsaken er kjent. I gjennomgangen på neste side er skademekanisme benyttet som inngangs-



parameter.

Følgende skademekanismer er behandlet:

- Lekkasje og stabilitet av fundament og vederlag
- Fundamenterosjon
- Armeringskorrosjon
- Alkalireaksjoner
- Frostskafer
- Sprekker og riss
- Overbelastning

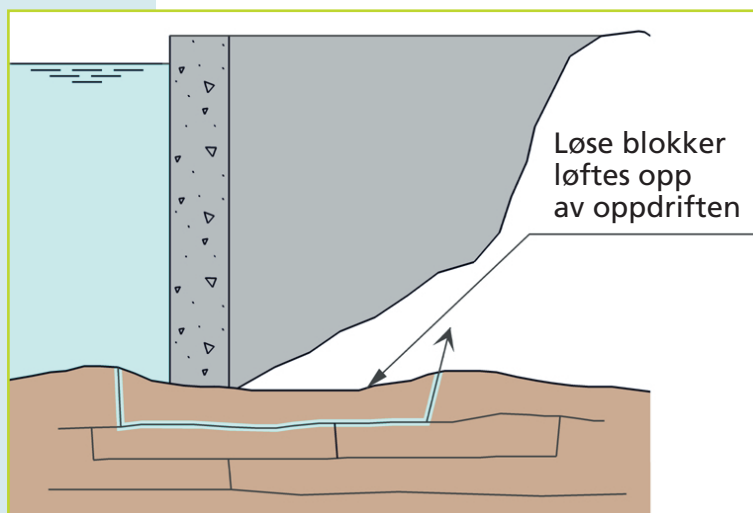
3.2 Lekkasje og stabilitet av fundament og vederlag

Lekkasje i dammens fundament eller vederlag er først og fremst en indikasjon på at det kan være større poretrykk i fjellet enn ønskelig. Desto lenger unna dammen det observeres lekkasje og desto kraftigere denne er desto større sikkerhetsrisiko representerer poretrykket.

I fundamentet kan høyt poretrykk bevirke at områder nedstrøms dammen løfter seg og forstyrrer dammens feste i fjellet. Dersom dammen er konstruert slik at den er avhengig av dette opplegget kan dette føre til sammenbrudd av hvelvet. Mange dammer kan imidlertid tåle at deler av opplegget i dammens underside svikter uten å bryte sammen.

I vederlagssonen vil høyt poretrykk kunne forårsake ras og svikt i vederlagets evne til å bære reaksjonskreftene fra hvelvet. Bortfall av bæreevne i vederlaget er en svært alvorlig sikkerhetsrisiko.

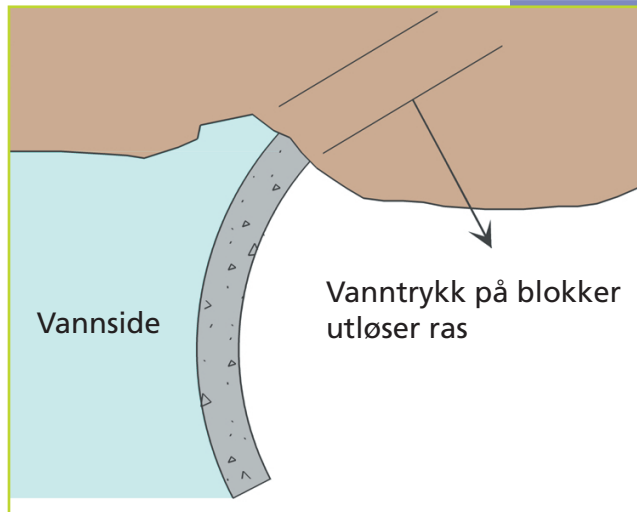
Det kan være svært vanskelig å se på overflaten om det er farlig høyt poretrykk i fjellet nedstrøms en dam. Der geologien er slik at det kan være fare for høyt poretrykk i områder nedstrøms dammen bør det foretas kontinuerlige poretrykksmålinger.



Figur 3.2.1:
Lekkasje og stabilitet av
fundament.



Fig 3.2.2:
Lekkasje og stabilitet av vederlag.



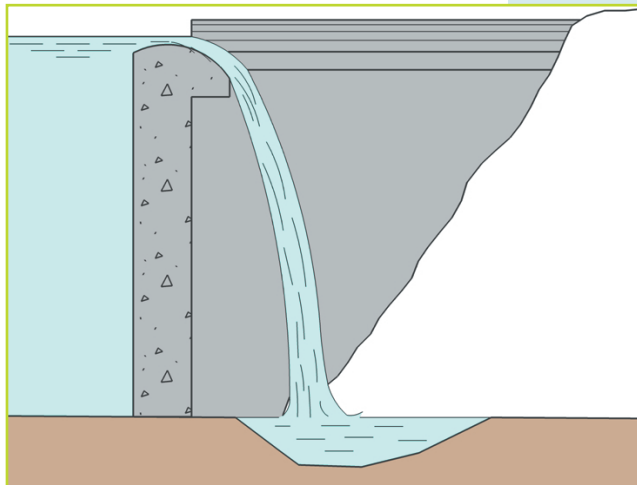
3.3 Fundamenterosjon

Fundamenterosjon oppstår først og fremst på dammer med flomløp over damkronen og erosjon oppstår i området hvor flomvannet treffer fjellet. Dersom store vannmengder passerer over et flomløp over lengre tid og fjellet i nedslagsområdet er dårlig, vil det danne seg en grop. Denne vil med tiden kunne bli dypere og vil stabilisere seg først når flomvannet styrter ned i et basseng med dybde på opptil 40% av fallhøyden. Erosjon av en slik grop vil for mange dammer føre til alvorlig svikt i fundamentet og være en alvorlig trussel mot sikkerheten.

På godt fjell vil ikke prosessen gi merkbar erosjon i løpet av dammens levetid men soner med oppsprukket fjell vil raskt kunne eroderes vekk.

Noen dammer har overløp i siden med flomvannet rennende ned langs dammens vederlag. I slike tilfeller kan det i partier med dårlig fjell oppstå erosjon som kan føre til ras og reduksjon i vederlagets bæreevne.

Figur 3.3.1:
Fundamenterosjon

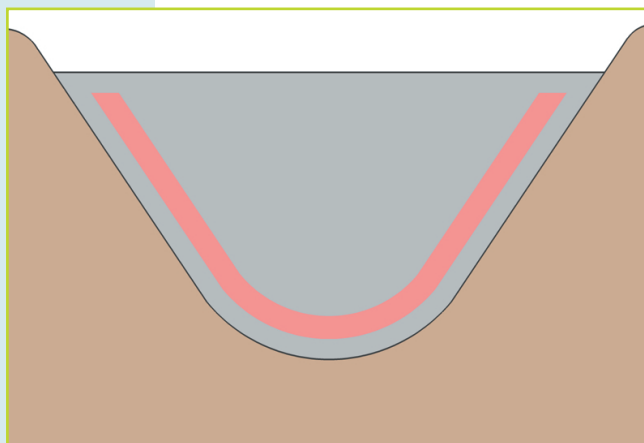




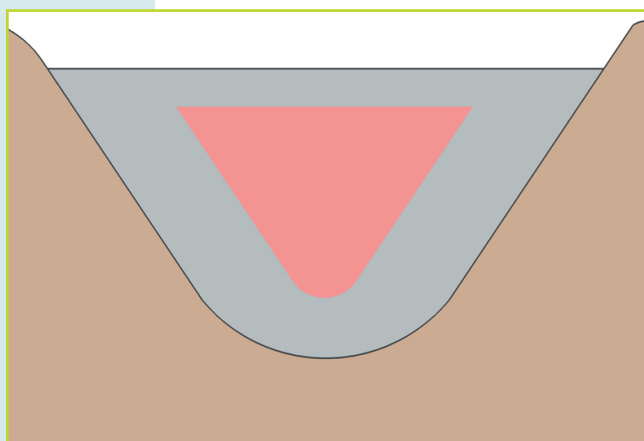
3.4 Armeringskorrosjon

Tynne armerte hvelvdammer utsettes for belastninger som resulterer i strekkspenninger i hvelvet. Hvelvet armeres for å oppta disse spenninger uten at det skal dannes riss større enn det som ansees som maksimalt tillatt rissvidde. I mange tilfeller vil dammen bære også uten armering, men da med en stor grad av opprissing. Ved registrering av armeringskorrosjon i et hvelv må det regnes med at armeringen er bærende inntil noe annet er bevist gjennom en kontrollberegning.

Massive hvelvdammer konstrueres uten armering, eventuelt med en overflatearmering for å fordele eventuelle riss. Armeringskorrosjon på slike dammer er ikke av sikkerhetsmessig betydning.



Figur 3.4.1:
Vannside av buedam med angivelse av partier der armeringskorrosjon har størst betydning for sikkerheten.



Figur 3.4.2:
Luftside med angivelse av de steder armeringskorrosjon har størst betydning for sikkerheten.

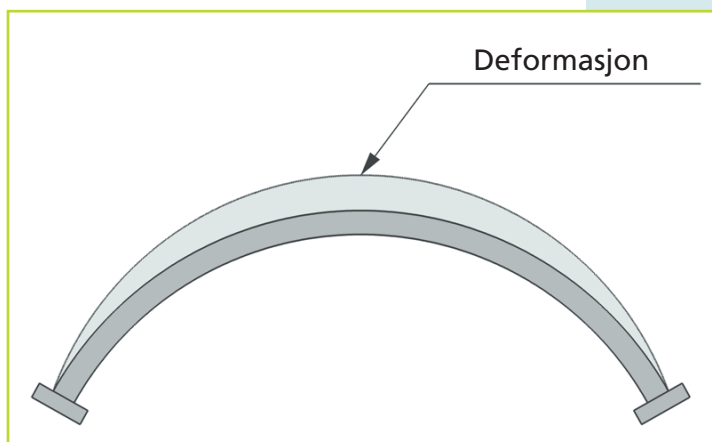


3.5 Alkalireaksjoner

Alkalireaksjoner i et hvelv kan gi en volumutvidelse av betongen som vises ved at hvelvet deformeres og får en utbøyning i oppstrøms retning. Denne utbøyningen vil være permanent og komme i tillegg til den variasjon som er forårsaket av vannlasten og temperaturen. Det vil også kunne observeres en svak heving av damkronen.

Alkalireaksjoner vil gi opprissing som i sin tur gir mulighet for armeringskorrosjon. En konstruksjon som skades av riss forårsaket av alkalireaksjoner vil lett få skadene forsterket av frost. Alkalireaksjonene vil ikke svekke betongens trykkstyrke, men konstruksjonen svekkes med opprissing og oppsprekking av betongen. Denne prosessen er synlig og skadene blir å vurdere i forhold til de riss og sprekker som observeres. Betongsvellingen vil gi tilleggsspenninger der utvidelsene ikke kan foregå uhindret. For et hvelv vil disse tilleggsspenningene komme i tillegg til de andre spenningene i hvelvet. Ved deformasjoner av betydning må det foretas en beregningsmessig gjennomgang av hvelvet for å se at det ikke oppstår spenninger over det tillatte.

Figur 3.5.1:
Effekt av alkalireaksjoner på
deformasjoner i en buedam.



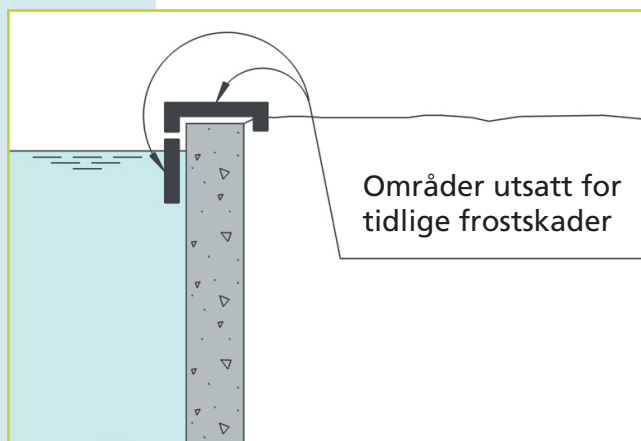


3.6 Frostskader

Frostskader påvirker et hvelv på samme måte som en hvilken som helst betongkonstruksjon.

Frostskadet betong er først og fremst en indikasjon på at betongen i konstruksjonen ikke har den nødvendige kvalitet. For eldre konstruksjoner kan dette gjelde hele konstruksjonen mens det for nyere konstruksjoner kan det være tegn på at enkeltblandinger har hatt for lav kvalitet.

Frostskader opptrer først i overflaten på steder utsatt for fryse/tine påkjenninger i fuktig tilstand. Dette er for hvelv ofte på dammens krone og i skvalpesonen.



Figur 3.6.1:
Frostskader på buedammer.

3.7 Sprekker og riss

Riss vil i første rekke utgjøre en fare for korrosjonsangrep på armeringen samt også å være et angrepspunkt for frost skader. Riss som er under 0,3 mm vide er normalt ufarlige for konstruksjonen når det gjelder armeringskorrosjon.

Riss som utvikler seg til sprekker blir et angrepspunkt for korrosjon slik at alle sprekker som krysser hovedarmering på områder hvor denne er utnyttet må kontrolleres grundig.



3.8 Overbelastning

Overbelastning vil for buedammer først og fremst vise seg som en større deformasjon enn ventet eventuelt kombinert med utvikling av synlige riss. Overbelastning som fører til høyere betongspenninger og eventuell knusing i betongen antas å ville være lokal og opptre i forbindelse med uregelmessig geometri langs hvelvets rand. Normalt vil et hvelv ha en betydelig overkapasitet mot trykkbrudd i betongen. Eventuelle skjevheter i hvelv eller skjevbelastninger kan i uheldige tilfeller gi opphav til ustabilitet og utknekking.

Overbelastning mot vederlag og fundament som fører til at opplegget svikter er en meget alvorlig hendelse, men antas å være lite sannsynlig.

Dersom det ved en inspeksjon skulle observeres tegn som tyder på at konstruksjonen er eller har vært overbelastet må det omgående foretas en nærmere undersøkelse og eventuelt en ny beregning av hvelvet for å kontrollere hva som kan være årsak til de symptomer som er observert. En overbelastning av en buedam skal betraktes som en alvorlig hendelse.

Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
Volumendring i betongen	Alkalireaksjoner	Konstruksjonselementer utvider seg i alle retninger. I retninger hvor det ikke er frihet til utvidelse vil konstruksjonselementet komme i klemme og bli påført interne spenninger. Disse vil kunne være i en slik størrelsesorden at det oppstår brudd i materialet. En ekspansjon i betongen i hvelvet vil for tynne, myke hvelv med relativt stor åpningsvinkel gjøre at hvelvet får en deformasjon inn over mot magasinet. Det vil for denne type hvelv være en relativt liten tilleggsspenning i betongen. Tykke hvelvdammer og dammer med liten åpningsvinkel hvor det ikke like lett kan skje deformasjoner vil det kunne introduseres store tilleggsspenninger i betongen. Spenningene fra vannlast og alkalireaksjoner vil ligge i samme retning og summeres.



Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
Setning/heving og deformasjon i terrenget ved dammen.	Skade på fundament	Buedammer kan bare fundamenteres på fast fjell og deformasjoner må behandles som en svært alvorlig skade.
Deformasjon	Generelt	Buedammer kan oppta varige deformasjoner fra overbelastning uten at det er umiddelbar fare for sikkerheten.
	Istrykk	Istrykk kan bli vesentlig større enn det dammen er dimensjonert for selv om den er dimensjonert i henhold til damforskriftenes krav om islast på 100 kN/m. Istrykk er en korttidslast som opptrer med sin største verdi når et godt etablert isdekke på ca. 1/2m tykkelse varmes opp og ekspanderer. Dersom de konstruksjoner som overbelastes av istrykk kan unngå, forskyves, letter istrykket mot denne konstruksjonen etter en relativt liten forskyvning. Konstruksjonen kan dermed skyves litt i hver gang forholdene ligger til rette for maksimalt istrykk.
	Ekstrem flom	Overbelastning fra istrykk er ikke ønskelig mot en buedam. Ekstrem flom gir sjelden store tilleggslaster på buedammer. Disse dammene er normalt høye og den ekstra vannstandsstigning en flom gir vil derfor utgjøre en ubetydelig tilleggslast.



4. Platedammer

4.1 Generelt

Denne damtypen er stabiliseres i hovedsak av vanntrykket mot den skrå damplaten. Vanntrykkets vertikale komponent gir dammen den nødvendige veltestabilitet og den nødvendige tyngde for å motstå glidning. En platedam virker derfor på samme måte som en massiv gravitasjonsdam med den forskjell at egenvekten er erstattet med vekt av vann mot platens skrå oppstrøms side, samtidig som den hule konstruksjonen gjør at oppdriften mot selve dammen nærmest er bortfalt. Det kan imidlertid fortsatt være oppdrift på sprekker i fjellfundamentet.

Mellom pilarene er det en damplate som er utført som en tynn, armert betongkonstruksjon. Platen kan enten være utført med skjøter over hver pilar og vil da virke som en fritt opplagret konstruksjon, eller den kan være utført med skjøter i feltet i platens momentnullpunkt og virker da som en kontinuerlig plate. Platen kan være armert sammen med pilaren, men den vanligste utførelsen er med glidefuge mellom pilar og plate. Dette hindrer at det under støpingen utvikles setningsriss i platen i området mot pilaren

Mellom de enkelte platefelt er det anordnet svinn og ekspansjonsfuger. Disse er utstyrt med fugebånd enten av plast eller kobber, fugeinnlegg av impregnert trefiberplate eller en asfaltmasse og til slutt er fugen forseglet med fugemasse.

Kreftene i pilarene er normalt små slik at disse vanligvis inneholder lite armering. Noen dammer er utformet, og pilarene dimensjonert slik at om et platefelt skades og bryter sammen og vannet strømmer ut mellom to pilarer, så skal ikke pilarene knekke ut av vanntrykket. Dette øker armeringsbehovet og gjør enkelte tverravstivninger nødvendig.

Platedammer utføres ofte med en isolasjonsvegg av betong på nedstrøms side. Denne veggen er ofte utført av betongelementer støpt på stedet. Isolasjonsveggen vil ikke redusere temperaturen på damplatens luftside med mer enn ca. 5-10°C og i en del tilfeller har en funnet at kostnaden ikke motsvarer effekten. Isolasjonsveggen vil imidlertid gi dammen et mer massivt utseende og eventuelle lekkasjer i damplaten vil heller ikke være synlige.

Avgjørende for stabiliteten og den generelle bæreevne for en platedam er:

- Pilarene med fundament tåler de krefter de utsettes for
- Pilarene dimensjoneres slik at de ikke velter eller glir
- Platefeltene tåler de krefter de utsettes for
- Fundamentet er stabilt og det bygges ikke opp poretrykk i fundamentet som kan forstyrre denne stabiliteten



Betydningen av forskjellige skader

Nedenfor vil de vanligste former for skade observert på platedammer være listet. For hver enkelt type skade er det gjort en evaluering av betydning for dammens sikkerhet denne skaden kan antas å ha. Skade kan være oppstått som følge av en type skade eller som en sum av flere skadetyper. Det vil være av betydning for vurderingen av skaden at skademekanismen, henholdsvis skadeårsaken er kjent. I gjennomgangen nedenfor er skademekanisme benyttet som inngangsparameter.

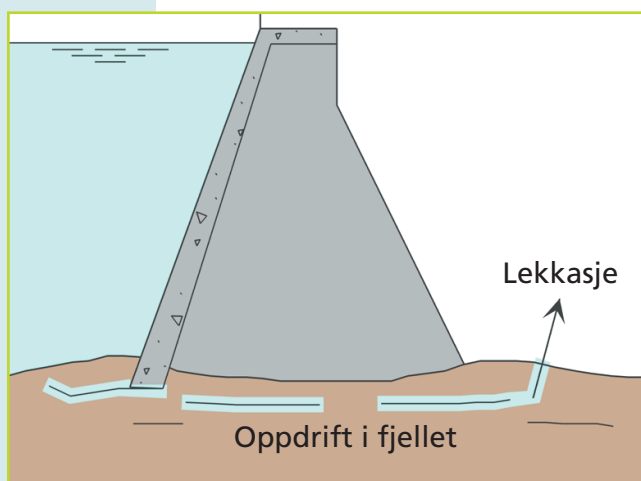
Følgende skademekanismer er behandlet:

- Lekkasje og stabilitet av fundament og vederlag
- Fundamenterosjon
- Armeringskorrosjon
- Alkalireaksjoner
- Frostskafer
- Sprekker og riss
- Overbelastning

4.2 Lekkasje

Lekkasje kan forekomme enten i selve damkroppen, gjennom sprekker og riss eller i dammens fundament. Normalt vil en lekkasje ikke ha noe betydning for en betongdams sikkerhet. Det vil i praksis ikke kunne oppstå så stor eller kraftig lekkasje at det fører til erosjon hverken i betongen eller i fundamentet så lenge dette består av rimelig godt fjell. Det er som indikasjon på at det kan være poretrykk i fundamentet at lekkasjen er av sikkerhetsmessig interesse. Med stort poretrykk i fundamentet vil konstruksjonen få større oppdrift enn forutsatt og dermed ha en mindre sikkerhet.

Generelt er det regnet med at poretrykket er meget begrenset og bare gjør seg gjeldende under selve bunnen av frontplaten. Det er bare i spesielle tilfeller at det regnes med poretrykk i et større område i fundamentet. Indikasjon på at det kan være poretrykk i fundamentet under dammen er at det kommer vann ut av fjellet godt nedstrøms luftsidens av platen eller også nedstrøms pilarene.



Figur 4.2.1:
Lekkasje i fundamentet i god avstand fra dammen. Dette tyder på oppdrift over et større område enn antatt og dammens sikkerhet er redusert.

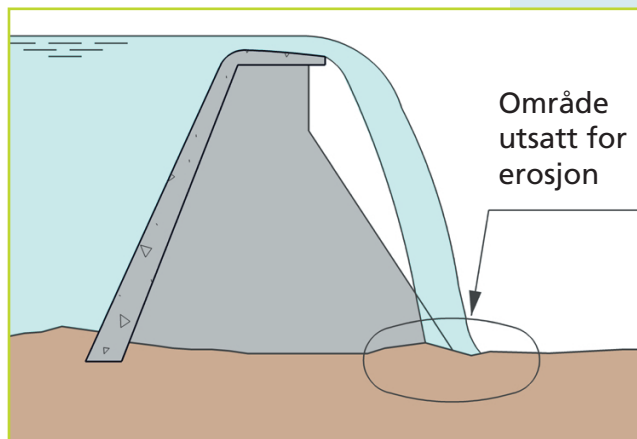


4.3 Fundamenterosjon

Fundamenterosjon oppstår først og fremst på dammer med flomløp over damkronen og erosjon oppstår i området hvor flomvannet treffer fjellet. Dersom store vannmengder passerer over et flomløp i lengre tid og fjellet i nedslagsområdet er dårlig, vil det kunne oppstå erosjonsskader. Spesielt i området ved bakkant av pilarene vil erosjon være farlig for sikkerheten. Det er ved norske platedammer regnet med at fjellet er godt og at vannmengdene i overløp er små slik at det ikke vil oppstå erosjonsskader av betydning i dammens levetid. Ved dårlig fjell og mye vann i overløpet er likevektstilstanden dannelse av en grop i fjellet som først er stabil når dybden er ca. 40 % av fallet. Dette er en likevektstilstand som ikke kan aksepteres og et hvert tegn på erosjon nedstrøms en platedam i området ved bakkant pilar må repareres før den får utvikle seg.

Noen dammer har overløp i siden med flomvannet rennende ned langs dammen. I slike tilfeller kan det i partier med dårlig fjell oppstå erosjon også av vannet som renner langs dammen.

Figur 4.3.1:
Fundamenterosjon.



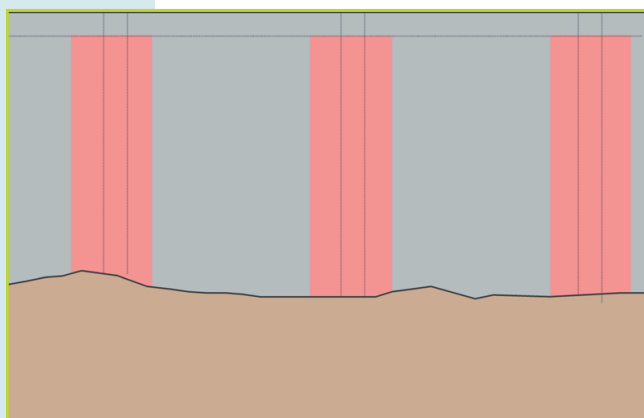


4.4 Armeringskorrosjon

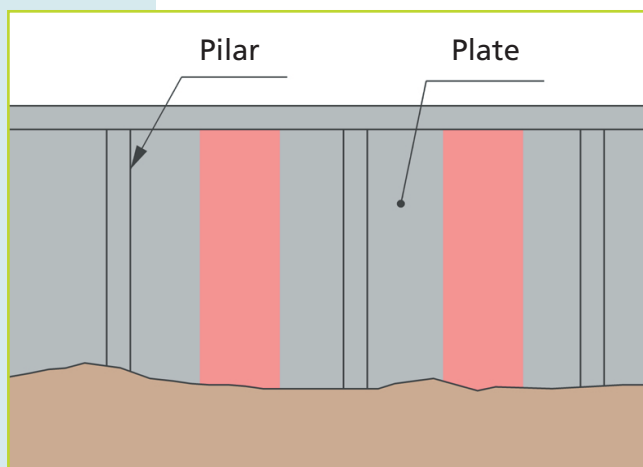
Armeringskorrosjon vil ha stor betydning for en platedam. Spesielt er platen følsom for svekkelser i armeringen. Dammen er helt avhengig av at den armerte betongplaten som danner selve vanntetningen og som bærer vanntrykket mellom pilarene er uskadet. Pilarene er i mindre grad avhengig av armering, men også i disse vil det være partier som krever at armeringen er relativt uskadet for at sikkerheten skal være ivarettatt.

Dersom armeringskorrosjon registreres på en dam vil følgende områder være de mest belastede, og de det er viktigst er uskadet:

- I platefelt på luftsiden, horisontalarmering
- Over opplegg på vannsiden, horisontalarmering
- Ved plateskjøter, horisontalarmering og eventuelle bøyer
- Nederste 0-4 m på platen, vertikalarmering luftside
- På lave deler av dammen hvor det er brukt bolter, vertikalarmering langs platens kant mot fjell



Figur 4.4.1:
Armeringskorrosjon, områder
på platens vannside som er mest
sårbar ved skade.



Figur 4.4.2:
Armeringskorrosjon, områder
på platens luftside som er mest
sårbar ved skade.

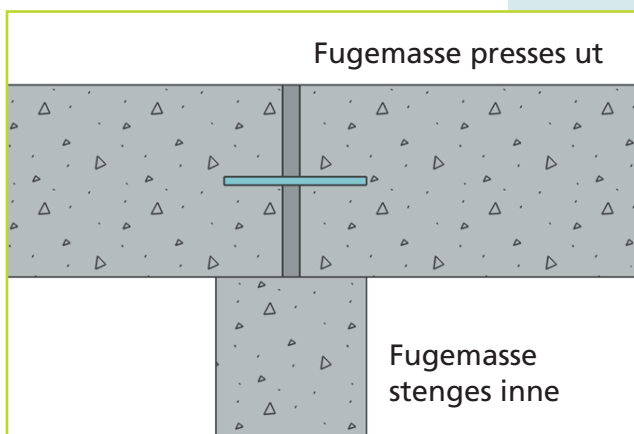


4.5 Alkalireaksjoner

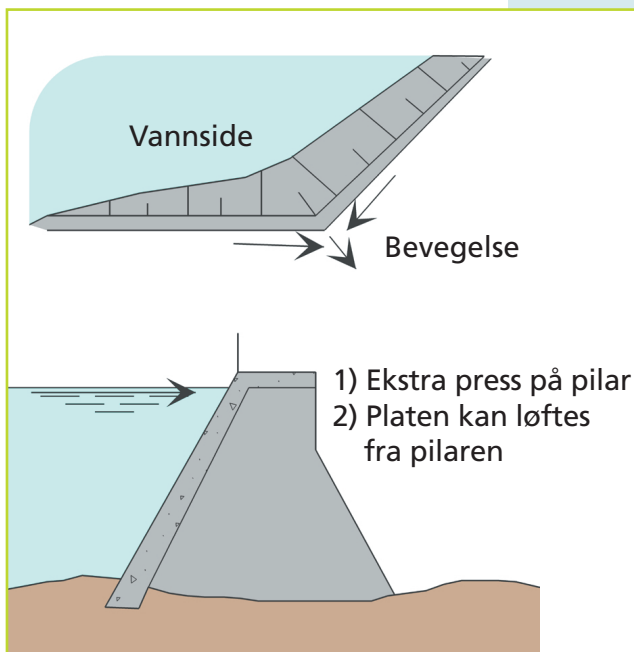
Alkalireaksjoner i platedammer fører til oppsprekking av betongen og ekspansjon som klemmer og skader dilatasjonsfuger. Allerede i en tidlig fase kan det oppstå trykkspenninger i dammens lengderetning når ekspansjonen hindres av innspenning i dammens ender. Dette kan medføre at fuger utsettes for store horisontale trykkspenninger med knusninger og avskalling i kantsonen. I denne prosessen kan også lukeåpninger bli presset sammen og luker kiler seg fast.

Spenninger i dammens lengderetning gir i første fase ingen ugunstige tilleggsspenninger i damplaten. Det kan imidlertid utvikle seg så store lokale trykkrefter ved fugene at en avskalling vil gi svekkelse og økt fare for korrosjonsangrep i dette området. Dersom dammen er lang og det er vinkelendringer i aksen vil det kunne oppstå skadelige forskyvninger ved vinkelpunktet. Dette kan medføre at riss åpner seg og at det oppstår uønskede deformasjoner og krefter mellom plate og pilarer.

Figur 4.5.1:
Alkalireaksjoner gir skader i fuger på grunn av store trykkrefter i dammens lengderetning.



Figur 4.5.2:
Alkalireaksjoner gir spenninger eller glidning i lengderetning av dammen ved vinkelpunkt i damaksen.





4.6 Frostskader

Frostskader gjør seg gjeldende på to måter: enten ved at vann fryser i betongens porestruktur som så fører til at betongen går i oppløsning, eller at vann i sprekker og riss fryser, en prosess som stadig utvider rissene.

Begge typer frostskader starter som overflatefenomen og vil først kunne føre til armeringskorrosjon ved at dekningsjiktet med betong over armeringen skades. Skadene som utvikler seg kan for eldre konstruksjoner være et tegn på at det er benyttet betong med for høyt masseforhold og uten tilsetning av luftinnførende stoffer. Skadene vil da kunne komme på alle utsatte steder av konstruksjonen. For nye konstruksjoner støpt med betong med lavt masseforhold og bruk av luftinnførende stoffer, vil frostskade normalt opptre på betong hvor det har vært en feil i blandingsforholdet. Skadene vil i slike tilfeller være begrenset til områder med dårlig betong.

Frostskader vil kunne føre til armeringskorrosjon når overdekningen smuldrer opp. Redusert overdekning og svekket betong i overdekningssjiktet kan også føre til redusert heft mellom betong og armering. Reduseres betongens fasthet i armeringssonen kan dette føre til brudd.

4.7 Sprekker og riss

Riss vil i første rekke utgjøre en fare for korrosjonsangrep på armeringen og kan være et angrepspunkt for frostskader. Riss som er under 0,3 mm vide er normalt ufarlige for konstruksjonen når det gjelder armeringskorrosjon.

Riss som utvikler seg til sprekker blir et angrepspunkt for korrosjon slik at alle sprekker som krysser hovedarmering på områder hvor denne er utnyttet skal kontrolleres grundig.

Sprekker og riss kan også være et tegn på at konstruksjonen har vært overbelastet.



4.8 Overbelastning

Overbelastning vil for platedammer først og fremst vise seg som en større deformasjon enn ventet eventuelt kombinert med utvikling av synlige riss.

Dersom det ved en inspeksjon skulle observeres tegn som tyder på at konstruksjonen er eller har vært overbelastet må det omgående foretas en nærmere undersøkelse og eventuelt en ny beregning av dammen for å kontrollere hva som kan være årsak til de symptomer som er observert. En overbelastning av en platedam skal betraktes som en alvorlig hendelse.

Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
Volumendring i betongen	Alkalireaksjoner	Konstruksjonselementer utvider seg i alle retninger. I retninger hvor det ikke er frihet til utvidelse vil konstruksjonselementet komme i klemme og bli påført interne spenninger. Disse vil kunne være i en slik størrelsesorden at det oppstår brudd i materialet. Eventuell innspenning vil oftest være langs damaksen og vinkelrett på de spenninger vanntrykket påfører dammen. Normalt vil dette føre til at det oppstår overbelastning med skade i platefugene når de enkelte platefelt presses sammen. Denne overbelastning vil normalt virke avlastende på hovedarmeringen i platen men vil øke betongspenningene. Ved eventuelle retningsendringer i damaksen vil det kunne oppstå spesielle skader alt avhengig av den enkelte dams utforming.
Setning/heving og deformasjon i terrenget ved dammen.	Skade på fundament	Platedammer kan bare fundamenteres på fast fjell og deformasjoner må behandles som en svært alvorlig skade.



Symptom	Årsak	Betydning for anlegget
Deformasjon	Generelt	Platedammer kan ikke oppta varige deformasjoner fra en overbelastning uten at det er umiddelbar fare for sikkerheten.
	Istrykk	Istrykk kan bli vesentlig større enn det dammen er dimensjonert for selv om den er dimensjonert i henhold til damforskriftens krav om islast på 100 kN/m. Istrykk er en korttidslast som opptrer med sin største verdi når et godt etablert isdekke på ca. 1/2m tykkelse varmes opp og ekspanderer. Dersom de konstruksjoner som overbelastes av istrykk kan unngå, forskyves, letter istrykket mot denne konstruksjonen etter en relativt liten forskyvning. Konstruksjonen kan dermed skyves litt i hver gang forholdene ligger til rette for maksimalt istrykk. I sum over mange år kan dette bli en synlig forskyvning Slik forskyvning kan ikke skje uten alvorlig sikkerhetsrisiko for platedammer.
	Ekstrem flom	Ekstrem flom kan gi uforutsette belastninger på spesielt lave deler av en damkonstruksjon. Spesielt dersom det blir overløp som er vesentlig større enn forutsatt kan det i tillegg til økt statisk vannlast også oppstå undertrykk under vannstrålen på overløpet. I uheldig fall vil dette undertrykket være pulserende og påføre konstruksjonen ekstra støtbelastninger. Denne situasjonen er en større sikkerhetsrisiko enn om forskyvningene skyldes istrykk