

NOTAT

OPPDRAAG	DSHP - Forbedret underlag ved klassifisering av dammer	DOKUMENTKODE	418326-RIVass-NOT-001
EMNE	Litteraturstudie	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Energi Norge AS	OPPDRAAGSLEDER	Geir Helge Kiplesund
KONTAKTPERSON	Leif Basberg	SAKSBEHANDLER	Christian Almestad Geir Helge Kiplesund
KOPI		ANSVARLIG ENHET	1087 Oslo Hydrologi

SAMMENDRAG

Dette notatet sammenfatter litteraturstudiet i delprosjektet *Forbedret underlag ved klassifisering av dammer* under Energi Norge sitt prosjekt *Damsikkerhet i Helhetlig Perspektiv*.

00	05.02.2017		GHK/CHA	GHK/CHA	GHK
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Regelverket i Norge	3
2.1	Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven)	3
2.2	Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften).....	3
2.3	Veileder til damsikkerhetsforskriften, klassifisering av vassdragsanlegg.....	5
2.4	Retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger	7
2.5	Retningslinjer for flomberegninger	8
3	Regelverk, retningslinjer og metodikk i andre land.....	8
3.1	Generelt	8
3.2	USA	8
3.2.1	U.S. Bureau of Reclamation (USBR).....	8
3.2.2	Federal Emergency Management Agency (FEMA)	15
3.2.3	U.S. Army Corps of Engineers (USACE)	17
3.3	Canada	19
3.3.1	Canadian Dam Association (CDA)	20
3.3.2	BC Hydro	21
3.4	Australia.....	23
3.4.1	Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD)	23
3.4.2	Government of Queensland	24
4	Annen internasjonal litteratur	25
5	Andre samfunnssektorer i Norge.....	26
5.1	Luftfart	26
5.2	Veitrafikk.....	26
5.3	Samfunnsøkonomiske analyser	26
6	Konklusjon	27
	Referanser	28

1 Innledning

Det har over tid blitt tydelig at måten dagens klassifiseringsregelverk brukes av dameiere, rådgivere og vassdragsmyndighet i en del tilfeller medfører en uheldig feilprioritering i hvor tiltak settes inn og har da også medført visse tilpasninger i blant annet praktiseringen av regelverket for lave fyllingsdammer, men måten dette er gjort på er etter vår mening lite konsekvent og gir generelt et uheldig bilde av hvordan risiko for tredjeperson behandles.

Praksisen mange har hatt med å legge i overkant konservative forutsetninger til grunn for klassifisering er blant annet påpekt av NVE i et informasjonsskriv i 2015 hvor de skriver følgende:

Klassifisering: I utgangspunktet skal det leggest konservative vurderingar til grunn ved klassifisering av vassdraganlegg. Men i nokre tilfelle opplever NVE at eigarar og konsulentar legg ei for konservativ vurdering til grunn ved vurdering av konsekvensar når vatn kjem i kontakt med bustader. Vi minner om at kapittel 3.2.1 i «Veileder for klassifisering av vassdragsanlegg» (side 20) opnar for ei alternativ tilnærming ved vurdering av brotkonsekvensar, under visse føresetnader.

Med dette som bakteppe går vi her gjennom av det norske regelverket for klassifisering av dammer og vassdragsanlegg med et hovedfokus på damsikkerhetsforskriften og veileder for klassifisering.

Videre følger en overordnet presentasjon av regelverk, retningslinjer og praksis innen damsikkerhet og klassifisering av dammer i noen få utvalgte land. Disse landene er valgt ut da de har regelverk som går i den retningen vi ser for oss at det kan være aktuelt å gå, regelverk i en rekke andre land er vurdert underveis men ikke beskrevet videre her. I tillegg presenteres noen utvalgte metoder for estimering av konsekvenser av dambrudd mer inngående.

Vi har i vårt arbeid i utgangspunktet ikke gått detaljert inn i risikoanalysemetodikk da dette er behandlet i et annet delprosjekt av prosjektet Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv og er blant annet beskrevet i [1], vi beskriver likevel i vårt arbeid en del metodikk som er helt eller delvis risikoanalysebasert da dette har relevans i forhold til konsekvensvurdering og damklassifisering.

2 Regelverket i Norge

Vi gir her en kort gjennomgang av damsikkerhetsregelverket i Norge, vi har her ikke gått inn i det historiske regelverket men det vises blant annet til en gjennomgang i rapporten *Forvaltningspraksis ved Norsk damsikkerhet* [2] fra Energi Norge (publikasjonsnr. 316-2011) og en historisk gjennomgang i *Veileder for klassifisering* [3] kap. 1.2.

2.1 Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven)

Damsikkerhetsregelverket i Norge er forankret i Vannressursloven [4] hvor den mest sentrale paragrafen i forbindelse med klassifisering av vassdragsanlegg er §36 som hjemler Vassdragsmyndighetens (det vil si Norges Vassdrags og Energidirektorat) anledning til å gi forskrift for å fremme sikkerhet mot skade på mennesker, miljø og eiendom.

Loven ble vedtatt 24.11.2000 og trådte i kraft 1.1.2001, loven erstattet med noen få unntak Lov om vassdragene (Vassdragsloven) av 1940.

Vannressursloven gir ingen føringer med tanke på klassifisering eller andre detaljer i damsikkerhetsarbeidet og vi går derfor ikke nærmere inn på innholdet i loven.

2.2 Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften)

Etter hjemmel i Vannressursloven som beskrevet over ble det utarbeidet en Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg [5]. Damsikkerhetsforskriften ble vedtatt 18.12.2009 og trådte i kraft 1.1.2010 og erstattet Forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg fra 15.12.2000, Forskrift om

kvalifikasjoner hos den som forestår planlegging, bygging og drift av vassdragsanlegg fra 18.des.2000 og Forskrift om klassifisering fra 18.12.2000.

Det mest sentrale i damsikkerhetsforskriften i denne sammenhengen er kapittel 4 Klassifisering hvor det ligger tre paragrafer, §4-1 Klassifisering, §4-2 Klassifiseringskriterier og §4-3 Dokumentasjon.

§4-1 slår fast at alle vassdragsanlegg skal klassifiseres i en av fem konsekvensklasser fra 0 til 4. Anlegg som har ubetydelige konsekvenser klassifiseres i konsekvensklasse 0 og konsekvensklasse 4 benyttes for anlegg som har de største konsekvensene. Mindre dammer med høyde < 2 meter og har et oppdemt magasinivolum < 0,01 mill. m³ (dvs 10 000 m³) er i utgangspunktet automatisk plassert i klasse 0, merknadene til forskriften påpeker også at disse ikke trenger å meldes til NVE heller. I helt spesielle tilfeller kan NVE benytte §8-2 og plassere et slikt anlegg i en høyere klasse. §4-1 femte ledd går på endringer ved anlegg eller nedstrøms som påvirker klassifiseringen, det påpekes her i merknadene at dette gjelder både endringer som medfører en hevelse av konsekvensklassen og endringer som medfører at årsaken til konsekvensklassen bortfaller eller reduseres, eksempler som er gitt på dette siste er fraflytting og omlegging av veitrasé.

§4-2 beskriver klassifiseringskriteriene. Det er der blant annet påpekt at konsekvensvurderinger skal omfatte både direkte skader og eventuelle følgeskader av bruddvannføring, vannstandsendring eller vannstråle. Merk også at mulige skader oppstrøms må vurderes, dette vil typisk gjelde rasfare langs magasin grunnet hurtig vannstandssenkning. Det er i utgangspunktet den damdelen med størst konsekvenser som skal bestemme konsekvensen.

I fjerde ledd gjengis tabellen nedenfor over bruddkonsekvenser, det påpekes i merknadene at denne er et utgangspunkt for en skjønnsmessig vurdering av de samlede konsekvensene og ikke absolutte grenser. For at et anlegg skal plasseres i en høyere konsekvensklasse enn den som følger av berørte boenheter må summen av konsekvenser være «ekstra store» uten at dette er videre utdypet.

Tabell 2-1: Konsekvensklasser for vassdragsanlegg

Konsekvensklasse	Boenheter	Infrastruktur, samfunnsfunksjoner	Miljø og eiendom
4	>150		
3	21-150	Skade på sterkt trafikkert veg eller jernbane, eller annen infrastruktur, med spesielt stor betydning for liv og helse.	Stor skade på spesielt viktige miljøverdier eller spesielt stor skade på fremmed eiendom.
2	1-20	Skader på middels trafikkert veg eller jernbane eller annen infrastruktur med stor betydning for liv og helse.	Stor skade på viktige miljøverdier eller stor skade på fremmed eiendom.
1	Midlertidig oppholdssted tilsvarende < 1 permanent boenhet	Skader på mindre trafikkert veg eller annen infrastruktur med betydning for liv og helse.	Skade på miljøverdier eller fremmed eiendom.

Femte ledd angir at andre bygninger enn eneboliger og leiligheter skal omregnes til boenheter etter nærmere anvisning i veileder for klassifisering.

Sjette ledd angir at innbygde komponenter og konstruksjoner i et vassdragsanlegg skal følge vassdragsanleggets klasse, dette innebærer blant annet at flomløp følger dammens klasse selv om overløpsdammen i seg selv har svært begrensede konsekvenser. Det angis her at det kan gis dispensasjon fra kravene til dimensjonering mht. til stabilitet og glidning etter §8-2, tilsvarende angis det at en rørgate kan gis ulik klassifisering på forskjellige deler. Dette betyr at selv om hovedregelen er at alle komponenter av et vassdragsanlegg følger den høyeste klassen kan enkeltdele behandles som om de var i en lavere klasse etter en dispensasjonssøknad etter §8-2.

§4-3 angir dokumentasjonskrav for klassifisering. Dette må anses som minimumskrav og vi skal i det videre arbeidet se mer på hvordan klassifiseringsdokumentasjon best kan utarbeides for å bedre kunne dokumentere de sannsynlige konsekvenser ved brudd.

Videre angir § 7-3 krav til utarbeidelse av dambruddsbølgeberegninger for dammer i konsekvensklasse 2, 3 og 4 for beredskapsplanlegging og kontroll med anleggets konsekvensklasse.

Det er også verdt å påpeke at § 7-9 gir NVE anledning til å kreve at eier av dammer i klasse 2, 3 eller 4 etablerer systemer for varsling av mulig berørte personer ved dambrudd.

Videre kan vi nevne at Kapittel 5, og spesielt § 5-7 om flomberegninger, er relevant i klassifiseringssammenheng da flomberegningene bestemmer initialsituasjonen ved dammen og i vassdraget videre nedover og dermed er en sentral del av underlaget for vurderingen av bruddkonsekvenser.

2.3 Veileder til damsikkerhetsforskriften, klassifisering av vassdragsanlegg

Gjeldende veileder for klassifisering av vassdragsanlegg er som før nevnt en veileder til damsikkerhetsforskriftens bestemmelser om klassifisering, denne kom i juni 2014 og er benevnt Veileder nr. 3/2014 Veileder for klassifisering av vassdragsanlegg [3].

Et viktig moment ved klassifisering av vassdragsanlegg som påpekes i veilederen er at det er en ren vurdering av konsekvenser ved brudd uavhengig av sannsynligheten for brudd og at det derfor ikke er mulig å bygge seg til en endret konsekvensklasse. Dvs en rent deterministisk måte å se på damsikkerheten i motsetning til en probabilistisk måte hvor sannsynlighet for ulike bruddmekanismer spiller inn og som igjen kan påvirkes ved fysiske tiltak. Dette er nok en sannhet med modifikasjoner, det kan i en del tilfeller være aktuelt å for eksempel senke flomløp og dermed redusere magasin volum og drivende vanntrykk i bruddåpningen for å redusere nedstrøms skadepotensial. Det er også slik at endringer i skadepotensialet på grunn av endrede forhold ellers i vassdraget, for eksempel omlegging av veier, vil gi grunnlag for revidering av konsekvensklasse slik at det i enkelte tilfeller kan være aktuelt å «bygge» seg ned i damklasse.

Skade på boenheter

Kapittel 3.2.1 går på vurdering av berørte boliger og andre bygninger og steder der mennesker oppholder seg over noe tid. NVE skriver der blant annet følgende:

NVE legger til grunn at boliger eller andre bygninger normalt regnes som berørt dersom vannstanden ved et brudd når inntil grunnmuren eller en vannstråle beregningsmessig når frem til bygningen. For steder der mennesker oppholder seg, er det nok at området blir satt under vann, uten at det nødvendigvis er snakk om høy vannstand. Eksempler på slike steder er campingplasser, festivalområder, badeplasser og fiskeplasser eller andre plasser som er tilrettelagt for at mennesker kan oppholde seg der over noe tid. Bakgrunnen for denne tilnærmingen er at aktuelle beregninger oftest er ganske usikre. NVE mener derfor det er riktig å være konservativ ved optelling av antall berørte boenheter, eventuelt etter en beregning av boenheter etter kapittel 4.5.1.

I spesielle tilfeller, typisk der det foreligger godt kartgrunnlag, beregningsmodellen er god (2D-modell) og stedlige forhold tilsier det, kan det legges en mindre konservativ vurdering til grunn enn angitt ovenfor. I korte vassdrag/beregningsstrekninger vil f.eks. usikkerheten i beregning av vannstander/vannhastigheter være mindre enn i lange vassdrag.

Der vannstandsstigningene og vannhastighetene beregningsmessig blir beskjedne, f.eks. ved oppstuvning og utflyting av vann over et større område, kan omfanget av konsekvenser vurderes å bli mindre omfattende enn om beregningene viser store og raske vannstandsstigninger og store vannhastigheter. Det samme kan gjelde industribygninger/områder der det arbeider kun mennesker som har lett for å evakuere dersom området utsettes for vann med lav hastighet og liten vanndybde. Det er imidlertid viktig å gjøre en konkret vurdering av hva slags bygninger og eventuelt hvilke personer som blir berørt.

Utgangspunktet er en meget konservativ tolkning av formålet med lov og forskrift men som de neste to avsnittene viser er det rom for en mer nyansert fortolkning som i større grad tar hensyn til de mulighetene vi i dag har til å gjøre sikrere beregninger som i større grad gir en reell mulighet til å konkret vurdere risiko for skade eller død for berørte mennesker.

Skade på infrastruktur

Kapittel 3.2.2 Skade på infrastruktur og andre viktige samfunnsfunksjoner går inn på vurderingene rundt skade på for eksempel veier og jernbane men gjelder også annen infrastruktur slik som vannforsyning.

For veier er det to betraktninger som har betydning for klassifiseringen, det ene er risiko for trafikanter og det andre betydningen for liv og helse som transportåre.

Risiko for trafikanter er noe som vil være sterkt avhengig av trafikkmengde (ÅDT) og faktorer som oversiktighet mm. Praksis i dag slik vi har forstått det er at som sterkt trafikkerte veier regnes kun de store innfartsårene inn mot de store byene (eksempelvis E18 inn mot Oslo), middels trafikkerte veier er tungt trafikkerte europaveger og riksveger utenfor de store byene, det er ikke gjort kjent noen konkrete grenser for trafikkmengde for å skille mellom disse. Her bør det etter vårt syn være rom for å gjøre helt konkrete vurderinger rundt risiko for tap av menneskeliv basert på trafikkmengde, vannhastighet, vanndybde, oversvømt areal, hvorvidt bruer kan forventes å bryte osv. I dambruddsbølgeberegninger skal bruer alltid antas å bryte når vannstanden når opp til underkant brudekke, i klassifiseringssammenheng er ikke dette nødvendigvis et realistisk scenario og dette bør konkret vurderes dersom det har betydning for vurderingen av klasse. Dette er noe som kan slå begge veier ettersom det å la ei bru eller en kulvert stå vil også medføre høyere oppstrøms vannstand men det vil gjerne også dempe kulminasjonsvannføringen noe. Fare for brudd på bro medfører en betydelig større risiko for tap av menneskeliv enn oversvømmelse av en vei, det har ikke oss bekjent inntruffet dødsulykker i Norge ved oversvømmelse av vei men det har inntruffet dødsfall på grunn av at ei bro ble vasket bort i stor flom og en bilfører havnet i elva da han ikke så at broa var borte før det var for sent. Internasjonalt finnes det dog nok eksempler på begge slik at problemstillingen ikke kan ses helt bort fra.

Skade på miljø og eiendom samt tap av magasin, produksjon og produksjonsmidler

Med produksjon og produksjonsmidler menes her anlegg for kraftproduksjon, andre produksjonsanlegg faller inn under annen eiendom. NVE mener her at plassering i klasse 3 etter beredskapsforskriften normalt bør tilsi plassering i klasse 2 etter damsikkerhetsforskriften. Tap av magasin som innebærer tap av mer enn 400 GWh skal normalt tilsi minst konsekvensklasse 1. Risiko for egne ansatte på produksjonsanlegg (men ikke i øvrig organisasjon) er for øvrig regulert av arbeidsmiljøloven og skal ikke tas med i vurderingen ift damklassifisering.

Når det gjelder skade på miljø og eiendom vises det i veilederen til merknadene til forskriften hvor det påpekes at det skal tas hensyn til om det kan oppstå uopprettelig skade på fast eiendom og miljøinteresser, hvorvidt skaden er uopprettelig eller ikke er viktig her. Mindre terrengskader grunnet

erosjon fra bruddvannføring skal normalt ikke tilsi høyere konsekvensklasse enn 0. Skader på fremmed eiendom skal ikke inkludere skader på boliger og andre bygg som tas med under beregning av berørte boenheter, dette betyr at fremmed eiendom typisk vil være driftsbygninger, industribygg og lignende hvor det ikke oppholder seg mennesker over noe tid. Det foreligger ingen kriterier for hvordan skade på fremmed eiendom skal vurderes så dette blir en ren vurderingssak. Det bør vurderes om dette i større grad skal kvantifiseres, NVE har blant annet utarbeidet et økonomisk verktøy for å vurdere verdien av flomsikringstiltak og dette er noe som også kunne vært sett på i forbindelse med bruddkonsekvenser. NVE har også fått utført en utredning rundt samfunnsøkonomisk nytte av damsikkerhetsarbeidet, arbeidet er gjort av Oslo Economics AS og er blant annet basert på arbeidet med den samfunnsøkonomiske modellen for flomsikringstiltak. Dette arbeidet er etter hva vi forstår i stor grad ferdigstilt og konkludert men ennå ikke gjort tilgjengelig eksternt. Vi vil tro at dette arbeidet kan utgjøre et godt grunnlag for å gjøre mer konkrete vurderinger av samfunnsøkonomisk kostnad ved dambrudd og vi har derfor ikke gått særlig inn i samfunnsøkonomiske analyser på nåværende tidspunkt.

2.4 Retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger

Dagens retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger [6] er hjemlet i damforskriftens § 7-3 som stiller krav til at det for dammer i konsekvensklasse 2, 3 og 4 skal utarbeides dambruddsbølgeberegninger utført av kvalifiserte fagpersoner innen fagområde V. Gjeldende utgave er versjon 3 datert juni 2009. Dambruddsbølgeberegninger skal danne grunnlag for beredskapsplanlegging og kontroll med anleggets konsekvensklasse.

Denne retningslinjen hadde i utgangspunktet ikke klassifisering som formål men derimot beredskapsplanlegging og retningslinjen er derfor ikke helt i overensstemmelse med de behov vi har ved klassifisering av vassdragsanlegg. Dambruddsbølgeberegninger kan for eksempel avsluttes når vannstandsstigningen blir mindre enn en meter og denne ikke forventes å stige over dette lenger ned i vassdraget, noen slik begrensning finnes ikke i damsikkerhetsforskriften og i Veileder for klassifisering og er nok for høy i forhold til vurdering av skadepotensial, en bruddbølge på en meter kan i en del tilfeller ha et betydelig skadepotensial, i andre tilfeller høyst begrenset. Vi vil i det videre arbeidet komme inn på det vi mener kan være en mer fornuftig nedre grense for bølgehøyde i forhold til klassifisering. Bølgefronten er også definert som der hvor vannstandsstigningen overstiger en meter noe vi flere ganger ser ikke skjer og vi dermed ikke får definert noen bølgefront, det synes mer hensiktsmessig å se på en vannstandsstigning på for eksempel 10 % av maksimal vannstandsstigning.

Dambruddsbølgeberegninger har som nevnt beredskap som hovedformål og det har derfor vært normalt å ta relativt konservative valg i forenklinger av geometri og hydrauliske forhold. Slike forenklinger vil være fornuftige når vi snakker om beredskap og planlegging av evakuering, hvis formålet derimot er klassifisering kan slike forenklinger og i overkant konservative valg slå uheldig ut.

I dambruddsbølgeberegninger forutsettes det en stasjonær tilstand i hele vassdraget med unntak av tilløpet til magasinet, dette er nok en grei forenkling i mange tilfeller men vil i andre tilfeller medføre at det er alt for mye vann totalt sett i elvesystemet og vi kan ende i en situasjon som er lite realistisk og dermed ikke godt egnet for å vurdere reell risiko for tredjeperson ved et eventuelt dambrudd.

Retningslinjene legger opp til at to bruddscenarier modelleres, et «godværsbrudd» med middelflom som initialsituasjon og hvor det for fyllingsdammer antas et rørbrudd og et ekstremflombrudd hvor initialsituasjonen er Q_{dim} og fyllingsdammer antas å bryte som overtoppingsbrudd. Det er slik vi kan se det ingen spesielle grunner for at middelflom skal være en spesielt realistisk initialsituasjon for et helt uventet godværsbrudd og det kan argumenteres for at middelvannføring gir mer mening statistisk sett men ved å bruke middelflom får man en noe mer konservativ konsekvensvurdering og vi antar det var begrunnelsen bak dette. Valget av Q_{dim} som ekstremcase virker også noe tilfeldig all den tid alle dammer over klasse 0 skal tåle en ulykkesflom ($1,5 \cdot Q_{dim}/PMF$).

2.5 Retningslinjer for flomberegninger

Dagens retningslinjer for flomberegninger [7] er hjemlet i damforskriftens § 5-7 som stiller krav til at det for dammer i konsekvensklasse 1, 2, 3 og 4 skal utarbeides flomberegninger utført av kvalifiserte fagpersoner innen fagområde IV og evt V. Gjeldende utgave er datert oktober 2011.

Flomberegningene legger en del av grunnlaget for klassifiseringen da disse gir initialvannstanden i magasinet og tilstanden i resten av vassdraget, men det er som regel nødvendig å gjøre en del tilleggsberegninger for å finne flomvannføringer for resten av vassdraget, spesielt middelflom som gjerne ikke er rutet gjennom magasinet heller. Dameiere som skal få utført både flomberegninger og dambruddsbølgeberegninger kan med fordel ha dette i tankene ved bestilling av flomberegninger da det normalt vil være vesentlig mer rasjonelt for konsulenten som utarbeider flomberegningene å også simulere en middelflom enn det vil være for en annen konsulent som senere skal utarbeide en dambruddsbølgeberegning.

En lite utnyttet mulighet er at det gis anledning til å avvike fra HRV som initialtilstand for flomberegningen i tilfeller der dette er en helt usannsynlig initialbetingelse, typisk store høyfjellsmagasiner forut for vårflommen, dette kan resultere i at det er flom på en annen tid av året som gir dimensjonerende flomvannstand.

3 Regelverk, retningslinjer og metodikk i andre land

3.1 Generelt

For en mer omfattende oversikt over regelverk i ulike land vises blant annet til rapporten forvaltningspraksis ved norsk damsikkerhet [2] fra Energi Norge, Regulation of Dam Safety: An overview of current practice world wide [8] fra ICOLD og Flood Evaluation and Dam Safety [9] også fra ICOLD, begge ICOLD rapportene er preprint. Vi har her gått mer inn på regelverk i noen få utvalgte land som har regelverk med elementer vi ønsker å se på i vårt videre arbeid, dette gjelder både metoder, verktøy og datagrunnlag. Videre finnes det en stor mengde litteratur på de tema vi her ser på som ikke er direkte knyttet til regelverk som er i bruk i dag, vi har tatt med noen få utvalgte slike referanser også.

3.2 USA

I USA eksisterer det per dags dato ca 90 000 dammer. Mesteparten av disse har private eiere, men de aller største dammene eies og reguleres av føderale byråer. Totalt er det vurdert at ca. 27 400 av dammene kan føre til skade på eiendom og potensielt tap av liv ved et dambrudd. Omtrent 15 500 av disse igjen er vurdert til å ha et høyt skadepotensial ved et dambrudd. ([USACE National Inventory of Dams](#)).

Det finnes ikke noen overordnet myndighet eller organ som har ansvar for utvikling av lovverk, retningslinjer, veiledere og programmer for damsikkerhet i USA. Som et resultat finnes det en myriade av lovverk, retningslinjer, klassifiseringssystemer utviklet føderale og statlige myndigheter. Rapporten «Summary of Existing Guidelines for Hydrologic Safety of Dams» fra 2012 oppsummerer lovverk og retningslinjer hos samtlige føderale og statlige myndigheter i USA. I delkapitlene nedenfor presenteres retningslinjer, klassifiseringssystem og metodikk hos noen utvalgte myndigheter, byråer og kraftselskap i USA.

3.2.1 U.S. Bureau of Reclamation (USBR)

USBR ble etablert i 1902 og er per dags dato USAs største grossist innen vannrelaterte tjenester. Selskapet eier dammer, vannkraftverk, kanaler og irrigasjons – og vannforsyningsanlegg i 17 vestlige stater, og har vært en stor bidragsyter til den økonomiske veksten på vestkysten. USBR har bygget

mer enn 600 dammer og er USAs andre største produsent av vannkraft med en portefolio på 53 vannkraftverk.

Klassifiseringssystem og retningslinjer

USBR jobber kontinuerlig med å forvalte, utvikle og beskytte vann og relaterte ressurser på et miljømessig og økonomisk bærekraftig vis. USBR er kjent for å være en verdensledende aktør innen bruk og utvikling av risikobaserte metoder for damsikkerhet, og har publisert en rekke viktige retningslinjer for risikoanalyser innen damsikkerhet som blant annet:

1. Implementation of Risk Analysis Principles into the Bureau of Reclamation's Dam Safety Program Actions (1998)
2. A Framework for Characterizing Extreme Floods for Dam Safety Risk Assessment (1999)
3. Risk Based Profiling System (2000)
4. Guidelines for Achieving Public Protection in Dam Safety Decision-making (2003)
5. Guidelines for Evaluating Hydrologic Hazards (2006)
6. Dam Safety Risk Analysis Best Practices Training Manual (2010)

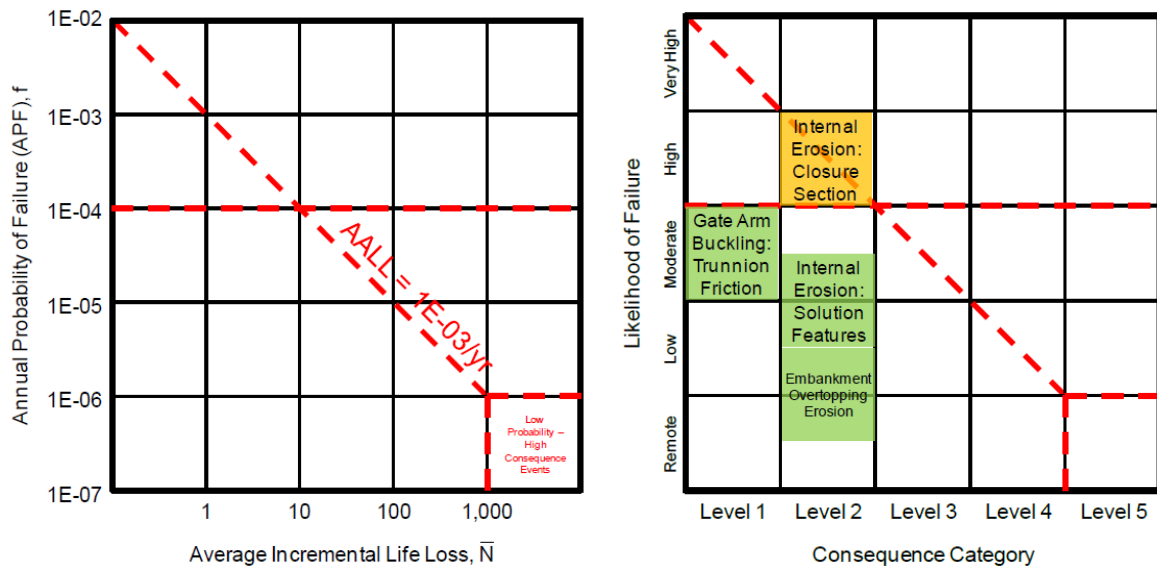
USBRs «*Guidelines for Achieving Public Protection in Dam Safety Decision-making*» gir retningslinjer for å analysere og skildre risiko for damsikkerhet, samt retningslinjer for prioritere, håndtere og redusere risiko. Retningslinjene er basert på og aksepterer det faktum at det er umulig å fjerne risikoen for dambrudd fullstendig, og gjelder for dammer som tilhører kategoriene «significant hazard» og «high hazard». Beskrivelse av disse kategoriene er vist i Tabell 3-1.

Tabell 3-1: Beskrivelse av klasser ihht USBR

Hazard Potential	Forklaring
High	A dam where failure or mis-operation will probably cause loss of human life.
Significant	A dam where failure or mis-operation results in no probable loss of human life but can cause economic loss, environmental damage, disruption of lifeline facilities, or can impact other concerns. Significant hazard potential classification dams are often located in predominantly rural or agricultural areas but could be located in areas with population and significant infrastructure.

For at dammer skal ha et tilfredsstillende minimumsnivå av sikkerhet anbefaler retningslinjene at to krav opprettholdes: 1. *Årlig sannsynlighet for dambrudd på maksimum 0,1 promille*. 2. *Årlig forventet tap av liv på maksimum 0,001* [10]. Årlig sannsynlighet for dambrudd er her den akkumulerte sannsynligheten fra den individuelle årlige sannsynligheten til hver mulige bruddform. Anbefalingene er ikke rigide krav, men må heller sees på som anbefalinger. USBR benytter matriser som et verktøy for å illustrere risiko forbundet med damsikkerhet. Figur 3-1 viser to eksempler på risikomatriser der de stiplede horisontale og diagonale linjene representerer henholdsvis retningslinjenes anbefaling nr. 1 og 2.

Matrisen til høyre i Figur 3-1 viser et eksempel av en risikoanalyse for en spesifikk dam. Sammen med et definert akseptabelt risikonivå kan risikomatriser benyttes til f.eks. å bestemme dimensjonerende tilløpsflom og andre designkriterier for en damkonstruksjon.



Figur 3-1: Eksempel på bruk av risikomatrix ved vurdering av konsekvenser av dambrudd [10]

Anbefalt metodikk for risikoanalyser innen damsikkerhet er samlet i USBRs «*Dam Safety Risk Analysis Best Practices Training Manual*» fra 2010. Dette er omfattende samling av over 40 kapitler som dekker mange forskjellige temaer innen risikoanalyser ved damsikkerhet, alt fra analyse av hydrologisk fare og estimering av tap av liv til analyse av seismisk risiko og svikt av luker. Denne manualen vurderes av USBR til å representere deres nåværende beste metodikk for estimering av risiko knyttet til damsikkerhet. Blant kapitlene i manualen er det fire som er spesielt interessante for klassifisering av dammer og estimering av konsekvenser ved dambrudd:

- II-1 Reservoir and River Stage Exceedance Probabilities
- II-2 Probabilistic Hydrologic Hazard Analysis
- III-1 Consequences of Flooding
- I-4 Semi-Quantitative Risk Analysis

I kapittel I-4 presenteres det en kategorisering av dammer basert på konsekvensene ved dambrudd. Kategoriseringen legger hovedvekt på tap av liv, men tar også hensyn til økonomiske og miljømessige konsekvenser. Tabell 3-2 viser kategoriene som også er illustrert grafisk på x-aksen i matrisen til høyre i Figur 3-1.

Tabell 3-2: USBR konsekvenskategorier for dambrudd [10]

Konsekvenskategori	Forklaring
Level 0	No significant impacts to the downstream population other than temporary minor flooding of roads or land adjacent to the river.
Level 1	Downstream discharge results in limited property and/or environmental damage. Although life-threatening releases occur, direct loss of life is unlikely due to severity or location of the flooding, or effective detection and evacuation.
Level 2	Downstream discharge results in moderate property and/or environmental damage. Some direct loss of life is likely, related primarily to difficulties in warning and evacuating recreationists/travelers and small population centers (incremental life loss in the range of 1 to 10).
Level 3	Downstream discharge results in significant property and/or environmental damage. Large direct loss of life is likely, related primarily to difficulties in warning and evacuating recreationists/travelers and smaller population centers, or difficulties evacuating large population centers with significant warning time (incremental life loss in the range of 10 to 100).

Level 4	Downstream discharge results in extensive property and/or environmental damage. Extensive direct loss of life can be expected due to limited warning for large population centers and/or limited evacuation routes (incremental life loss in the range of 100 to 1,000).
Level 5	Downstream discharge results in extremely high property and/or environmental damage. Extremely high direct loss of life can be expected due to limited warning for very large population centers and/or limited evacuation routes (incremental life loss greater than 1,000).

Kapittel III-1 forklarer ulike metoder og verktøy utviklet forskjellige kraftselskap og myndigheter som benyttes for estimering av konsekvenser av dambrudd. Flere av disse metodene beskrives i forskjellige delkapitler. Som vi kan se av tabellen over er klassifiseringen ganske tilsvarende den inndelingen vi bruker i Norge selv om de konkrete grensene mellom de ulike klassene er forskjellige, i tillegg har USBR introdusert en klasse med ekstremt store konsekvenser med forventet tap av liv større enn 1000.

Metodikken for estimering av konsekvenser ved dambrudd

Flere metoder og verktøy for å estimere konsekvensene ved dambrudd brukes og har vært brukt i USBR og nedenfor beskrives noen av disse.

DSO-99-06-metoden

I september 1999 publiserte USBR rapporten «*A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure*», DSO-99-06, som i etterkant har blitt en populær og godt brukt metode for estimering av tap av liv ved dambrudd. Metoden er basert på en analyse av tilfeller av dambrudd og flomhendelser i USA. Totalt inkluderer grunnlagsdataene for metodikken alle dambrudd som forårsaket mer enn 50 dødsfall, alle dambrudd i USA mellom 1960 til 1998 som førte til ett eller flere dødsfall, samt en rask analyse av mer enn 400 dambrudd i USA som inntraff mellom 1985 og 1994.

Metoden antas å være velegnet for dammer med en høyde opptil ca. 30 meter med et magasinivolum opptil ca. 62 millioner m³. For større dammer ansees metoden som mindre presis da datagrunnlaget er svært begrenset for større dammer. Metodikken introduserer flere sentrale begrep:

«**People at risk**» (**PAR**) er definert som antall personer som befinner seg innenfor en potensiell dambruddssonen før varsel om dambrudd utsendes eller nedstrøms evakuering iverksettes. PAR er sterkt avhengig av flere faktorer som type bygg, variasjon i befolkning avhengig sesonger og årstid, befolkningstetthet, bruddbølgens karakteristikk og m.m. Ved estimering av PAR er det anbefalt å dele inn dambruddssonen inn i flere delsoner basert på de ovennevnte parameterne.

«**Flood severity**» (**DV**) er et mål på bruddbølgens skadepotensial og er definert som gjennomsnittlig flomdybde (D) x vannhastighet (V) [m²/s]. Deles inn i tre kategorier: lav, middels og høy. Lavt skadepotensial (DV < 4,6) er når ingen hus skylles vekk fra fundamentet og de fleste bygg opplever en flomdybde generelt lavere enn 3 meter. Middels skadepotensial (DV > 4,6) er når bygg ødelegges av bruddbølgen, men det er likevel mulig å søke skjul. Her opplever de fleste bygg en flomdybde høyere enn 3 meter. Høyt skadepotensial defineres som når bruddbølgen river med seg alt som er av bygg og etterlater et renvasket område.

«**Rate of rise**» eller stigehastighet er et mål på hvor hurtig vannspeilet stiger i det bruddbølgens passerer. Ved vurdering av DV er det viktig å vurdere denne i sammenheng med stigehastigheten. DSO-99-06 deler også inn stigehastighet i tre kategorier: lav (mindre enn 0,5 cm i minuttet), middels (flere titalls cm i minuttet) og høy (over 0,7 meter i minuttet). Ved middels stigehastighet er det fortsatt mulig for folk flest å evakuere, men ved høy er det uoverkommelig for de fleste å evakuere.

«**Fatality rate**» eller dødelighetsrate er et mål på prosentandelen av PAR innenfor dambruddssonen som forventes å miste livet. Dødelighetsratene i DSO-99-06 er basert på data fra 40 flomhendelser der mesteparten var forårsaket av dambrudd. Valg av dødelighetsrater avhenger av tre parametere:

bruddbølgens skadepotensial, varslings tid og forståelsen til PAR av bruddbølgens skadepotensial. Tabell 3-3 viser de anbefalte dødelighetsratene til DSO-99-06.

Tabell 3-3. Dødelighetsrater basert på casestudier [11]

Flood Severity	Warning Time (minutes)	Flood Severity Understanding	Fatality Rate (Fraction of people at risk that died)	
			Average	Range
HIGH	no warning	not applicable	0.76	0.3 to 1.00
	15 to 60	vague	No case fit this category.	
		precise	No case fit this category.	
	more than 60	vague	No case fit this category.	
precise		No case fit this category.		
MEDIUM	no warning	not applicable	0.14	0.02 to 0.43
	15 to 60	vague	0.014	only one case
		precise	0.01	only one case
	more than 60	vague	0.05	only one case
precise		0.035	0.0 to 0.080	
LOW	no warning	not applicable	0.007	0.0 to 0.025
	15 to 60	vague	0.0095	0.007 to 0.012
		precise	0.0	only one case
	more than 60	vague	No case fit this category	
precise		0.0003	0.0 to .002	

Beregning av tap av menneskeliv med DSO-99-06-metoden består av 11 trinn:

1. Velge scenario for dambrudd
2. Velge tidskategori (årstid og tid på døgnet)
3. Evaluere nedstrøms oversvømte områder som følge av dambruddet
4. Estimere PAR innenfor dambruddssone
5. Estimer tidspunkt for iverksetting av nedstrøms varslings tid av dambrudd
6. Evaluer varslings tid for nedstrøms PAR
7. Vurder hvor godt flommens skadepotensial er forstått av nedstrøms PAR
8. Estimer antall PAR innenfor de tre kategoriene for DV
9. Velg passende dødelighetsrate for forskjellige delsoner
10. Estimer tap av liv basert på PAR og dødelighetsrater
11. Vurder hvordan usikkerheter i beregningene påvirker estimerte tap av liv

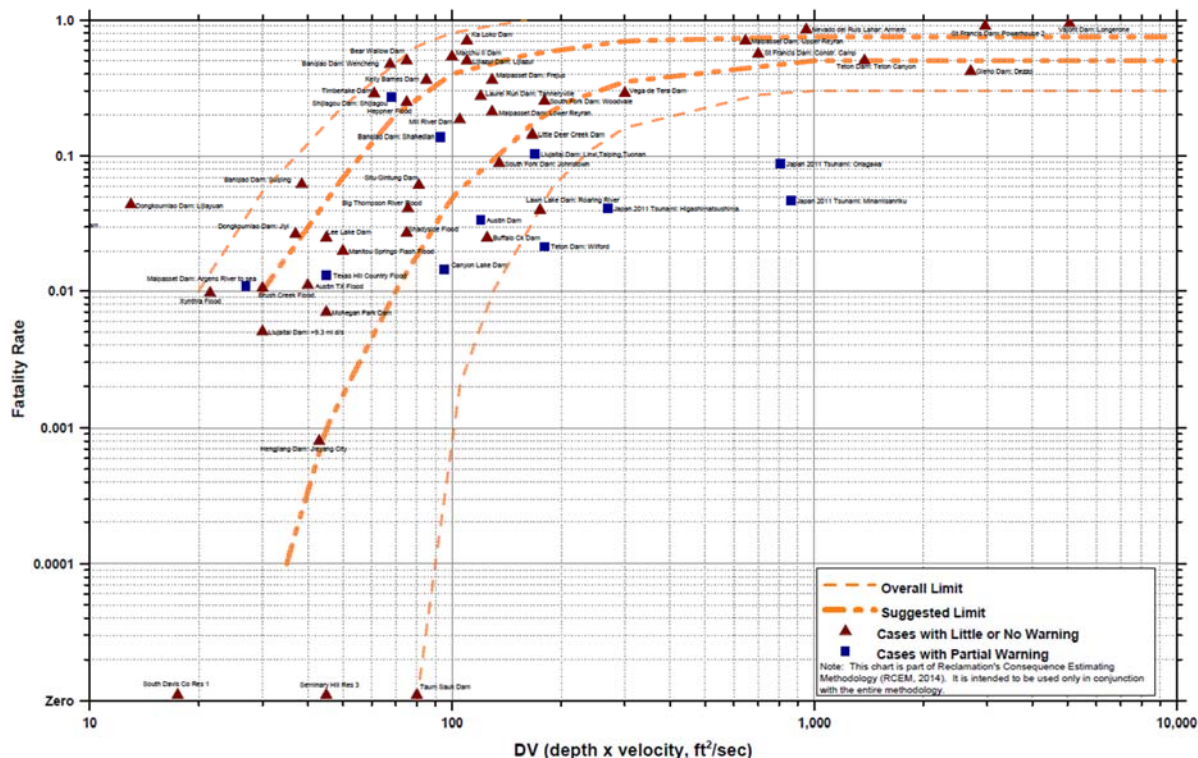
USBR anbefaler at for et gitt scenario skal estimert tap av liv presenteres heller som et intervall enn én enslig verdi for å gjenspeile usikkerheten i resultatene. Usikkerheten kan i hovedsak deles inn i tre kategorier: naturlig variabilitet, usikkerhet i kunnskapsgrunnlag og usikkerhet i modell for beslutninger.

RCEM

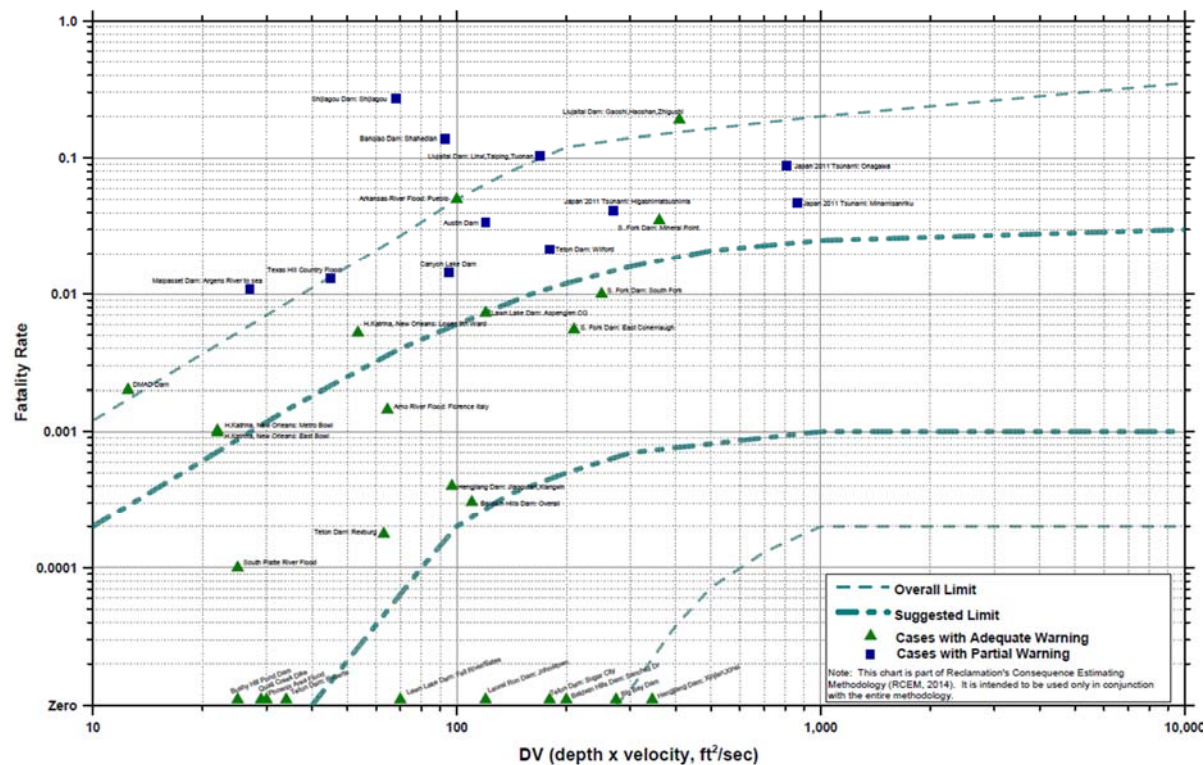
I 2014 lanserte USBR «*Reclamation Consequence Estimating Methodology*» (RCEM) som er en videreføring og forbedring av DSO-99-06 [12]. Metoden bygger på samme prinsipper med retningslinjer for estimering av tap av liv basert på empiriske data fra casestudier av dambrudd, men datagrunnlaget er utvidet med flere dambrudd fra flere deler av verden. Totalt inkluderer datagrunnlaget til RCEM 50 % flere dambrudd enn DSO-99-06. Metodisk er RCEM relativt lik DSO-99-06. Forskjellen mellom metodene ligger hovedsakelig i fremstillingen av dødelighetsratene.

I motsetning til DSO-99-06 som benytter en tabulert fremstilling av dødelighetsratene benytter RCEM en grafisk fremstilling av dødelighetsratene. I tillegg er parameteren «PARs forståelse av bruddbølgens skadepotensial» fjernet da denne er svært subjektiv og tilnærmet umulig å kvantifisere. RCEM argumenter med at metodikken tar implisitt hensyn til denne forståelse av bruddbølgens skadepotensial i parameteren varslings tid. Videre er inndelingen av DV i tre kategorier

fjernet, men heller benyttet til å identifisere et større spekter av dødelighetsrater hvor en basert på et spesifikt case kan velge en mer passende dødelighetsrate.



Figur 3-2. Dødelighetsrater vs. DV – ingen til liten varsling [12]



Figur 3-3. Dødelighetsrater vs. DV - delvis til adekvat varsling [12]

Figur 3-2 og Figur 3-3 viser RCEMs grafiske fremstilling av anbefalte dødelighetsrater som funksjon av DV og grad av varsling. Figurene viser både et forslått intervall, samt øvre og nedre grense for valg av dødelighetsrater.

RCEM følger tilnærmet samme den trinnvise prosedyren DSO-99-06, men trinn 7 er fjernet og rekkefølgen av trinnene er noe endret. Som ved DSO-99-06 anbefaler også RCEM å dele inn dambruddsonen inn i delsoner basert på forskjellige nivåer av DV, områder med varierende PAR og varslingstid.

Metoden krever en del mer subjektive vurderinger ved valg av dødelighetsrater sammenlignet med DSO-99-06 og USBR anbefaler generelt i stor grad å sammenligne dambruddet som vurderes med dambruddene i datagrunnlaget. Ved tilfeller der karakteristikken til dambruddet som analyseres har mange likheter med et av dambruddene i datagrunnlaget anbefales det å benytte dødelighetsraten fra denne casen som et startpunkt. Selv om metoden krever noe mere subjektive vurderinger er den vurdert til å representere en betydelig forbedring fra DSO-99-06 [12].

Flood Comparison Method

I 2007 utviklet URS Corporation Inc. et dataverktøy for risikoprioritering ved damsikkerhet på bestilling av FEMA. Hensikten med verktøyet er å bistå statlige dameiere med å estimere og prioritere risiko knyttet til damsikkerhet. I 2008 lanserte FEMA brukermanualen til dataverktøyet som inkluderer en foreslått metode for estimering av tap av liv ved dambrudd som ble kalt *Flood Comparison Method* utviklet av USBR.

Flood Comparison Method baserer seg akkurat som DSO-99-06 og RCEM på empiriske data fra en analyse av en rekke dambrudd i USA, og er utviklet med mål om å være enkel å bruke for å sammenligne estimert tap av liv for en portefølje av dammer. Metoden er best egnet ved dambrudd med ingen varsling av nedstrøms PAR, og må benyttes med forsiktig for dammer med et magasinivolum større enn ca. 6,2 millioner m³ [13].

Dødelighetsrater er presentert for tre strekninger (0-3 miles, 3-7 miles og 7-15 miles) nedstrøms dambruddet som en funksjon av forholdet mellom kulminasjonsvannføringen til dambruddet og 10-årsflommen Q_{maks}/Q_{10} .

Tabell 3-4: Dødelighetsrater i henhold til Flood Comparison Method [13]

Ratio of Peak Discharge from Dam Failure to 10-year Flood Peak Discharge	Fatality Rate (Percentage of people [prior to any evacuation] within the dam failure flood plain who would likely die as a result of dam failure)		
	From mile 0.0 to mile 3.0	From mile 3.0 to mile 7.0	From mile 7.0 to mile 15.0
More than 100	0.75	0.50	0.37
50 to 100	0.50	0.33	0.25
30 to 50	0.25	0.20	0.13
20 to 30	0.20	0.15	0.10
10 to 20	0.10	0.08	0.05
5 to 10	0.02	0.015	0.01
3 to 5	0.01	0.007	0.005
1 to 3	0.005	0.003	0.002
Less than 1	0.001	0.0001	0.000

Akkurat som DSO-99-06 og RCEM består metoden av flere deltrinn som innebærer blant annet valg av scenario, vurdering av dambruddssonen, estimering av nedstrøms PAR og valg av dødelighetsrater for estimering av tap av liv innen hver delstrekning. Flood Comparison Method kan sees på som en forenkling av DSO-99-06 og RCEM som er ment for å gjenspeile et worst-case scenario for dødsfall forårsaket av dambrudd. Siden metoden er såpass enkel i sin helhet anbefales den benyttet kun for indikasjon på tap av liv som følge av dambrudd [13].

3.2.2 Federal Emergency Management Agency (FEMA)

FEMA ble stiftet i 1979 og ble i 2003 underlagt U.S. Department of Homeland Security (DHS). FEMA koordinerer de føderale myndighetenes arbeid med å forberede og forebygge menneskeskapt og naturkatastrofer, samt redusere konsekvenser og gjenopprette infrastruktur og viktige samfunnsfunksjoner i etterkant av katastrofer.

Klassifiseringssystem og retningslinjer

Arbeid med damsikkerhet er en stor del av virksomheten til FEMA og FEMA har utviklet flere retningslinjer innen damsikkerhet for føderale dameiere som inkluderer blant annet:

- Federal Guidelines for Dam Safety
- Hazard Potential Classification System of Dams
- Earthquake Analyses and Design of Dams
- Selecting and Accommodating Inflow Design Flood for Dams
- Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures
- Emergency Action Planning for Dam Owners
- Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management

Tabell 3-5 viser FEMA's system for klassifisering av dammer som delers dammer inn i tre kategorier basert på deres farepotensial for områdene nedstrøms dammen: lavt, signifikant og høyt. Farepotensialet defineres som de *inkrementelle* konsekvensene for menneskeliv, eiendom, andre økonomiske verdier og miljø ved et potensielt dambrudd eller som følge av feilaktig eller uaktsom drift av damanlegget. Med inkrementelle konsekvenser menes differansen i konsekvenser under de samme initialbetingelsene, dvs. ved et dambrudd under en 1000-årsflom telles kun skadene som inntreffer utover det som allerede skyldes 1000-årsflommen. Som tabellen viser legger systemet størst vekt på tap av liv. En dam havner umiddelbart i høyeste klasse hvis det er forventet fare for tap av ett liv eller flere.

Tabell 3-5. FEMA klassifiseringssystem for dammer [14]

Hazard Potential Classification	Loss of Human Life	Economic, Environmental, Lifeline Losses
Low	None expected	Low and generally limited to owner
Significant	None expected	Yes
High	Probable. One or more expected	Yes (but not necessary for this classification)

Klassifiseringssystemet tar ikke hensyn til «usannsynlig» tap av liv. Usannsynlig tap av liv er her definert som personer vanligvis ikke oppholder seg i områdene nedstrøms en dam, men som tilfeldigvis skulle befinne seg innenfor faresonen ved et dambrudd. Dette kan f.eks. være tilfeldige forbi passerende turgåere som ikke overnatter innenfor faresonen.

I henhold til FEMA's retningslinjer for klassifisering skal dammens klasse bestemmes ut i fra det scenariet ved dambrudd eller feilaktig og/eller uaktsomdrift som fører til de *største inkrementelle* konsekvensene. Scenarier skal velges fornuftig basert på sannsynlige hendelser og være i overensstemmelse med retningslinjene for bestemmelse av dimensjonerende tilløpsflom for dammer. I disse retningslinjene presiserer FEMA at én enkelt metodikk ikke nødvendigvis er riktig for bestemmelse av dimensjonerende tilløpsflom for tusenvis av forskjellige dammer som representerer mange unike situasjoner.

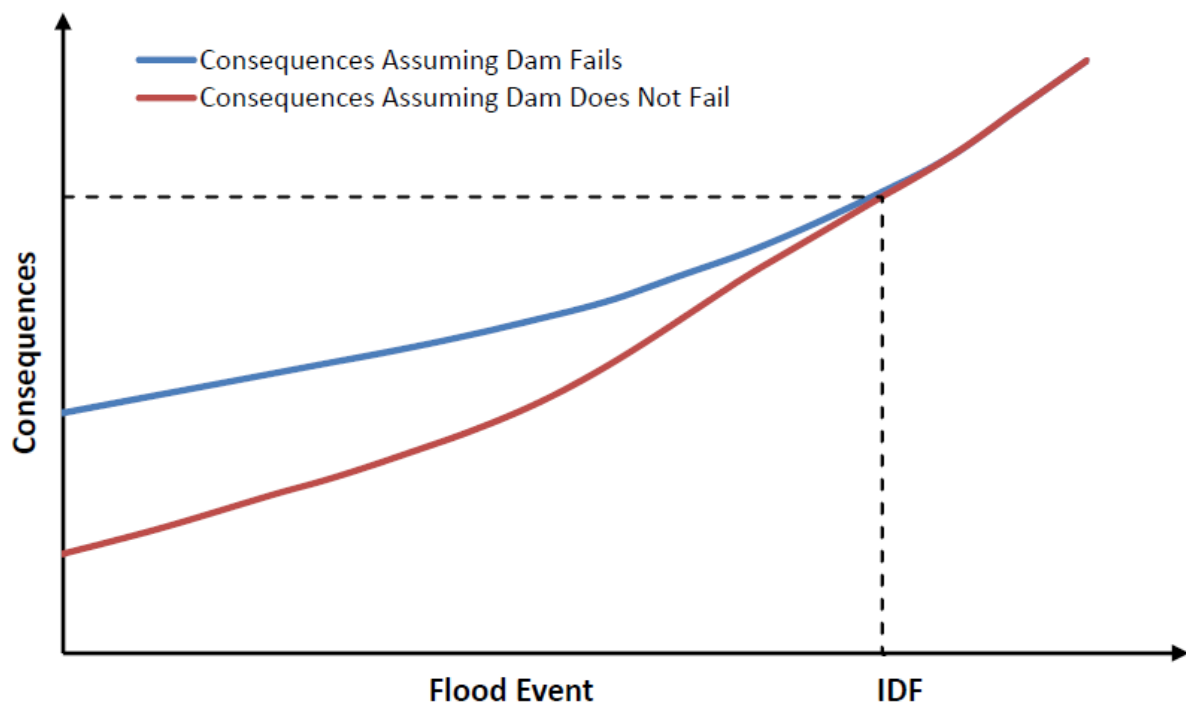
FEMA anbefaler tre prinsipielt forskjellige tilnærminger for bestemmelse av dimensjonerende tilløpsflom for å tilpasse en stor variasjon i mulige situasjoner og tilgjengelige ressurser. Første alternativ er å velge dimensjonerende tilløpsflom basert på dammens klassifisering. Tabell 3-6 viser FEMA's anbefaling til valg av dimensjonerende tilløpsflom basert på dammens klassifisering.

Tabell 3-6. Krav til dimensjonerende tilløpsflom for dammer basert på farepotensial [15]

Hazard Potential Classification	Definition of Hazard Potential Classification	Inflow Design Flood
High	Probable loss of life due to dam failure or misoperation (economic loss, environmental damage, or disruption of lifeline facilities may also be probable, but are not necessary for this classification)	PMF
Significant	No probable loss of human life but can cause economic loss, environmental damage, or disruption of lifeline facilities due to dam failure or misoperation	0.1% Annual Chance Exceedance Flood (1,000-year Flood)
Low	No probable loss of human life and low economic and/or environmental losses due to dam failure or misoperation	1% Annual Chance Exceedance Flood (100-year Flood) or a smaller flood justified by rationale

For dammer klassifisert med signifikant og høyt skadepotensial er det anledning til å benytte en lavere tilløpsflom enn angitt i tabellen hvis dette begrunnes med risikoanalyser. FEMA anbefaler likevel at det ikke benyttes dimensjonerende flomvannføring lavere enn henholdsvis Q_{100} og Q_{500} for signifikant og høyt skadepotensial.

Andre alternativ er en *inkrementell konsekvensanalyse* der målet er å finne den tilløpsflommen som resulterer i null inkrementelle konsekvenser ved et dambrudd. Figur 3-4 viser en grafisk fremstilling av prinsippet ved en inkrementell konsekvensanalyse. Det er ikke anbefalt å sammenligne nedstrøms konsekvenser med uten dam ved en slik analyse.



Figur 3-4. Eksempel på inkrementell konsekvensanalyse [15]

Siste alternativ er en mer ressurskrevende *risikoanalyse av hydrologisk fare*. Dette er en full vurdering av sannsynlighetene for at ulike hydrologiske hendelser skal inntreffe, dammens respons/oppførsel under disse hendelsene, samt en detaljert vurdering av potensielt tap av liv og økonomiske og

miljømessige konsekvenser knyttet til hver mulige hendelse. Denne metoden krever fullstendig vurdering av alle hydrologiske lastsituasjoner and sannsynlige bruddmekanismer knyttet til konsekvensene av dambrudd ved hver lastsituasjon. FEMA beskriver metoden i syv trinn:

1. **Etablere hydrologisk farekurve:** Kurve som viser kulminasjonsvannføring og/eller flomvolum for forskjellige varigheter versus hendelsens gjentaksintervall.
2. **Bestemme hydrologiske laster:** Baseres på farekurven. Hydrologisk last for samtlige kulminasjonsvannføringer, flomvolum og magasin vannstander versus hendelsens gjentaksintervall.
3. **Identifisere potensielle bruddmekanismer:** Potensielle bruddmekanismer som følge av de identifiserte uheldige lastsituasjonene. Overtopping, erosjon, kavitasjon, svikt av mekaniske komponenter (f.eks luker).
4. **Vurdere sannsynligheten til bruddmekanismene:** Sannsynlighet for at et visst scenario for dambrudd vil inntreffe under et spesifikk sett av hydrologiske omstendigheter.
5. **Estimere konsekvenser av dambrudd for hver bruddmekanisme:** Potensielt tap av liv, økonomiske og miljømessige konsekvenser.
6. **Kvantifisere risiko for damsikkerhet knyttet til hver sannsynlige bruddmekanisme:** Vurdere hendelsesforløp for hver situasjon som kan føre til et dambrudd og estimere risiko. Risiko beregnes som produktet av sannsynlighet for hydrologisk last, sannsynliget for dambrudd ved denne lasten og konsekvensene gitt at et dambrudd inntreffer.
7. **Valg av dimensjonerende tilløpsflom:** Sammenligne estimert risiko for forskjellige hydrologiske hendelser med akseptert risikonivå og retningslinjer for risikohåndtering.

Ved en slik analyse påpeker FEMA at det er svært viktig å beskrive usikkerhetene knyttet til resultatene fra analysen. Valget av dimensjonerende tilløpsflom skal være konservativt om det er knyttet stor usikkerhet til resultatene.

Metodikk for estimering av konsekvenser ved dambrudd

Så vidt det er forfatterne kjent har FEMA selv ikke utviklet noe metodikk for estimering av tap av liv og andre konsekvenser ved dambrudd. I rapporten «Dams Sector – Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios» fra 2011 beskriver FEMA inngående flere metoder for estimering av tap av liv forårsaket av dambrudd. Disse inkluderer blant annet DSO-99-06, RCEM og Flood Comparison Method som beskrevet i tidligere delkapitler.

3.2.3 U.S. Army Corps of Engineers (USACE)

USACE er et føderalt byrå organisert under Department of Defense med et personell på tilnærmet 37 000 soldater og sivile som leverer ingeniørkunnskap, design og byggeledelse innen en rekke disipliner. Per dags dato eier, drifter og vedlikeholder USACE ca. 700 dammer og står for ca. 24 % av vannkraftproduksjonen i USA. USACE er ofte assosiert med dammer, kanaler og flomsikring, og har blant annet utviklet kjent programvare som det hydrauliske modelleringsystemet HEC-RAS.

Retningslinjer og klassifiseringssystem

Damsikkerhet står for en stor del av aktiviteten til USACE som har utviklet et eget damsikkerhetsprogram. USACE er sammen med USBR en av de største bidragsyterne innen utvikling av metodikk for risikoanalyser ved damsikkerhet, og har publisert en rekke viktige rapporter innen temaet inkludert blant annet:

- Risk Analysis for Dam Safety Evaluation: Hydrologic Risk (1996)
- Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction Studies, EM 1110-2-1619 (1996)
- Hydrologic Research Needs for Dam Safety (2001)
- Application of Paleohydrology to Corps Flood Frequency Analysis (2003)
- Updated Principles for Risk Analysis (2007)

- Draft Inflow Hydrographs Toolbox (2007)
- Interim Tolerable Risk Guidelines for US Army Corps of Engineers Dams (2009)
- Safety of Dams – Policy and Procedures, ER 1110-2-1156 (DRAFT) (2010)

USACE opererer med to systemer for klassifisering dammer basert på både størrelse (damhøyde og magasinivolum) og skadepotensial. Disse to klassifiseringssystemene er vist i Tabell 3-7 og Tabell 3-8.

Tabell 3-7: USACE klassifisering av dammer basert på størrelse

Category	Impoundment	
	Storage (acre-feet)	Height (feet)
Small	< 1000 and 50	<40 and 25
Intermediate	1000 and 50 000	40 and <100
Large	50 000	100

Tabell 3-8: USACE klassifisering av dammer basert på skadepotensial

Category	Loss of Life (Extent of Development)	Economic Loss (Extent of Development)
Low	None expected	Minimal
Significant	Few	Appreciable
High	More than a few	Excessive

I **Tabell 3-8** for kategori «high» er det for «more than a few» definert en nedre grense på totalt seks bebodde boliger som berøres. **Tabell 3-9** viser USACES retningslinjer for dimensjonerende vannføring for flomløp basert både dammens størrelse og skadepotensial.

Tabell 3-9: USACE krav for dimensjonerende flom

Hazard Potential	Size	Spillway Design Flood (SDF)
Low	Small Intermediate Large	50 to 100-year flood 100-year to ½-PMF PMF
Significant	Small Intermediate Large	100-year to PMF ½-PMF to PMF PMF
High	Small Intermediate Large	½-PMF to PMF PMF PMF

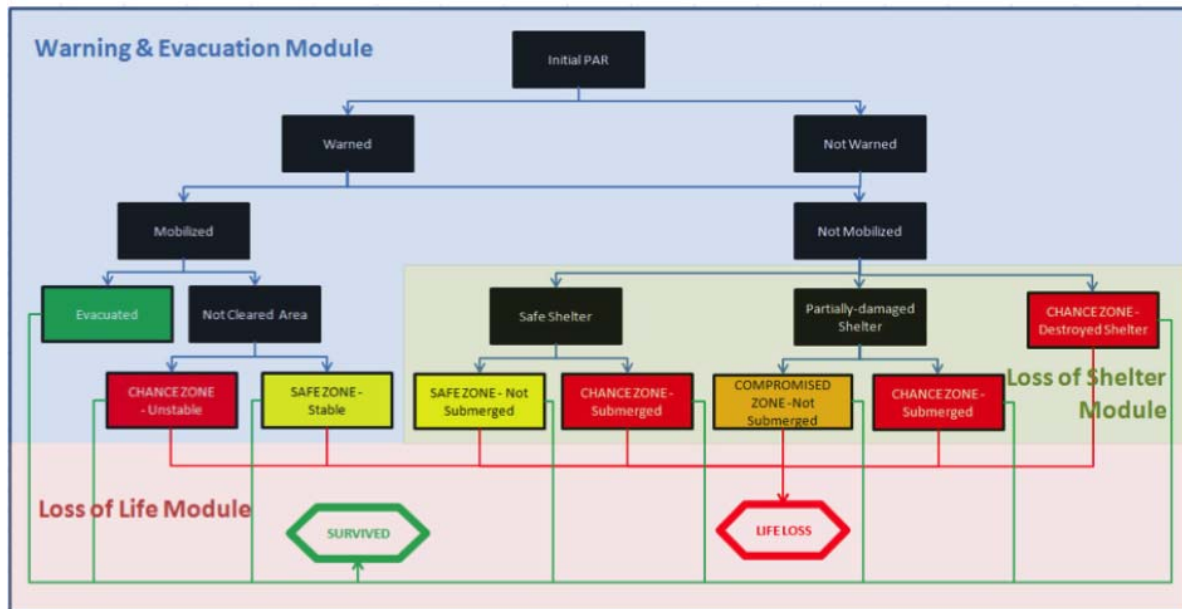
Metodikk for estimering av konsekvenser ved dambrudd

USACE har i samarbeid med andre byråer og fagmiljøer, som blant annet USBR, ANCOLD og Utah State University, vært involvert i utvikling av metodikk og verktøy for estimering av konsekvenser ved flomhendelser og dambrudd. To eksempler er programmene LIFESim og HEC-FIA.

LIFESim og Forenklet LIFESim

LIFESim er et modulbasert, romlig distribuert, dynamisk simuleringssystem utviklet for å estimere tap av liv ved blant annet naturlige flommer og dambrudd. Programmet er utviklet av Utah State University på oppdrag fra USACE og er basert på mange års forskning og detaljerte studier av nesten 60 dambrudd. LIFESim er utviklet med hensikt for å løse begrensningene til empiriske metoder for estimering av tap av liv, spesielt i urbane og tett befolkede områder.

LIFESim er svært sofistikert og kan benyttes til å simulere og analysere mange scenarier for dambrudd, men er også ressurskrevende. Nødvendige inputdata inkluderer: digital terrengmodell, resultatdata fra en hydraulisk modell (kan benytte både 1D og 2D), informasjon om initiell fordeling av befolkning, type og plassering av bygg/konstruksjoner, samt om veinettet innenfor studieområdet.



Figur 3-5: Skjematisk fremstilling av LIFESims modul for estimering av tap av liv [13]

LIFESim består av fire moduler som kommuniserer og utveksler informasjon gjennom en felles database. De fire modulene inkluderer:

1. Modul for routing av bruddbølge: Benytter data fra en ekstern modell for routing av flom eller dambrudd for generere et sett av grid som viser vanddybder og hastigheter for hele området for hele simuleringsperioden.

2. Varsling- og evakueringsmodul: Simulerer omfordelingen av PAR innenfor modellområdet etter varsling av dambrudd. Modulen benytter en transportmodell og tar hensyn til forhold som varslingstid, PARs respons på varsling, mulighet for evakuering og valg av transportmiddel ved eventuell evakuering.

3. Modul for tap av skjul: Simulerer antall og lokasjon av PAR eksponert for vannmasser. Eksponering estimeres basert på initial distribusjon av PAR, type bygg PAR befinner seg i og tap av skjul basert på beregnet skade, grad av dykking og velting av bygg som følge av bruddbølgen. Dambruddsonen deles inn i delsoner basert på tre forskjellige kategorier for tap av skjul. Figur 3-5 viser en skjematisk fremstilling av varsling- og evakueringsmodulen i LIFESim.

4. Modul for tap av liv: Basert estimert tap av skjul benyttes sannsynlighetsfordelinger for estimering av tap av liv. Det er mulig å estimere usikkerheten i estimatene for tap av liv ved kjøre LIFESim i usikkerhetsmodus. I denne modusen beregner LIFESim hvordan usikkerhet i inputdataene påvirker og forplanter seg i estimatene av tap av liv og kvantifiserer disse i form sannsynlighetsfordelinger.

HEC-FIA (forenklet LIFESim) er en nedskalert versjon av LIFESim. Hovedforskjellen mellom modellene ligger i simuleringen av evakuering og beregning av ankomst av bølgefront.

3.3 Canada

Canada er svært rikt på vannressurser og verdens største produsent av vannkraft med en årlig produksjon på tilnærmet 350 TWh. Totalt er det bygget over 10000 dammer, ca. 450 kraftverk og

over 200 småkraftverk i Canada. Damsikkerhet er primært et ansvar for myndighetene i de 11 provinsene og det finnes ikke noe føderal myndighet med overordnet ansvar for utvikling av damsikkerhetsprogram og retningslinjer. Som et resultat varierer klassifiseringssystem, retningslinjer og praksis mellom de forskjellige provinsene.

3.3.1 Canadian Dam Association (CDA)

I 1980 ble Canadian Dam Association stiftet som er en frivillig organisasjon som danner et felles forum for dameiere og regulanter, konsulenter, myndigheter etc. for å diskutere saker relatert til damsikkerhet i Canada. CDA har utviklet egne retningslinjer for damsikkerhet og andre tekniske dokumenter for en rekke temaer innen damsikkerhet som blant annet:

- Inundation, Consequences, and Classification for Dam Safety (2007)
- Public Safety and Security Around Dams, DRAFT - Withdrawn. See Public Safety.
- Dam Safety Analysis and Assessment (2007)
- Hydrotechnical Considerations for Dam Safety (2007)
- Seismic Hazard Considerations for Dam Safety (2007)
- Geotechnical Considerations for Dam Safety (2007)
- Structural Considerations for Dam Safety (2007)

CDA system for klassifisering som er vist i Tabell 3-10 plasserer dammene i fem kategorier basert på potensielle konsekvenser for nedstrøms områder ved et dambrudd. Konsekvensene deles inn i tap av liv, skade på miljø og kulturelle verdier, skade infrastruktur og økonomiske verdier. En interessant detalj er at klassifiseringssystemet også inkluderer kategorier for PAR i tillegg til tap av liv. Skillet mellom signifikant og høy konsekvens deles mellom permanente bosatte og personer som oppholder seg midlertidig nedstrøms dammen. Avhengig av nedstrøms forhold, er det likevel mulig at en dam plasseres i en høyere konsekvensklasse enn «signifikant» selv om det er ingen permanent bosatte nedstrøms dammen.

Tabell 3-10: CDA klassifiseringssystem for dammer [16]

Dam class	Population at risk [note 1]	Incremental losses		
		Loss of life [note 2]	Environmental and cultural values	Infrastructure and economics
Low	None	0	Minimal short-term loss No long-term loss	Low economic losses; area contains limited infrastructure or services
Significant	Temporary only	Unspecified	No significant loss or deterioration of fish or wildlife habitat Loss of marginal habitat only Restoration or compensation in kind highly possible	Losses to recreational facilities, seasonal workplaces, and infrequently used transportation routes
High	Permanent	10 or fewer	Significant loss or deterioration of <i>important</i> fish or wildlife habitat Restoration or compensation in kind highly possible	High economic losses affecting infrastructure, public transportation, and commercial facilities
Very high	Permanent	100 or fewer	Significant loss or deterioration of <i>critical</i> fish or wildlife habitat Restoration or compensation in kind possible but impractical	Very high economic losses affecting important infrastructure or services (e.g., highway, industrial facility, storage facilities for dangerous substances)
Extreme	Permanent	More than 100	Major loss of <i>critical</i> fish or wildlife habitat Restoration or compensation in kind impossible	Extreme losses affecting critical infrastructure or services (e.g., hospital, major industrial complex, major storage facilities for dangerous substances)

Note 1. Definitions for population at risk:

None—There is no identifiable population at risk, so there is no possibility of loss of life other than through unforeseeable misadventure.

Temporary—People are only temporarily in the dam-breach inundation zone (e.g., seasonal cottage use, passing through on transportation routes, participating in recreational activities).

Permanent—The population at risk is ordinarily located in the dam-breach inundation zone (e.g., as permanent residents); three consequence classes (high, very high, extreme) are proposed to allow for more detailed estimates of potential loss of life (to assist in decision-making if the appropriate analysis is carried out).

Note 2. Implications for loss of life:

Unspecified—The appropriate level of safety required at a dam where people are temporarily at risk depends on the number of people, the exposure time, the nature of their activity, and other conditions. A higher class could be appropriate, depending on the requirements. However, the design flood requirement, for example, might not be higher if the temporary population is not likely to be present during the flood season.

British Columbia er et eksempel på en provins som har adoptert klassifiseringssystemet til CDA med mindre endringer [16].

3.3.2 BC Hydro

BC Hydro er et kraftselskap som eier 79 dammer i British Columbia. Damsikkerhetsprogrammet til kraftselskapet er basert på regelverk i British Columbia, CDAs retningslinjer og «best practice» fra en rekke andre internasjonale aktører. BC Hydro har en risikobasert tilnærming til damsikkerhet og har bidratt til utvikling av sofistikerte verktøy for estimering av tap av liv ved dambrudd.

Life Safety Model

Life Safety Model (LSM) er utviklet av BC Hydro i samarbeid med Canadian Hydraulics Center. LSM er en numerisk modell opprinnelig utviklet for å estimere tap av liv ved dambrudd, men kan også benyttes til vurdere evakuering ved flomhendelser av ulike slag. Modellen kombinerer eksisterende teknologier som GIS, hydraulisk modellering, stabilitetsanalyser av bygg og karakterisering av menneskelig atferd i flomsituasjoner.

LSM vurderer effekten av bevegende vannmasser på konstruksjoner, kjøretøy og personer ved hjelp av definerte kritiske terskelverdier for hydrauliske parametere som vanndybde og DV. Disse terskelverdiene benyttes til å vurdere hvorvidt ulike konstruksjoner og bygg gradvis svekkes og/eller ødelegges av bruddbølgen. Videre benyttes terskelverdiene til å vurdere hvorvidt kjøretøy settes ut av funksjon og/eller veltes ved en eventuell evakuering om de kommer i kontakt med vannmassene. Tabell 3-11 viser BC Hydros stabilitetskriterier for ulike typer bygg. Når DV overstiger verdiene i tabellen for de forskjellige typene bygg antas det å resultere i omfattende skader eller total kollaps.

Tabell 3-11: BC Hydro stabilitetskriterier for bygg [13]

Building Type	DV threshold (m ² /s)
Poorly Constructed	5
Well Built Timber	10
Well Built Masonry	15
Concrete	20
Large Concrete	35

Tap av liv estimeres på bakgrunn evakuering og personers mulighet for tilflukt i bygg. For hver PAR eller gruppe av PAR defineres når første varslings mottas, hvorvidt de velger å evakuere eller forbli på stedet, og om man evakuerer til fots eller ved hjelp av et kjøretøy. LSM benytter en transportmodell for å simulere trafikkflyten ved evakuering og om evakuering er suksessfull.

For PAR som ikke evakueres ut av dambruddsonen estimerer LSM tap av liv basert på stabilitetskriteriene for bygg, terskelverdier for velting av kjøretøy og drukning personer som evakuerer til fots. **Figur 3-6** viser en grafisk fremstilling av et eksempel på simulering i LSM.



Figur 3-6: Eksempel på simulering i LSM [17]

Simuleringer i LSM er svært ressurskrevende og krever følgende input data: digital terrengmodell, data fra hydraulisk 2D-modell, informasjon om veinett, lokasjon og typer av bygg, initial fordeling av populasjon innenfor studieområdet og tidspunkt for varsling. LSM er benyttet i stor grad av BC Hydro, men også andre kraftselskap som USBR. Modellen er vurdert til å være spesielt godt egnet for scenarier i urbane og tett befolkede områder.

3.4 Australia

Som i USA og Canada er det ingen føderal lovgivning eller myndighet for damsikkerhet i Australia. Ansvaret for utvikling damsikkerhetsprogram og retningslinjer er derfor lagt til de statlige myndighetene. En følge av dette er at det kun eksisterer lovverk for damsikkerhet i fire av syv stater (Queensland, Victoria, Tasmania og New South Wales).

3.4.1 Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD)

ANCOLD er medlem av ICOLD og en non-profit frivillig basert forening av organisasjoner og individuelle profesjonelle med teknisk kompetanse innen dammer og vassdragsteknikk. ANCOLD utarbeider retningslinjer som representerer «best practice» innen damsikkerhet i Australia.

I 1994 stiftet Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD) en arbeidsgruppe for å sikre et enhetlig og konsekvent grunnlag for vurdering av hydrologisk sikkerhet av dammer i hele Australia [16]. Denne arbeidsgruppen reviderte eksisterende standarder for retningslinjer de i forskjellige statene med hensikt om bevege seg mot en mer risikobasert tilnærming innen damsikkerhet i Australia. Samme år tok ANCOLD en internasjonalt ledende rolle innen risikoanalyser for damsikkerhet da de publiserte *Guidelines on Risk Assessment*. I etterkant har ANCOLD publisert en rekke retningslinjer og andre tekniske dokumenter om bruk av risikoanalyser innen damsikkerhet.

Flere av disse som har blitt benyttet som basis for utvikling av lovverk og retningslinjer i blant statene New South Wales og Queensland.

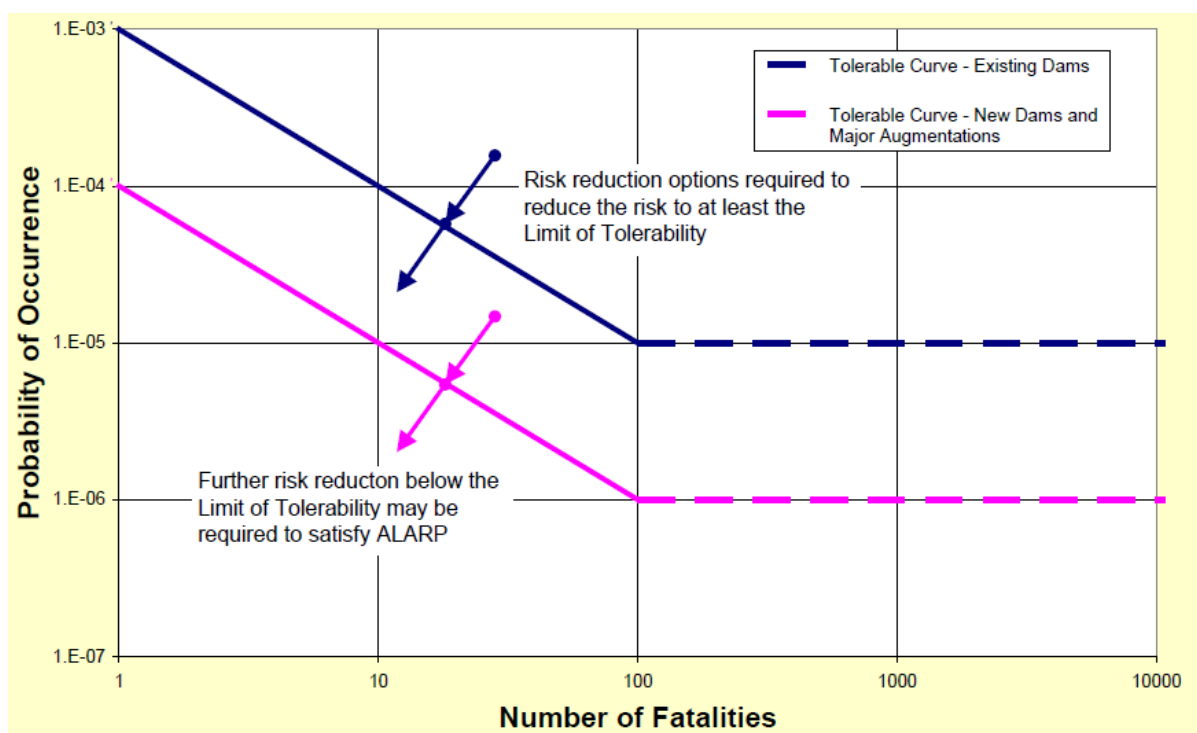
3.4.2 Government of Queensland

Myndighetene i Queensland har utviklet et lovverk og retningslinjer for damsikkerhet som baseres sterkt på retningslinjene til ANCOLD. Dammer klassifiseres i to kategorier basert på antall PAR som vil befinne seg i en dambruddsone ved et potensielt dambrudd:

- Kategori 1: 2-100 PAR
- Kategori 2: >100 PAR

Definisjonen av PAR er her alle personer som befinner seg i bygg eller andre områder innenfor dambruddsonen der *vanndybden er større enn 0,3 meter*. En frittstående enebolig er gitt et standard antall på 2,9 PAR og det er også definert standard antall PAR for en rekke andre typer bygg [18].

Retningslinjene anbefaler at damkonstruksjoner designes basert på helhetlige risikoanalyser som tar for seg alle mulige scenarier for dambrudd, beregner sannsynligheten for hvert scenario og estimerer konsekvenser knyttet til alle scenariene. Dimensjonerende laster som blant annet vannføringer velges deretter ut ifra et prinsipp om redusere risikoen for dambrudd og assosierte konsekvenser til et akseptabelt minimumsnivå sett i praktisk et kost-nytte perspektiv. Dette «As Low As Reasonably Practicable»-prinsippet (ALARP) er illustrert i Figur 3-7 som også viser at retningslinjene skiller mellom krav til eksisterende og nye dammer.



Figur 3-7: Prinsipp for ALARP [19]

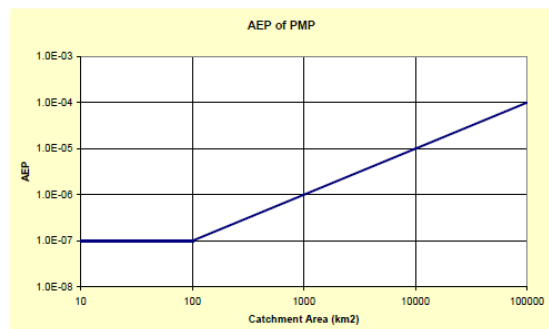
I tillegg presenterer retningslinjene en alternativ metodikk, en deterministisk «fall back» opsjon, om man ikke ønsker gå veien om en fullverdig risikoanalyse. Figur 3-8 viser krav til dimensjonerende flomstørrelser for dammer med denne metoden.

Incremental population at risk (PAR)	Severity of damage and loss								
	Negligible		Minor		Medium		Major		
2 ≤ PAR ≤ 10		5.0x10 ⁻⁴		5.0x10 ⁻⁴		1.0x10 ⁻⁴		1.0x10 ⁻⁵	
	Low		Significant		Significant		High C		
10 < PAR ≤ 100		5.0x10 ⁻⁴		1.0x10 ⁻⁴		1.0x10 ⁻⁴		C	
			Significant		High C		High B		
100 < PAR ≤ 1000		1.0x10 ⁻⁴		1.0x10 ⁻⁴		C	B	B	
					A		High A		
PAR > 1000	If in this region, go to the next highest severity of damage and loss category for the same PAR								A
									A
							PMF	Extreme	PMF
							PMF		PMF

Where

- A = PMP design flood
- B = PMP design flood or 10⁻⁶, whichever is the smaller flood event
- C = PMP design flood or 10⁻⁵ whichever is the smaller flood event

Note that the probability of the probable maximum precipitation (PMP) design flood is a function of the catchment area.



Figur 3-8: Dimensjonerende flom basert på ratingsystem for kategorisering av farepotensial [19]

4 Annen internasjonal litteratur

I tillegg til regelverkene vi har gått gjennom ovenfor finnes det en betydelig mengde litteratur om damsikkerhet, flomsikring og tilstøtende temaer, vi har valgt å ikke beskrive og referere all aktuell litteratur i denne omgang, i sluttrapporten vil det være aktuelt å strukturere referansene noe mer. En kilde vi vil fremheve er boken Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment [20] som gir en god oppsummering av ulike regelverk og beregningsmetoder for blant annet å estimere tap av liv, bygningssikkerhet mm.

En serie artikler vi ser som relevant og som ikke er direkte benyttet i det som er beskrevet ovenfor (men er referert i en del sammenhenger) er utarbeidet i Nederland. Nederland har ikke mange store dammer av samme type som vi har i Norge men de har et svært stort antall diker og i den sammenheng har det blitt gjort en del arbeid på å vurdere konsekvenser ved dikebrudd, spesielt interessant mener vi en metodikk for å estimere tap av liv ved dikebrudd beskrevet i flere artikler av S. N. Jonkman ved TU Delft er, metodikken er også gjengitt i [20] hvor referanser til de aktuelle artiklene kan finnes. Metodikken er empirisk, basert på statistikk fra en rekke dikebrudd, dambrudd og flomhendelser. Metodikken deler de berørte områdene inn i tre soner, bruddsone (høye vannhastigheter), soner med raskt stigende vannstand (lavere vannhastighet men høy stige-hastighet som forhindrer rask nok evakuering og til slutt resterende arealer hvor stige-hastigheten er lavere og mulighetene for å unnsnippe er vesentlig høyere men det er fremdeles en risiko spesielt knyttet til mennesker med redusert bevegelighet. Mortalitet i bruddsone hvor $DV \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$ og $v \geq 2 \text{ m/s}$ antas å være 100 %, $F_r=1$. I de to resterende sonene er mortaliteten estimert med en trendlinje funnet for en lognormalfordeling av vandyben d .

$$F_r(d) = \Phi_N \left(\frac{\ln(d) - \mu_N}{\sigma_N} \right)$$

Hvor Φ_N er fordelingsfunksjonen for en normalfordeling μ_N og σ_N er henholdsvis middelerverdi og standardavvik for $\ln(d)$. I sonen med raskt stigende vannstand er $\mu_N = 1,46$ og $\sigma_N = 0,28$ når $d \geq$

2.1 m, stigehastigheten $w \geq 0,5$ m/h og $DV \leq 7$ m²/s eller $v \leq 2$ m/s. I den resterende sonen er $\mu_N = 1,46$ og $\sigma_N = 0,28$ når stigehastigheten $w < 0,5$ m/h, eller hvis $w \geq 0,5$ m/h og $d < 2,1$ m samtidig som $DV \leq 7$ m²/s eller $v \leq 2$ m/s.

5 Andre samfunnssektorer i Norge

5.1 Luftfart

I norsk luftfart er risikoarbeidet nå i stor grad dreid over mot en risikoanalysebasert metodikk som beskrevet blant annet i Luftfartstilsynet sin Veileder for gjennomføring av risikoanalyser [21]. I vårt arbeid går vi ikke detaljert inn i risikoanalyser og går derfor ikke nærmere inn på dette er, vi viser også til rapporten «State-of-the-art» om risikovurderinger for dammer sett i et nasjonalt og internasjonalt perspektiv [1] som er utarbeidet av NGI for Energi Norge under prosjektet Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv.

5.2 Veitrafikk

Også i veitrafikken er det en lang tradisjon for å se på ulykkesrisiko og dette er en viktig del av underlaget for å vurdere aktuelle veiprojekter. Statens vegvesen har utarbeidet en håndbok for konsekvensanalyser (Håndbok V712) [22] som blant annet ser på ulykkesrisiko og den samfunnsøkonomiske kostnaden ved skade og død, kostnaden ved død er for eksempel satt til drøyt 35 millioner kroner (2013).

5.3 Samfunnsøkonomiske analyser

I et litt lengre tidsperspektiv ser vi det som naturlig at en mer helhetlig samfunnsøkonomisk tilnærming også benyttes i damsikkerhetsarbeidet. Tilgjengelig datagrunnlag for å vurdere de samfunnsøkonomiske kostnadene ved dambrudd blir stadig bedre og nå har det for første gang blitt gjort en samfunnsøkonomisk analyse av verdien av tiltak for sikring mot dambrudd. Denne analysen er riktignok ikke en probabilistisk analyse i det at de har ikke sett på sannsynligheten for dambrudd men derimot har sett på hvor mye sikkerheten må forbedres for at et gitt tiltak skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Dette arbeidet er ennå ikke offentlig tilgjengelig men metodene som er benyttet i det arbeidet for å estimere samfunnsøkonomisk skade ved dambrudd vil også være aktuelle å benytte klassifiseringssammenheng.

Videre foreligger det en egen håndbok for samfunnsøkonomiske analyser utarbeidet av Senter for statlig økonomistyring [23] som vil være naturlig å forholde seg til, det er der også sett på blant annet verdsetting av ulykkesrisiko, kostnaden her er indikert å være i området 10-30 MNOK, dvs noe lavere enn den verdien statens vegvesen har benyttet i sin håndbok for konsekvensanalyser [22].

6 Konklusjon

Vi har i vår gjennomgang av dagens regelverk pekt på flere områder vi mener kan ses på i mer detalj for å gi en mer detaljert begrunnelse for forslag til damklassifisering. Videre har en gjennomgang av regelverk i noen utvalgte andre land samt en mengde annen litteratur vist noen metoder vi mener kan være høyst relevante også for norske forhold, og som vi mener kan anvendes også innenfor dagens klassifiseringsregelverk. Vi ser også flere forbedringspunkter i hvordan dambruddsbølgeberegninger best kan utføres for å gi oss et best mulig grunnlag for klassifisering, dagens regelverk er i hovedsak tilpasset beredskapsformål.

De aktuelle metodene plasserer seg i to hovedgrupper:

Hendelsesbasert = deterministisk. Basert på eksisterende klassifisering av dam. Benytte data fra en spesifikk forutbestemt hendelse

Risikobasert = probabilistisk. Basert på sannsynligheten for at ulike hendelser skal inntreffe og konsekvensene av disse ulike hendelsene.

Her ser vi videre primært på deterministiske metoder ettersom dagens regelverk er lagt opp for dette men vi mener det på sikt er høyst aktuelt å gå i en probabilistisk retning, en trend vi også ser internasjonalt og i andre sektorer.

Estimering av tap av liv er en viktig forutsetning for flere av de metodene vi har sett på og de er alle basert på forutsetninger på antall personer som befinner seg i flomsone. Det eksisterer mange forskjellige metoder for å estimere dødelighetsrater og tap av liv, men alle metodene har en ting til felles: de er avhengige av et initielt estimat av PAR.

I det videre arbeidet vil det være aktuelt å se på flere metoder for å bestemme dødelighetsrater, stabilitet for bygg osv.

Referanser

- [1] Norges Geotekniske Institutt, «State-of-the-art» om risikovurderinger for dammer sett i et nasjonalt og internasjonalt perspektiv, Energi Norge, 2016.
- [2] K. m.fl., Forvaltningspraksis ved Norsk damsikkerhet, Energi Norge, 2011.
- [3] NVE, Veileder nr. 3/2014 Veileder for klassifisering av vassdragsanlegg, Norges Vassdrags og Energidirektorat, 2014.
- [4] Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven), 2000.
- [5] Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2009.
- [6] NVE, Retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger, Norges Vassdrags og Energidirektorat, 2009.
- [7] NVE, Retningslinjer for flomberegninger, Norges Vassdrags og Energidirektorat, 2011.
- [8] Regulation of Dam Safety: An overview of current practice world wide., ICOLD, Preprint.
- [9] Flood Evaluation and Dam Safety, ICOLD, Preprint.
- [10] USBR, «I-4 Semi-Quantitative Risk Analysis,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2015.
- [11] USBR, «DSO-99-06 A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 1999.
- [12] USBR, «RCEM - Reclamation Consequence Estimating Methodology,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2014.
- [13] DHS, «Dams Sector - Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios,» U.S. Department of Homeland Security, 2011.
- [14] FEMA, «333 Hazard Potential Classification System for Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2004.
- [15] FEMA, «P-94 Selecting and Accomodating Inflow Design Floods for Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2013.
- [16] FEMA, «Summary of Existing Guidelines for Hydrologic Safety of Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2012.
- [17] USBR, «III-1 Consequences of Flooding,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2014.
- [18] Queensland Government, «Guidelines for Failure Impact Assessment for Water Dams,» State of Queensland, Department of Energy and Water Supply, 2012.
- [19] Queensland Government, «Guidelines on Acceptable Flood Capacity for Water Dams,» State of Queensland, Department of Energy and Water Supply, 2016.
- [20] L. Zhang, M. Peng, D. Chang og Y. Xu, Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment, John Wiley & Sons, 2016.
- [21] Veidleder for gjennomføring av risikoanalyser, Luftfartstilsynet, 2003.
- [22] SVV, V712 Håndbok for konsekvensanalyser, Statens Vegvesen, 2014.

- [23] SSØ, Håndbok for samfunnsøkonomiske analyser, Senter for statlig økonomistyring, 2010.
- [24] FEMA, «P-946 Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2013.
- [25] FEMA, «P-1069 National Dam Safety Program Fact Sheet,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2015.
- [26] FEMA, «P-1025 Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2015.
- [27] USBR, «II-2 Probabilistic Hydrologic Hazard Analysis,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2015.
- [28] FEMA, «93 Federal Guidelines for Dam Safety,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2004.
- [29] FEMA, «608 Emergency Action Planning for State Regulated High-Hazard Potential Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2007.
- [30] USBR, «Dam Safety Public Protection Guidelines. A Risk Framework to Support Dam Safety Decision-Making,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2011.
- [31] Queensland Government, «Queensland Dam Safety Management Guidelines,» State of Queensland, Department of Energy and Water Supply, 2002.
- [32] S. Jonkmann og E. Penning-Rowsell, «Human Instability in Flood Flows,» *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, vol. 44, nr. 5, pp. 1208-1218, 2008.
- [33] A. B. Becker, W. M. Johnstone og B. J. Lence, «Wood Frame Building Response to Rapid-Onset Flooding,» *Natural Hazards Review*, vol. 12, nr. 2, pp. 85-95, 2011.
- [34] H. U. o. Technology, «RESCDAM. The Use of Physical Models in Dam-break Flood Analysis,» Helsinki University of Technology, 2000.
- [35] R. A. Falconer, B. Lin og J. Xia, «2D Hydrodynamic Modelling. Mobile Beds, Vehicle Stability and Severn Estuary Barrage,» Flood Risk Management Research Consortium (FRMRC), 2012.