
SLUTTRAPPORT

Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv - Forbedret underlag ved klassifisering av dammer

OPPDRAUGSGIVER

Energi Norge

EMNE

Sluttrapport

DATO / REVISJON: 12. mai 2020 / 01

DOKUMENTKODE: 418326-RIVass-RAP-001



Multiconsult

*Foto: Teton Dam Flood – Newdale, Roberts, ID-L-0010,
WaterArchives.org*

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDRAG	Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv - Forbedret underlag ved klassifisering av dammer	DOKUMENTKODE	418326-RIVass-RAP-001
EMNE	Sluttrapport	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Energi Norge	OPPDRAGSLEDER	Øyvind Pedersen
KONTAKTPERSON		UTARBEIDET AV	Christian Almestad, Geir Helge Kiplesund og Øyvind Pedersen
		ANSVARLIG ENHET	10234052 Vannkraft Midt

SAMMENDRAG

Denne rapporten oppsummerer arbeidet fra delprosjektet «Forbedret underlag ved klassifisering av dammer» som ble utført i perioden 2017 – 2020 som en del av prosjektet «Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv» i regi av Energi Norge. I forbindelse med klassifiseringsprosjektet ble det gjort en gjennomgang av regelverket for klassifisering i Norge, samt regelverk, retningslinjer og metodikk i andre utvalgte land. Det er utviklet en metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd basert på funnene fra litteraturstudien. Formålet med metoden er å gi bedre grunnlag for riktig klassifisering av dammer der det er tvil om klassen, og dermed å bidra til at samfunnets ressurser fordeles dit behovet er størst. Grunnlaget for metoden er beskrevet her, mens en detaljert beskrivelse av selve metoden finnes i rapporten «Metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd». Det ble utført 4 casestudier som en del av prosjektet. Resultater fra casestudiene er også kort oppsummert i denne rapporten.

01	12.05.2020	Opprettet etter kommentarer fra Energi Norge	Øyvind Pedersen	Geir Helge Kiplesund	Øyvind Pedersen
00	17.02.2020	Kandidat til endelig rapport	Christian Almestad, Øyvind Pedersen, Geir-Helge Kiplesund	Thea Caroline Wang	Øyvind Pedersen
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	2
2	Regelverket for klassifisering i Norge	2
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
2.3.1	Skade på boenheter	5
2.3.2	Skade på infrastruktur	6
2.3.3	Skade på miljø og eiendom samt tap av magasin, produksjon og produksjonsmidler	6
2.4	Retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger	7
2.5	Retningslinjer for flomberegninger	7
2.6	Regelverk fra andre samfunnssektorer i Norge	8
2.6.1	Luftfart	8
2.6.2	Veitrafikk.....	8
2.6.3	Samfunnsøkonomiske analyser	8
3	Oppsummering av hovedfunn fra regelverk, retningslinjer og metodikk i andre land	9
3.1	Klassifiseringssystemer	9
3.2	Metoder for konsekvensvurdering av dambrudd	10
3.2.1	Litteratur på stabilitet av mennesker, bygninger og kjøretøy i strømmende vann.....	10
4	Metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd	11
4.1	Bakgrunn.....	11
4.2	Første utkast til metode.....	12
4.3	Erfaringer og tilbakemeldinger på første utkast	13
4.4	Endelig metode	14
4.4.1	Tilstandskategorier for bygninger	15
4.4.2	Bruk av tilstandskategorier til klassifisering	21
5	Eksempelprosjekter, beskrivelse og oppsummering	22
5.1	Ulleruddammen	23
5.2	Sisseldøla	25
5.3	Løkjelsvatn	27
5.4	Lundevatn	29
	Vedlegg 1 – Litteraturstudie på regelverk, retningslinjer og metodikk i andre land	33
	Vedlegg 2 – Førsteutkast til metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd	54
	Referanser	55

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 iverksettes. Praktisering av regelverket har medført visse tilpasninger, blant annet for lave fyllingsdammer, men praksisen er 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 vassdragsanlegg. 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 har vi gått gjennom det norske regelverket for klassifisering av dammer og vassdragsanlegg, med hovedfokus på damsikkerhetsforskriften og veileder for klassifisering. Videre har regelverk, retningslinjer og praksis innen damsikkerhet og klassifisering av dammer i noen utvalgte land vært gjennomgått. Regelverk i en rekke andre land har også vært vurdert underveis, men ikke beskrevet i detalj her.

Med grunnlag i gjennomgangen av norsk og utenlandsk litteratur har det i forbindelse med prosjektet blitt utviklet en ny metode, «DSHP-metoden for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd» [1]. Formålet med metoden er å bidra til riktig vurdering av konsekvensene ved dambrudd i tilfeller der det er tvil om dammens konsekvensklasse. Metoden tar bedre hensyn til differensierte konsekvenser ved dambrudd, ved å innføre tilstandsklasser for berørte bygninger. Der man har godt grunnlag, typisk i form av 2-dimensjonale hydrodynamiske modeller og laserscannet terreng, kan opptredende hastigheter og dybder tas inn i vurderingen gjennom metoden. Vi håper at dette kan bli et verktøy for konsulenter, dameiere og forvaltningen for å få bedre oversikt over faktiske konsekvenser, og at metoden dermed kan bidra til bedre å fordele samfunnets ressurser forholdsmessig dit konsekvensene ved dambrudd er størst. Metoden skal likevel ikke erstatte skjønnsmessige vurderinger, dette vil alltid være nødvendig, men kan forenkle arbeidet med slike vurderinger og også føre til en mer enhetlig behandling av norske dammer.

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 [2]. Vi beskriver likevel i vårt arbeid en del metodikk som er helt eller delvis fundert i risikoanalysetankegang, da dette har relevans med tanke på konsekvensvurdering og damklassifisering.

2 Regelverket for klassifisering 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» [3] fra Energi Norge og en historisk gjennomgang i «Veileder for klassifisering» [4] kap. 1.2.

2.1 Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven)

Damsikkerhetsregelverket i Norge er forankret i Vannressursloven [5], der den mest sentrale paragrafen i forbindelse med klassifisering av vassdragsanlegg er §36 som hjemler Vassdragsmyndighetens (det vil si Norges Vassdrags og Energidirektorat - NVE) 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 her.

2.2 Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften)

Etter hjemmel i Vannressursloven, beskrevet over, ble det utarbeidet en Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg [6]. Damsikkerhetsforskriften ble vedtatt 18.12.2009 og trådte i kraft 01.01.2010. Denne 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 18.12.2000 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 som har et oppdemt magasinivolum < 0,01 mill. m³ (dvs. 10 000 m³) er i utgangspunktet automatisk plassert i klasse 0, og merknadene til forskriften påpeker også at disse ikke trenger å meldes til NVE. 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 forhold nedstrøms som påvirker klassifiseringen. Det påpekes her i merknadene at dette gjelder både endringer som medfører en heving 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. Der er det blant annet påpekt at konsekvensvurderinger skal omfatte både direkte skader og eventuelle følgeskader av bruddvannføring, vannstandsending 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 for hele damanlegget.

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 ser senere i denne rapporten og i medfølgende metoderapport 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 i de tilfeller klassifisering baseres på dambruddsbølgeberegninger. Ved en enkel klassifisering vurderes ikke initialsituasjonen i vassdraget, da vurderes kun bruddvannføring fra dammen.

2.3 Veileder til damsikkerhetsforskriften, klassifisering av vassdragsanlegg

Gjeldende veileder for klassifisering av vassdragsanlegg er som 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*» [4].

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. Det vil si at det er en rent deterministisk måte å se på damsikkerheten, i motsetning til en probabilistisk måte hvor sannsynlighet for ulike bruddmekanismer spiller inn, som igjen kan påvirkes ved fysiske tiltak. At en ikke kan bygge seg til en endret konsekvensklasse er nok en sannhet med modifikasjoner, det kan i en del tilfeller være aktuelt å for eksempel senke dam og flomløp, og dermed redusere magasinivolum og drivende vanntrykk i bruddåpningen for derigjennom 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 eller riving av hus, vil gi grunnlag for revidering av konsekvensklasse slik at det i enkelte tilfeller kan være aktuelt å «bygge» seg ned i damklasse.

2.3.1 Skade på boenheter

Kapittel 3.2.1 *Skade på boenheter* 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 vandybde. Det er imidlertid viktig å gjøre en konkret vurdering av hva slags bygninger og eventuelt hvilke personer som blir berørt.

Utgangspunktet er en 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.

2.3.2 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 er 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), mens 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 også vil medføre høyere oppstrøms vannstand, men det vil gjerne også dempe kulminasjonsvannføringen videre nedover vassdraget noe. Fare for brudd på bru medfører en betydelig større risiko for tap av menneskeliv enn oversvømmelse av en vei. Det har oss bekjent ikke inntruffet dødsulykker i Norge ved oversvømmelse av vei, men det har inntruffet dødsfall på grunn av at ei bru ble vasket bort i stor flom og en bilfører havnet i elva da han ikke så at brua var borte før det var for sent. Internasjonalt finnes det dog nok eksempler på begge typer ulykker, slik at problemstillingen ikke kan ses helt bort fra.

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

Med produksjon og produksjonsmidler menes her anlegg for kraftproduksjon, mens 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 knyttet til 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, og 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, noe som 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. Utredningen er utarbeidet av Oslo Economics AS og er blant annet basert på arbeidet med den samfunnsøkonomiske modellen for flomsikringstiltak. 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 [7] 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 – Hydraulikk og Flomavledning. 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 veilederen for klassifisering. Denne 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. Bølgefronten er også definert som der hvor vannstandsstigningen overstiger en meter, noe vi flere ganger ser ikke skjer og man får dermed ikke 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 brudd på grunn av lekkasje i tetning, og et ekstremflombrudd hvor initialsituasjonen er Q_{dim} og fyllingsdammer antas å bryte som overtoppingsbrudd. Det er slik vi ser det i dag 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. Det er vår forståelse at middelflom ble valgt primært med tanke på numerisk stabilitet i tidlige modellverktøy for dambruddsbølgeberegninger, noe som i dag er et vesentlig mindre problem. Valget av Q_{dim} som ekstremscenario virker også noe tilfeldig all den tid alle dammer over klasse 0 skal tåle en ulykkesflom ($1,5 \cdot Q_{dim}/PMF$) uten å bryte.

2.5 Retningslinjer for flomberegninger

Dagens retningslinjer for flomberegninger [8] 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 – Flomhydrologi og evt. V – Hydraulikk og Flomavledning. 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. 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. 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 hensiktsmessig for konsulenten som utarbeider flomberegningene å også simulere en middelflom, enn at dette må gjøres senere i forbindelse med dambruddsbølgeberegningen, muligens da også av en annen konsulent.

En lite benyttet mulighet er at det, i enkelte tilfeller, gis anledning til å avvike fra høyeste regulerte vannstand (HRV) som initialtilstand for flomberegningen. Følgende finnes i Retningslinjer for flomberegninger kapittel 7.2 Store sammensatte felt:

Det bør vurderes om det er riktig å forutsette at alle magasin ligger på HRV ved flommens begynnelse ved beregning av flom med gitt gjentaksintervall. En slik forutsetning kan føre til overestimering av tilløpsflommen til det nederste magasinet med det aktuelle gjentaksintervallet. Dersom det virker rimelig å avvike fra forutsetningen om at magasinenes initialvannstand skal være HRV, må initialvannstandene i de enkelte magasinene avklares med NVE.

Dette kan typisk gjelde store høyfjellsmagasiner forut for vårfloppen, dette kan også resultere i at det er flom på en annen tid av året som gir dimensjonerende flomvannstand.

2.6 Regelverk fra andre samfunnssektorer i Norge

2.6.1 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*» [9]. I vårt arbeid går vi ikke detaljert inn i risikoanalyser og går derfor ikke nærmere inn på dette her. Vi viser også til rapporten «*State-of-the-art*» om risikovurderinger for dammer sett i et nasjonalt og internasjonalt perspektiv [2], som er utarbeidet av NGI for Energi Norge under prosjektet Damsikkerhet i et helhetlig perspektiv.

2.6.2 Veitrafikk

Også i veitrafikken er det 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 [10] som blant annet ser på ulykkesrisiko og den samfunnsøkonomiske kostnaden ved skade og død. Kostnaden ved dødsfall er for eksempel satt til drøyt 30 MNOK (2016-kr per tilfelle).

2.6.3 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 det ikke er sett på sannsynligheten for dambrudd, men derimot har sett på hvor mye sikkerheten må forbedres for at et gitt tiltak skal være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Metodene som er benyttet i det arbeidet for å estimere samfunnsøkonomisk skade ved dambrudd kan også være aktuelle å benytte i klassifiseringssammenheng på sikt.

Videre foreligger det en egen håndbok for samfunnsøkonomiske analyser utarbeidet av Senter for statlig økonomistyring [11] som vil være naturlig å forholde seg til. Det er der også sett på blant annet verdsetting av ulykkesrisiko, og 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 [10].

3 Oppsummering av hovedfunn fra regelverk, retningslinjer og metodikk i andre land

For å innhente inspirasjon til utvikling av ny metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd ble det utført en litteraturstudie på lovverk, veiledere og metoder fra utvalgte land og aktører innen damsikkerhet, blant annet:

- **USA:** Federal Emergency Management Agency (FEMA), U.S. Bureau of Reclamation (USBR) og U.S. Army Corps of Engineers (USACE)
- **Canada:** Canadian Dam Association (CDA) og BC Hydro
- **Australia:** Australian Committee of Large Dams (ANCOLD), og Government of Queensland

Litteratur er valgt på bakgrunn av hva som har vært åpent tilgjengelig. I tillegg er det også gjort et bevisst valg på å se på land som har klassifiseringssystem og metodikk relativt ulikt med Norge. Hovedfunn fra litteraturstudiet er oppsummert i delkapittel 3.1, Litteraturstudiet er gjengitt i vedlegg 1, og oppsummert her.

For en mer omfattende oversikt over regelverk i ulike land vises blant annet til rapporten *Forvaltningspraksis ved Norsk damsikkerhet* [3] fra Energi Norge, *Regulation of Dam Safety: An overview of current practice world wide* [12] fra ICOLD og *Flood Evaluation and Dam Safety* [13] også fra ICOLD. Vi har her gått mer inn på regelverk i noen få utvalgte land som har 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.

3.1 Klassifiseringssystemer

Klassifiseringssystemene gjennomgått i litteraturstudiet kan deles opp i to hovedtyper. Den ene bestemmer klasse kun ut ifra størrelsen til damanlegg, enten høyde av selve damkonstruksjonen og/eller magasinvolumet. Andre type klassifiseringssystemer bestemmer damklasse ut ifra estimerte konsekvenser av et potensielt dambrudd. Konsekvenser måles i flere dimensjoner, som tap av liv, skade på infrastruktur, økonomiske tap og tap av andre verdier. Felles for alle systemer basert på konsekvenser av potensielt dambrudd vurdert i litteraturstudiet er at tap av liv alltid er inkludert.

Det er stor variasjon i antall klasser de ulike systemene operer med og hvor store konsekvenser som er knyttet til de ulike klassene. Enkelte klassifiseringssystem som f.eks. USACE og Government of Queensland har bare to klasser, kun basert på tap av liv. Andre som f.eks. Canadian Dam Association har opptil fem klasser som bestemmes ut ifra flere kriterier. Som ved det norske systemet varierer kravene til sikkerhet ved dammene med klassifiseringen. Sammen med klassifiseringssystemene er det utarbeidet mange veiledere for å bestemme damklasse og som gir spesifikke krav til prosjektering av damanlegg for å ivareta sikkerheten tilstrekkelig.

For systemer basert på estimerte konsekvenser av brudd finnes det svært mange metoder, disse kan deles i to hovedkategorier:

1. Hendelsesbasert = deterministisk. Basert på eksisterende klassifisering av dam. Benytter data fra en spesifikk forutbestemt hendelse og tar ikke hensyn til sannsynligheten til hendelsen.
2. Risikobasert = probabilistisk. Sammenlikner sannsynligheten for at ulike hendelser skal inntreffe og konsekvensene av disse ulike hendelsene.

3.2 Metoder for konsekvensvurdering av dambrudd

Samtlige metoder vurdert i litteraturstudiet har to ting til felles:

1. De forsøker å estimere antall personer som berøres av et potensielt dambrudd, ofte kalt «People at risk» (PAR)
2. De estimerer antall PAR som forventes å miste livet

Felles for metodene er at de baserer seg på resultater fra en hydraulisk vurdering av bruddbølgens utbredelse, vanddybder og hastigheter nedstrøms dammen, alt fra enklere håndberegninger til dynamisk simulering av dambrudd med 2-dimensjonale hydrauliske modeller.

Metodene DSO-99-09, Flood Comparison Method og RCEM Method estimerer tap av liv ut ifra en hydraulisk vurdering og empiriske data fra en analyse av en rekke dambrudd. For ulike områder nedstrøms dammen som er berørt av bruddet settes det en «dødelighetsrate». Dødelighetsrater uttrykker andelen av de som er estimert til å berøres som forventes å miste livet. Dødelighetsrater vurderes ut ifra på forhold som tidspunkt for ankomst av bruddbølge, vanddybder og hastigheter, hastigheten til vannstandsstigning, samt antakelser om varsling og evakuering. Fordelen med metodene er at de er relativt enkle å anvende.

Mer sofistikerte verktøy som LIFEsim og Life Safety model kombinerer dynamisk simulering av bruddbølge med numeriske modeller for estimering av tap av liv. Verktøyene inkluderer moduler for varsling og evakuering av mennesker, vurdering av skade på bygninger, tap av tilfluktssteder og menneskers atferd i krisesituasjoner. Hensikten med verktøy som LIFEsim og Life Safety Model er å løse begrensningene til empiriske metoder. På den andre siden er de svært ressurskrevende og krever mange subjektive vurderinger om initialtilstand og menneskers adferd.

3.2.1 Litteratur på stabilitet av mennesker, bygninger og kjøretøy i strømmende vann

I arbeidet med utvikling av DSHP-metoden er det i tillegg tatt utgangspunkt i litteratur på stabilitet av mennesker, bygninger og kjøretøy i strømmende vann. Sentrale artikler og rapporter i prosjektet er:

- H. Wallingford, F. H. R. C. M. Univeristy og R. & P. A. Ltd., «Flood Risk To People Phase 2. FD2324/TR2 Guidance Document,» Department for Environment Food and Rural Affairs UK, 2006 [14]
- A. B. Becker, W. M. Johnstone og B. J. Lence, «Wood Frame Building Response to Rapid-Onset Flooding,» *American Society of Civil Engineers, Natural Hazards Review*, vol. 12, nr. 2, pp. 85-95, 2011 [15]
- U. o. N. S. Wales, «Flood Hazard. WRL Technical Report 2014/07,» University of New South Wales, Water Research Laboratory, 2014 [16]
- Helsinki University of Technology, «RESCDAM. The Use of Physical Models In Dam-Break Flood Analysis,» Helsinki University of Technology, 2000 [17]

- S. Jonkman og E. Penning-Rowsell, «Human Instability In Flood Flows,» *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 4, p. 44, 2008 [18]

4 Metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd

4.1 Bakgrunn

DSHP-metoden for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd er, i sin nåværende form, beskrevet i en egen metoderapport [1]. I dette kapitlet vil vi forsøke å få frem noe av historikken og gå dypere inn i bakgrunnen for metoden. Metoden har vært utviklet i flere steg, og har vært diskutert i flere omganger blant deltagerne i prosjektet, som inkluderer dameiere, konsulenter, Energi Norge, NVE og NTNU. Det ble først utviklet et notat med første utkast til metoden som er gjengitt i vedlegg 2. Det ble utført fire casestudier basert på første utkast av metoden, som så ble sendt ut på høring og diskutert i flere møter, inkludert deltagermøte og orienteringsmøter med NVE. I første utkast av metoden ble det arbeidet med en metode som gjorde bruk av direkte estimater av tap av liv, heller enn beregning av boenheter. Dette er tilnærminger som brukes andre steder er verden, og som det ble funnet grunnlag for i litteraturstudie. Det ble også tenkt en del rundt håndtering av berørte trafikanter, antall beboende og økonomiske konsekvenser. Det ble utarbeidet mange tilstandskategorier for bygninger basert bl.a. på forsøk på bruddgrenser for trehus i Canada.

Noen vesentlige tilbakemeldinger på metoden som kom frem i diskusjonen var at det var behov for enklere tilstandskategorier og at deler av metoden, spesielt det som gikk på direkte estimering av tap av liv, ikke er forenelig med regelverket, slik det foreligger i dag. I den endelige versjonen av metoden ble det derfor valgt å fokusere, spesielt på boenheter. Det er valgt å innføre enklere tilstandskategorier og man har gått bort fra tanken om direkte estimering av tap av liv. Man har derfor en metode som fremstår som enklere i bruk, og der metoden kan brukes direkte innenfor foreliggende regelverk.

Vi ser det likevel som ønskelig å bevare en del av diskusjonen og historikken som har ført frem til siste versjon av metodikken, da en del av tankene som har vært gjort forhåpentligvis vil kunne være til inspirasjon i fremtidige revisjoner av regelverket

Dette kapitlet beskriver derfor utviklingen av metoden for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd i løpet av prosjektet. Som skissert har utviklingen har vært en iterasjonsprosess bestående av flere trinn:

1. Første utkast basert på litteraturstudie
2. Test av metode på fire caser og erfaringsutveksling
3. Revisjon av metode etter tilbakemeldinger

I denne rapporten fokuseres det på å forklare grunnlaget for metoden og utviklingsprosessen. For detaljert beskrivelse av metoden og hvordan den anvendes vises det til metoderapporten [1].

Hensikten har vært å utvikle en metode som danner et mer detaljert grunnlag ved klassifisering av dammer. Håpet er at metoden skal bidra til en riktigere tildeling av konsekvensklasse, og dermed en bedre fordeling av samfunnets ressurser, slik at ressursene blir brukt forholdsmessig på de dammene der bruddkonsekvensene er størst. Det har vært en forutsetning at metoden skal kunne anvendes innenfor dagens lovverk, forskrifter og veiledere. DSHP-metoden er ikke ment til å erstatte eksisterende metoder for klassifisering, men som et supplerende verktøy som spesielt kan benyttes

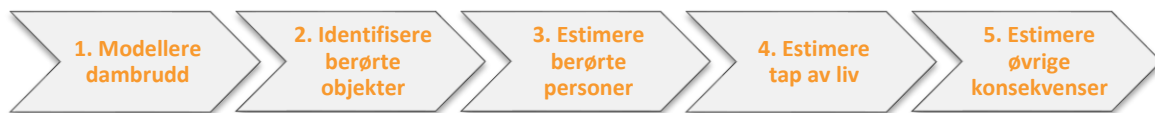
når det er tvil om klassifisering og grunnlaget er godt. Målet er å utvikle en felles bransjestandard for de tilfeller der det er tvil om klassifisering og nærmere vurderinger må utføres. Deler av metoden kan sies å være en systematisering av praksis som allerede er i bruk i dag.

Gjennom hele prosjektet har tilnærmingen vært å søke å bedre utnytte mulighetene i tilgjengelige statistikker, verktøy og programvare som allerede benyttes til klassifisering. Metoden er utviklet med inspirasjon fra forskrifter, veiledere og metoder fra andre nasjoner og aktører innen damsikkerhet.

De samme forutsetninger som er lagt til grunn i klassifiseringsveilederen og retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger brukes som grunnlag for metoden. Dette innebærer en konservativ deterministisk tilnærming der man ikke tar hensyn til sannsynligheten for brudd, men kun konsekvensene av bruddbølgen i områdene nedstrøms den aktuelle dammen. Det stilles likevel strengere krav til datagrunnlag og hydraulisk modell ved bruk av DSHP-metoden sammenliknet med standard dambruddsbølgeberegninger.

4.2 Første utkast til metode

Første utkast for metoden ble beskrevet i eget notat som er gjengitt i vedlegg 2. En skjematisk oversikt over de kronologiske stegene i metoden er vist i figuren under.

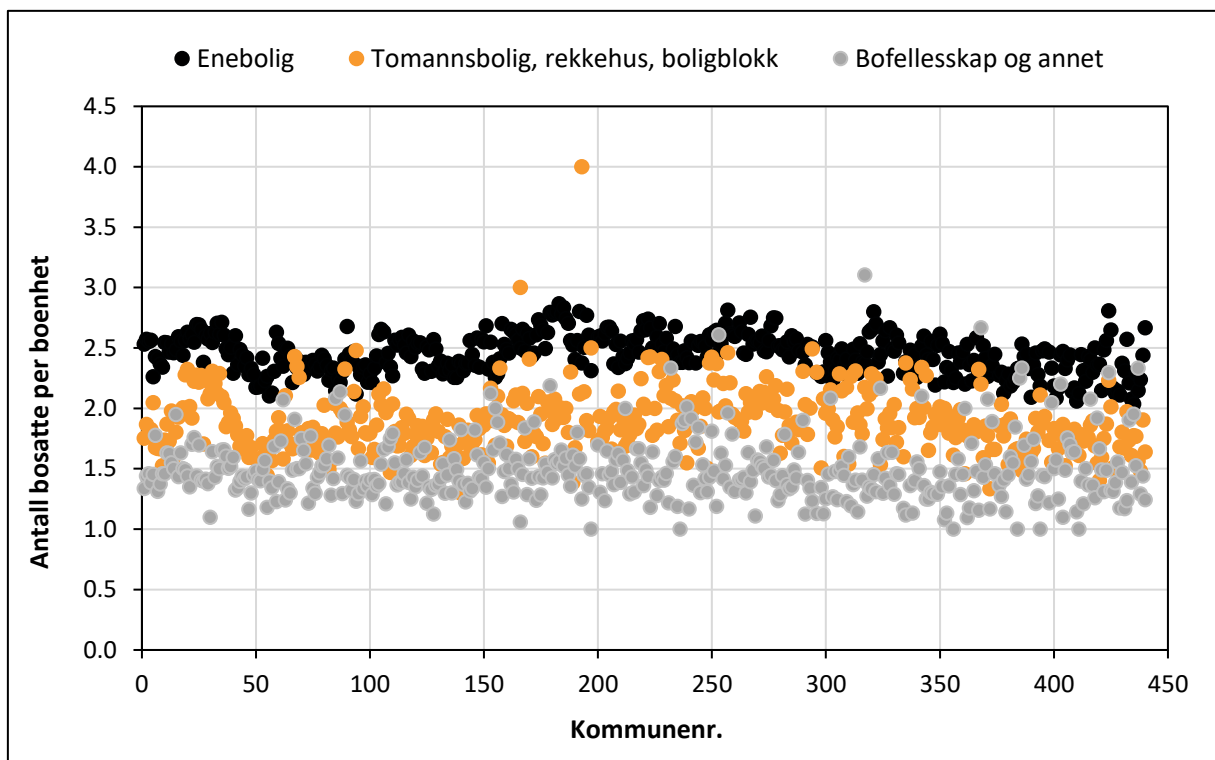


Inspirert av funnene i litteraturstudiet ble det i første utkast foreslått en metode med hovedfokus på å estimere det totale antallet personer som berøres av et dambrudd, og hvor stor andel som er i fare for miste livet. Årsaken til valget var at mange klassifiseringssystem, veiledere og metoder gjennomgått i litteraturstudiet hadde fokus på berørte personer og ikke boenheter.

Metoden bygger på resultater fra simulering av dambrudd med hydraulisk modell, og hovedprinsippet er å sammenlikne de hydrauliske forholdene før og under dambruddet for å vurdere i hvilken grad personer, infrastruktur og andre verdier berøres. Ved å studere de inkrementelle endringene i de hydrauliske forholdene i vassdraget forårsaket av dambruddet, får en et riktigere bilde av det potensielle skadeomfanget.

Berørte personer estimeres ut ifra å kartlegge berørte bygninger, vei- og jernbanestrekninger og steder for midlertidig personopphold innenfor dambruddssonen. For å vurdere i hvilken grad bygninger berøres og om personer som oppholder seg i berørte bygninger står i fare for å miste livet, ble det introdusert «tilstandskategorier» for bygninger. Tilstandskategoriene for bygninger beskriver hvilke skader som forventes ved ulike kombinasjoner av vanddybde og hastighet, og dermed faren for liv for personer som oppholder seg i bygningene. Det ble introdusert syv tilstandskategorier med bakgrunn i en studie på stabilitet av kanadiske trehus i strømmende vann.

For å få et mer eksakt estimat på antall berørte personer ble det foreslått å benytte kommunale verdier for antall bosatte per boenhet. Basert på bostatistikk fra Statistisk sentralbyrå ble det beregnet individuelle boligekvivalenter for hver kommune. For tilfeller der veier berøres ble det foreslått å beregne antall berørte biler ut ifra årsdøgntrafikk (ÅDT) for de aktuelle veistrekningene, lengden på de berørte strekningene og tiden de oversvømmes. Deretter estimeres antall berørte bilister ved å benytte 1,5 personer per bil i henhold til Statens vegvesens reisevaneundersøkelse fra 2014.



Figur 4-1: Antall boende per enhet for ulike typer boliger for alle kommuner

For å estimere forventet tap av liv ble det introdusert *dødelighetsrater* som representerer andelen av de berørte personene som forventes å miste livet. Dødelighetsratene ble hentet fra U.S. Bureau of Reclamations RCEM-metode [19]. Ratene i denne metoden er beregnet ut ifra statistikk fra flere titalls tilfeller av dambrudd og flomhendelser. Det angis ulike rater for ulike DV-tall med øvre og nedre grense. Basert på DV-tallet ved hvert berørte objekt og antall personer beregnet tilknyttet objektet, estimeres det et forventet intervall av personer som antas å omkomme. Valg av dødelighetsrate må sees i sammenheng med stigehastigheten til vannspeilet.

4.3 Erfaringer og tilbakemeldinger på første utkast

Første utkast av metoden ble testet på fire caser: to utført av Multiconsult, ett av Norconsult og ett av Sweco. Gjennomføringen av caseeksemplene ga verdifull erfaring med bruk av metoden og belyste flere behov for endringer og konkretiseringer. Etter gjennomføring av caseeksemplene ble det holdt flere møter for å dele erfaringer og komme frem til nødvendige endringer.

1. **15.02.2018.** Møte med Norconsult, Statkraft og Sunnhordaland kraftlag (SKL) for å diskutere erfaringer med bruk av metoden i caseeksempler.
2. **05.04.2018:** Møte med NVE for å diskutere første utkast til metode og resultater fra caseeksempler. NVE skrev et notat med generelle tilbakemeldinger i etterkant av møtet.
3. **24.04.2019:** Workshop med Energi Norge, NVE, NTNU, dameiere og konsulenter som har bidratt til delprosjektet. Hensikt å diskutere resultater så langt i prosjektet og komme frem til enighet om retning for videre utvikling av metoden.
4. **10.12.2019:** Orienteringsmøte med NVE hvor foreløpige revisjoner ble presentert og det ble gitt ytterligere tilbakemeldinger.

5. **28.01.2020:** Deltagermøte med alle interessenter i prosjektet hvor høringsutkastet til metoden ble presentert.

Noen hovedkonklusjoner fra møtene var følgende:

- En metode som estimerer tap av liv er ikke forenelig med dagens lovverk, forskrifter og veiledere for klassifisering av dammer.
- Videre fokus for metoden skal være på klassifiseringskriterium boenheter (bygninger). Vurdering av berørte trafikanter er et svært komplisert tema som avhenger av mange forhold og skal ikke prioriteres videre. Det er heller ikke anledning til å omregne estimerte berørte trafikanter om til boligekvivalenter
- Det er ikke anledning til å benytte ulike boligekvivalenter for ulike kommuner
- Tilstandskategoriene er for omfattende og må forenkles. Grenseverdier for vanndybde og DV-tall må representere utfallsrom når bygninger er opplagt berørt, opplagt ikke berørt og når det kreves en nærmere vurdering.
- Det må stilles absolutte krav og beskrives i detalj hvordan man med GIS-programvare beregner vanndybde og DV-tall for berørte bygninger basert på resultatkart fra dambruddsbølgeberegninger.
- Metoden må ta hensyn til stighastighet.
- Metoderapport må beskrive krav og forutsetninger for bruk av metoden

4.4 Endelig metode

Endelig versjon av metoden, inkludert detaljert beskrivelse av anvendelse, samt forutsetninger, minstekrav og begrensninger, er beskrevet nærmere i metoderapporten [1].

Revisjon av metoden ble utført med bakgrunn i erfaringene fra caseeksemplene og tilbakemeldingene fra møtene med Energi Norge, NVE, dameierne og konsulentene som har bidratt til prosjektet. Som ved første utkast bygger den endelige metoden på resultater fra simulering av dambrudd med hydraulisk modell. Fokuset ble endret fra å estimere berørte personer og tap av liv, til detaljert vurdering av berørte boenheter.



Etter forespørsel fra NVE inkluderer også metoderapporten redegjørelse for ulike mulige metoder for klassifisering av damanlegg og generelle anbefalinger til utførelse av dambruddsbølgeberegninger.

4.4.1 Tilstandskategorier for bygninger

Tilstandskategoriene ble utviklet for å bedre beskrive hvorvidt og i hvilken grad bygninger berøres av dambruddet, og dermed graden av fare for liv og helse for menneskene som oppholder seg i og rundt bygningene.

I praksis vil det alltid være fare for tap av liv ved et dambrudd, og likeså i flomsituasjonen før dambruddet inntreffer. Dette gjelder uansett størrelsen på bruddbølgen, og om bruddbølgen når bygninger eller ikke. Med innføring av tilstandskategoriene er det forsøkt å skille mellom situasjoner hvor faren for liv kan anses som svært liten, og situasjoner hvor faren for liv anses som høy og reell.



Kategori C

Bygninger står ovenfor store skader eller fare for konstruksjonssvikt. Alle bygninger innenfor faresoner for følgeskader havner i denne kategorien. Stor fare for tap av liv for personer som oppholder seg i og rundt bygninger. Anbefalte grenseverdier for konstruksjonssvikt er gitt i Tabell 41.

Kategori B

Bygninger der det ikke er fare for konstruksjonssvikt, men der dybden eller DV-tall overstiger grensen for kategori A. Personer som oppholder seg i høyere etasjer i bygget kan evakueres trygt. Moderat fare for tap av liv for personer i lavere etasjer eller utenfor bygg.

Kategori A

Svært liten fare for tap av liv. I praksis stillestående vann med en dybde på maksimalt 30 cm. Praktisk grense for områder der vannstandsstigninger og vannhastigheter kan anses å være beregningsmessig beskjedne i henhold til klassifiseringsveilederen.

Figur 4-2: Tilstandskategorier og grenseverdier

Tabell 4-1: Anbefalte grenseverdier for fare for konstruksjonssvikt

Bygningskategori	Dybde (D)	DV-tall (DV)
1 etasjes trehus	1,5 m	3 m ² /s
2 etasjes trehus	3 m	3 m ² /s
Større bygninger med bærende konstruksjon i stål eller betong	3 m	10 m ² /s

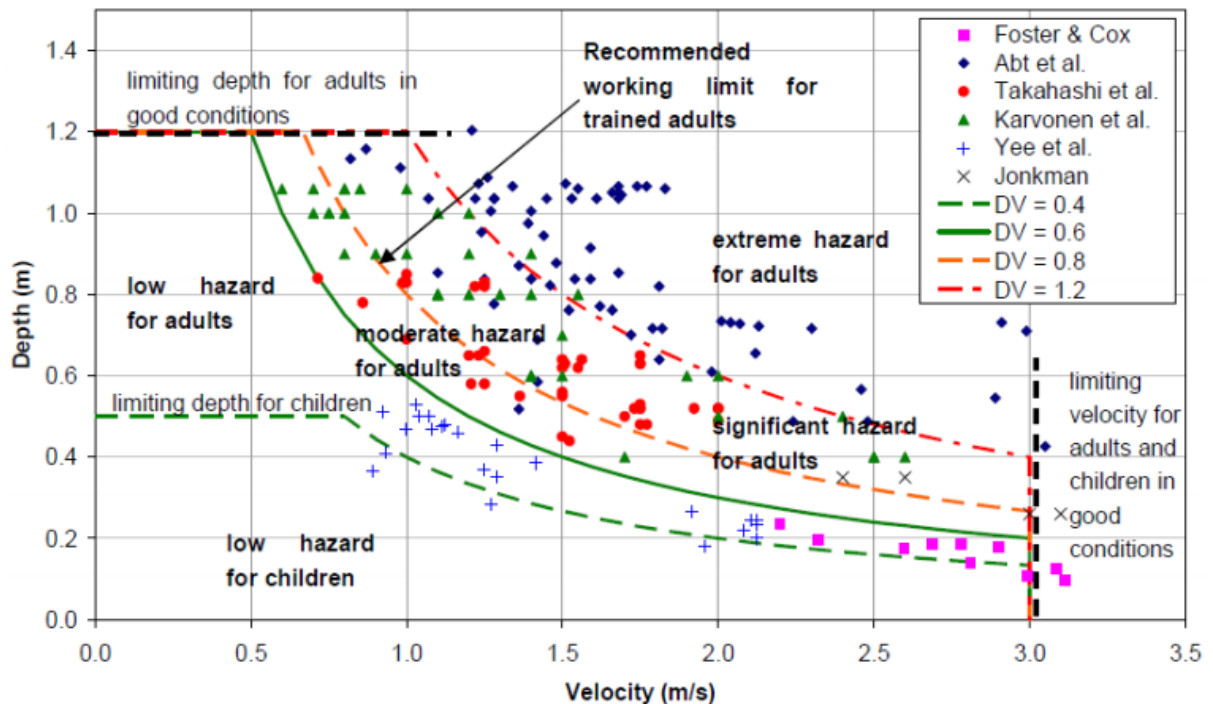
Ved fastsetting av grenseverdiene mellom kategoriene er det sammenliknet anbefalinger fra flere kilder. Siden ulike kilder gir forskjellige verdier er det valgt å være konservativ. Grenseverdiene for konstruksjonssvikt som vist over er satt med den forutsetning at de fleste bygninger kan antas å være en- og toetasjes trehus bygget etter norsk standard. I tillegg må større bygninger med flere etasjer, f.eks. hoteller, industribygg og større leilighetsbygg vurderes særskilt, da det kan være aktuelt å bruke andre grenseverdier for svikt.

Kategori A

Grenseverdiene i kategori A er satt for å representere situasjoner der faren for liv er svært lav. Kategorien gjenspeiler grensen for fare for liv for mennesker som befinner seg i strømmende vann, og samsvarer også med tilsvarende grenser i regelverk brukt andre steder i verden.

For kategori A er den øvre grensen på vanndybde satt lik 0,3 meter og DV lik 0,3 m²/s (maksimal vannhastighet på 1 m/s). Øvre grense er satt blant annet ut ifra fra følgende grunnlag:

- Ifølge myndighetene i Queensland (Australia) sine retningslinjer for vurdering konsekvenser av dambrudd antas det at personer som befinner seg i områder med vanndybde under 0,3 meter er utenfor fare. Dambruddsonen avsluttes der den inkrementelle økningen i vannstand mellom initialsituasjonen og dambruddet er under 0,3 meter [20].
- I modellen *LifeSIM* defineres alle områder med vanndybde under 2 amerikanske fot (ca. 0,61 meter) ikke som en del av dambruddsonen og personer som oppholder seg her utenfor fare [21].
- I henhold til veilederen «*Flood Risk to People*» utarbeidet av UK Environment Agency og Department for Environment, Food and Rural Affairs, er det svært lav fare for liv ved vannstander under 0,25 meter [14]. Ved en vanndybde på 0,5 meter og hastighet på 1 m/s vil noen personer oppleve vanskelighet med å holde balansen, det samme gjelder for vanndybde på 0,3 meter og hastighet på 2 m/s. Ved vanndybde på 0,6 meter og hastighet på 2 m/s vil de fleste personer miste balansen.
- Nedre grenseverdi for delvis skade på dårlig utførte kanadiske trehus ligger rett i underkant av 0,5 meter [15].
- Blant 46 registrerte dambrudd- og flomhendelser var det ingen dødsfall i områder med DV-tall med verdi under 1 m²/s [22].



Figur 4-3: Sammenlikning av ulike studier på grenseverdier for stabilitet av mennesker i strømmende vann [16]

Figur 4-3 viser en sammenlikning av ulike studier av grenseverdier for stabilitet av mennesker som oppholder seg i strømmende vann. Som en ser av figuren ligger valgte grensene for kategori A godt innenfor området som defineres som «lav fare for barn». Skade på bygninger i kategori A vil begrenses til innvendige oversvømmelser.

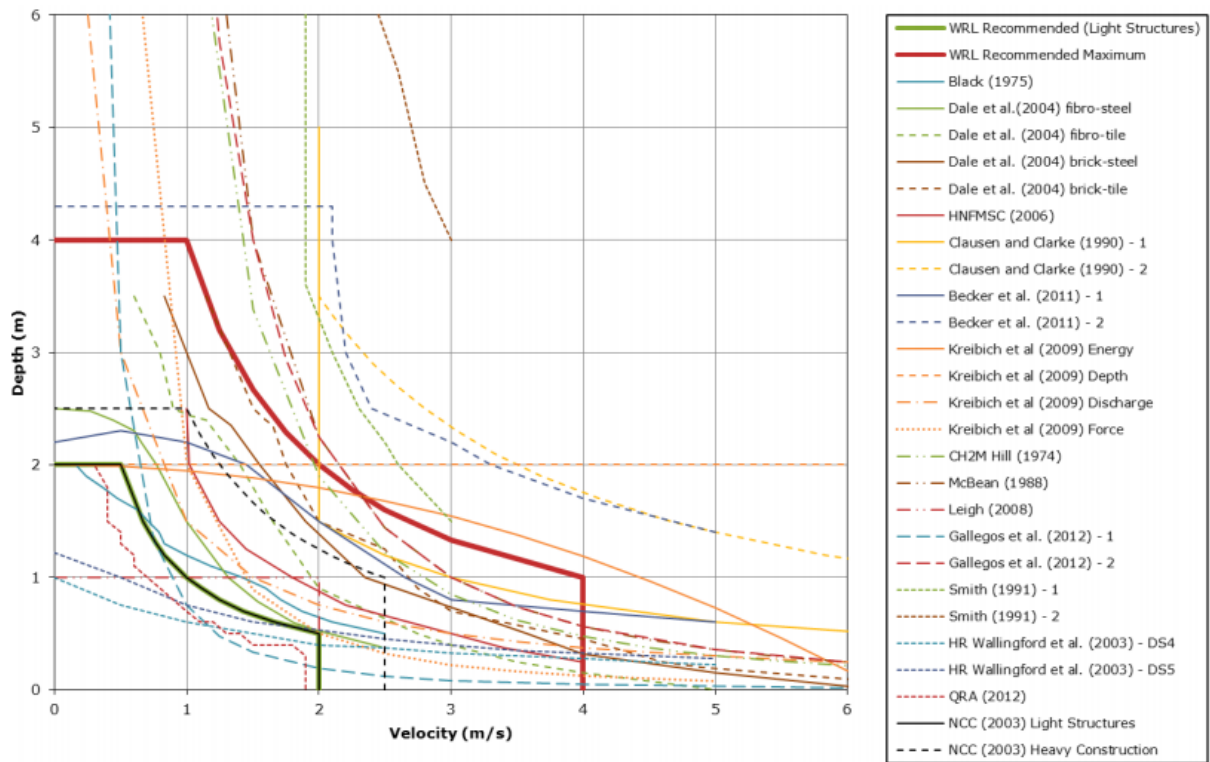
Kategori B

Kategori B inneholder bygninger der vannstand og DV-tall vurdert opp mot grunnforhold, fundamentering og byggets bærende konstruksjon tilsier at det ikke er fare for konstruksjonssvikt. Det vil likevel kunne oppstå skader på bygningene i form av brudd på vinduer og dører som fører til innvendige oversvømmelser. I virkeligheten vil grensen mellom delvis skade og full konstruksjonssvikt variere stort og avhenge av bygningsmateriale, byggemetode og kvaliteten på utførelse ved oppføring av bygningen.

Faren for liv i denne kategorien er ikke alltid åpenbar og trenger ofte en nærmere vurdering. I bygninger som har flere etasjer antas det i henhold til metoden at kun personer som oppholder seg i de berørte etasjene er utsatt for fare. De øvre grenseverdiene for kategori B er satt ut ifra en rekke litteratur på stabilitet av bygninger i strømmende vann, som nærmere beskrevet under. Det er satt ulike grenseverdier for bygninger basert på antall etasjer og bygningsmateriale.

Tabell 4-2: Sammenlikning av grenseverdier for skade på bygninger fra RESCDAM og Life Safety Model

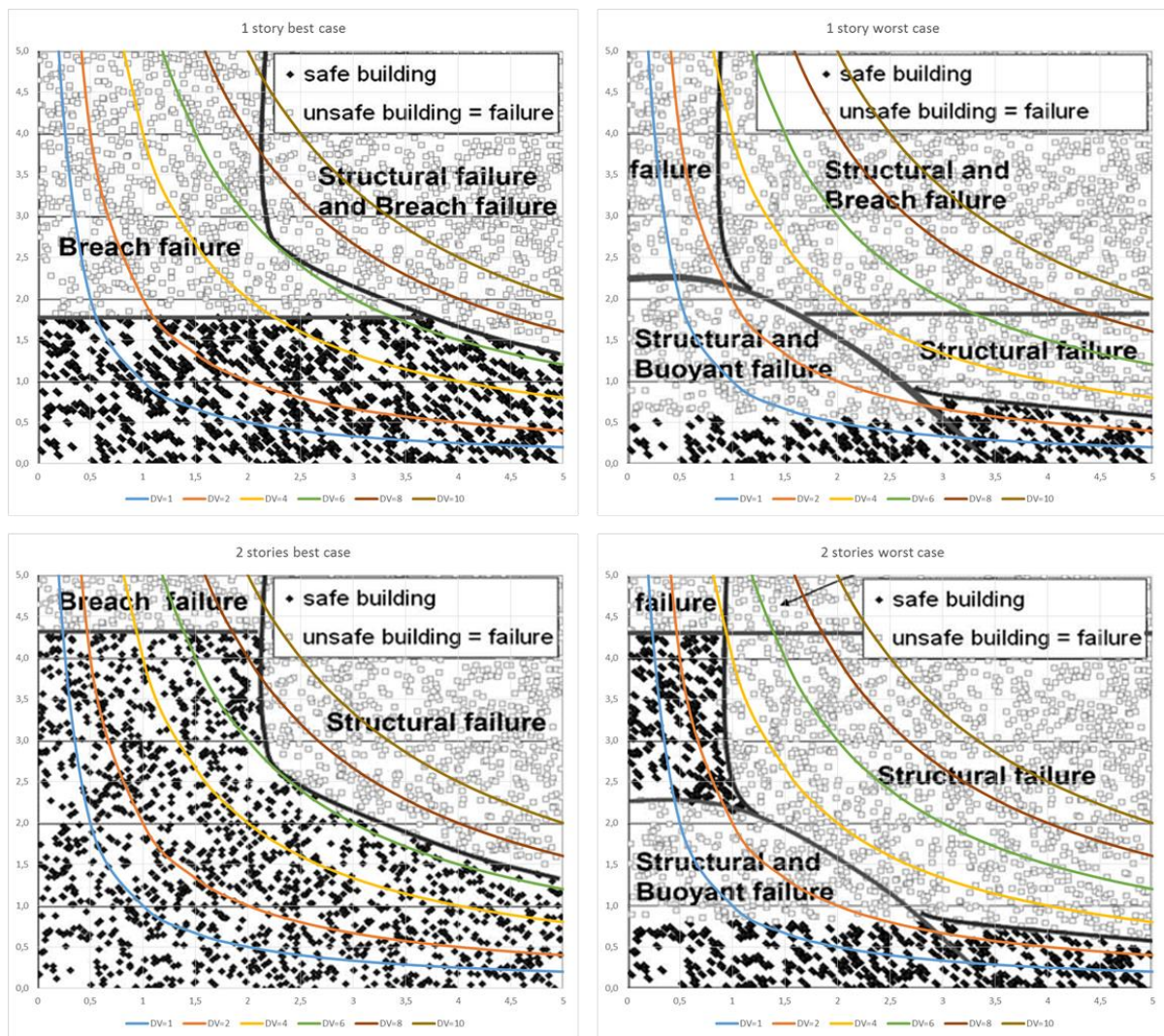
RESCDAM [17]			BC Hydro Life Safety Model [21]	
Type bygg	Delvis skade [m ² /s]	Totalskadet [m ² /s]	Type bygg	Totalskadet [m ² /s]
Trebygg, uforankret	≥ 2	≥ 3	Dårlig utført bygg	≥ 5
Trebygg, forankret	≥ 3	≥ 7	Velbygd trehus	≥ 10
Murbygg	≥ 2	≥ 2	Velbygd murhus	≥ 15
Betongbygg	≥ 3	≥ 7	Betongbygg	≥ 20
			Store betongbygg	≥ 35



Figur 4-4. Sammenlikning av stabilitetsgrenser for bygninger fra ulike studier [16]

Tabell 4-2 sammenlikner grenseverdier for delvis skade og totalskade på ulike type bygninger fra EU-prosjektet RESCDAM og BC Hydros Life Safety Model. Figur 4-4 viser en sammenlikning av grenseverdier for skade på bygninger fra en rekke ulike studier. Figur 4-5 viser teoretiske stabilitetskurver fra en studie for kanadiske trehus fra 2011. I studiet skilles det mellom bygninger med en og to etasjer, samt god og dårlig utførelse ved oppføring av bygningen. Som det fremkommer av

Tabell 4-2, Figur 4-4 og Figur 4-5 gir ulike studier svært ulike resultater. Studiene er heller ikke direkte sammenlignbare da de er utført for forskjellige typer bygninger, bygningsmaterialer og byggemetoder.



Figur 4-5: Stabilitetsgrenser for kanadiske trehus [15]

Bygningsmaterialer og byggemetode for kanadiske trehus er relativt sammenlignbart med norske trehus. Av den grunn er det valgt å legge vekt på resultatene fra det kanadiske studiet ved fastsetting av de øvre grenseverdiene for kategori B. Det er satt ulik grense for vanddybde for trehus med en og to etasjer. Trehus med en etasje har øvre grense for vanddybde på 1,5 meter og DV-tall på $3 \text{ m}^2/\text{s}$. For trehus med to etasjer er det satt øvre grense på vanddybde på 3 meter eller DV-tall lik $3 \text{ m}^2/\text{s}$. De øvre grenseverdiene ligger godt innenfor «best case» og en del over «worst case» i henhold til studiet for kanadiske trehus. DV-tall lik $3 \text{ m}^2/\text{s}$ tilsvarer også grensen for total skade på uforankrede trehus og delvis skade på forankrede trehus i henhold til RESCDAM. Mange kilder oppgir også en grense for konstruksjonssvikt av velbygde trehus på DV lik $3 \text{ m}^3/\text{s}$ eller høyere.

De øvre grenseverdiene gjelder trehus med en eller to etasjer, og er satt med en forutsetning om at de aller fleste vanlige boliger i Norge kan antas å ha tilsvarende utførelse eller bedre. Større bygninger med flere enn to etasjer utført i stål og/eller betong har langt større bestandighet mot

hydrodynamiske krefter. Det er ikke nødvendigvis riktig at slike bygninger skal ha samme grenseverdier for konstruksjonssvikt som trehus. For større bygninger er det derfor satt en øvre grenseverdi på DV-tall lik $10 \text{ m}^2/\text{s}$. Dette er noe høyere enn verdien for betongbygg angitt i RESCDAM, men langt lavere enn angitt i Life Safety Model.

Kategori C

Kategorien representerer situasjoner der bygninger står ovenfor store skader og konstruksjonssvikt. Konstruksjonssvikt kan opptre som oppløft eller fullstendig kollaps. For kategorien er det åpenbart stor fare for liv. I noen tilfeller vil selve bygningskonstruksjonen ha større bestandighet mot hydrodynamiske krefter enn fundamentet f.eks. i soner som er vurdert til fare for erosjon og utglidning. For bygninger som befinner seg innenfor slike områder er det derfor av hensyn til usikkerheten i bestandigheten til fundamentet valgt at disse skal plasseres i kategori C, selv om vanndybde og DV-tall er lavere enn grenseverdiene for svikt av bygningskonstruksjonen.

Midlertidige oppholdssteder

Alle utendørs områder for midlertidig opphold der vanndybde og DV-tall er høyere enn terskelverdiene for kategori A plasseres i kategori C. Sammenliknet med grenseverdiene for stabilitet av mennesker i strømmenede vann i Figur 4-3 er dette noe konservativt. Det er valgt å sette denne grensen for å ta hensyn til barn, eldre og uføre.

4.4.2 Bruk av tilstandskategorier til klassifisering

Hensikten med tilstandskategoriene er å utvikle et system der en får en bedre oversikt og forståelse over skadepotensialet og faren for liv innenfor dambruddsonen. Med tilstandskategoriene vil man ved å beskrive i hvilken grad bygninger berøres enklere kunne skille mellom tilfeller der faren for konstruksjonssvikt og liv er opplagt, og tilfeller som ikke er opplagte og trenger nærmere vurdering.

Det er foreslått en metode for beregning av berørte boenheter basert på tilstandskategoriene. Et viktig prinsipp er å sammenlikne situasjonen før og under dambruddet, og ikke neglisjere situasjonen før eller bygninger som allerede er berørt av initialflommen. I verste fall kan det føre til både under- og overestimering av antall boenheter berørt av dambruddet. Essensen i metoden er å vurdere de inkrementelle endringene i hydrauliske forholdene i vassdraget forårsaket av bruddbølgen.

For å bruke DSHP-metodikken skal man ha godt grunnlag, og det skal blant annet benyttes 2D hydraulisk modell, som nærmere beskrevet i metoderapporten [1]. Dermed er veileder til klassifisering av damanleggs [4] krav om spesielt godt grunnlag for klassifisering til stede, og det kan legges mindre konservative vurderinger til grunn, enn at boenheter telles dersom vann når frem til grunnmuren. NVE spesifiserer i veilederen at dette gjelder for følgende situasjoner:

- «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»
- «NVE vil også kunne akseptere at det legges en mindre konservativ vurdering til grunn ved angivelse av antall boenheter der en bruddvannføring bare vil berøre den nederste delen av en eller flere boligblokker med mange leiligheter, og der blokken(e) er solid fundamentert.

Her behøver bare leiligheter som fysisk blir berørt telles med. Samme betraktning kan legges til grunn for andre fleretasjes bygninger der mennesker oppholder seg, f.eks. hotell.»

Disse formuleringene er lagt til grunn i vurderingen av hvilke bygninger som skal telles med avhengig av tilstandskategori.

Øvre grenseverdi for kategori A er satt for å gjenspeile tilfeller der det opplagt ikke er fare for konstruksjonssvikt, faren for liv kan ansees som svært liten, og der evakuering kan antas å være relativt enkelt i forhold til situasjoner der det er store dybder og vannhastigheter. Derfor er det foreslått at boenheter tilknyttet bygninger og områder midlertidig personopphold plassert i kategori A ikke telles med i forbindelse med klassifisering.

De øvre grenseverdiene for kategori B representerer skillet mellom delvis skade og fullstendig konstruksjonssvikt for bygninger. Kategori B gjenspeiler situasjoner der bygninger opplever delvis skade, men ikke fullstendig konstruksjonssvikt. Det antas å være reell fare for liv for personer som oppholder i seg i de berørte etasjene eller utenfor bygg. Litteraturen oppgir svært ulike grenseverdier for konstruksjonssvikt og det er derfor valgt å ta utgangspunkt i det som antas å representere norske forhold best og legge seg noe under disse. Siden bygningene i kategori B ikke står i fare for å svikte er det foreslått at kun boenheter tilknyttet de berørte etasjene skal regnes med i forbindelse med klassifisering.

For vurdering av berørte boenheter i kategori B er stige-hastighet innført som en støtteparameter. Stige-hastigheten forteller hvor raskt vannstanden stiger innenfor dambruddsonen. Sett i sammenheng med vann-dybde og DV-tall gjenspeiler stige-hastigheten faren for liv gjennom muligheten for å evakuere ut av dambruddsonen. I «*Flood Severity Method*» deles stige-hastighet inn i tre grader: lav (2,5 cm/min), middels (flere amerikanske fot hvert 5 min ~ 20 cm/min) og høy (60 cm/min) [21]. I RCEM-metoden anbefales det å benytte øvre grense av dødelighetsratene ved stige-hastigheter over 60 cm/min [22].

I DHSP-metoden er det valgt å dele inn i tre faregrader med verdier som er en del lavere enn funnet i litteraturen. Årsaken er at man ønsker en sikker og intuitiv grense for når man kan definere stige-hastigheten som lav. Stige-hastigheten i DSHP-metoden er delt inn i følgende faregrader: Lav (< 1cm/min), middels (1-10 cm/min) og høy (>10 cm/min). For bygninger i kategori B der stige-hastigheten er lav og bølgefronten ankommer senere enn 24 timer etter dambruddet inntreffer, er det foreslått at ingen boenheter telles med i forbindelse med klassifisering. I mange slike tilfeller vil enten evakuering være iverksatt og vannspeilet stiger såpass sakte at de fleste har mulighet til å evakuere ut av dambruddsonen trygt. Men merk at de økonomiske og miljømessige konsekvensene av et slikt dambrudd fremdeles kan tilsi en høyere klasse enn 0.

5 Eksempelprosjekter, beskrivelse og oppsummering

Fire eksempelprosjekter har blitt brukt som casestudier i forbindelse med delprosjekt klassifisering. Et sentralt formål med casestudiene har vært å få erfaring med og videreutvikle klassifiseringsmetodikken som har vært utviklet i forbindelse med delprosjektet. Videre har casestudiene vært håndtert av de forskjellige konsulentene, slik at man har samlet erfaring fra bruk i forskjellige fagmiljøer og slik fått sett på metodikken fra flere vinkler, samtidig som konsulentene har fått praktisk erfaring med bruk av metodikken. Det forskjellige casestudiene er beskrevet i mer detalj i de påfølgende delkapitlene.

Ulleruddammen og Sisseldøla ble håndtert av Multiconsult. Løkjelsvatn ble håndtert av Norconsult og Lundevatn ble håndtert av Sweco.

For Ulleruddammen og Sisseldøla er det gjort en analyse med den reviderte versjonen av DSHP-metoden, dvs. at bygninger fordeles i tilstandskategoriene A, B og C som beskrevet i kapittel 4.4. Løkjelsvatn og Lundevatn er kun analysert med første utkast av metodikken der det ble brukt andre, og flere, tilstandskategorier. Disse er beskrevet i vedlegg 2.

5.1 Ulleruddammen

Ulleruddammen (Figur 5-1) er en liten steinfyllingsdam som demmer opp Ullerudtjernet rett ovenfor Drøbak sentrum. Tabellen nedenfor gir en del hoveddata for dammen og vassdraget.



Figur 5-1: Oversiktskart Ulleruddammen

Tabell 5-1: Nøkkeldata, Ulleruddammen

Damnavn	Ulleruddammen	
Damtype	Steinfyllingsdam	
Bruddkonsekvensklasse	3	
Lengde	24,0	M
Høyde	4,4	M
NVE magasinnummer	2279	
Magasinnavn	Ullerudtjernet	
HRV	78,3	moh
LRV	-	moh
Magasinareal ved HRV	0,008	km ²
Magasinvolum ved HRV	25 000	m ³
Flomavledning		
Fritt overløp, fast terskel		
Hydrologi		
Nedbørfelt	1,63	km ²
Dimensjonerende gjentakintervall	1000	år
Dimensjonerende klimapåslag	20	%
Middelflom, Q _m	0,8	m ³ /s
Vannstand middelflom	78,58	moh
Dimensjonerende flom, Q ₁₀₀₀	2,7	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand, DFV	78,93	moh
Dimensjonerende flom m/klimapåslag, 1,2·Q ₁₀₀₀	3,2	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand m/klimapåslag, DFV	79,03	moh
Påregnelig maksimal flom, PMF	5,3	m ³ /s
Maksimal flomvannstand, MFV	79,30	moh

Det ble utført dambruddsbølgeberegninger i 2017. Beregningene ble utført i DHI Mike11 og Mike21. Det ble da konkludert med at det blir 71 berørte boenheter. Dammen var tidligere plassert i klasse 2 basert på en skjønnsmessig vurdering uten dambruddsbølgeberegninger, og det ble etter utførte dambruddsbølgeberegninger konkludert med at dammen burde plasseres i klasse 3..

Det er videre gjort en beregning av boenheter med første utkast av DSHP-metodikken. I denne versjonen av metodikken ble det forsøkt å estimere fare for dødsfall i forbindelse med et dambrudd mer direkte enn ved beregning av berørte boenheter. Basert på dybder og DV-tall ble forventet antall omkomne ved dambrudd ved Q₁₀₀₀ beregnet til 1 person.

I etterkant er DSHP-metodikken redigert etter kommentarer på deltakermøtet, slik at metoden er innenfor rammene som settes av dagens regelverk. Med den reviderte versjonen av metodikken er antall berørte bygninger for Q₁₀₀₀ før brudd beregnet til 71 bygg i kategori A og 17 bygg i kategori B.

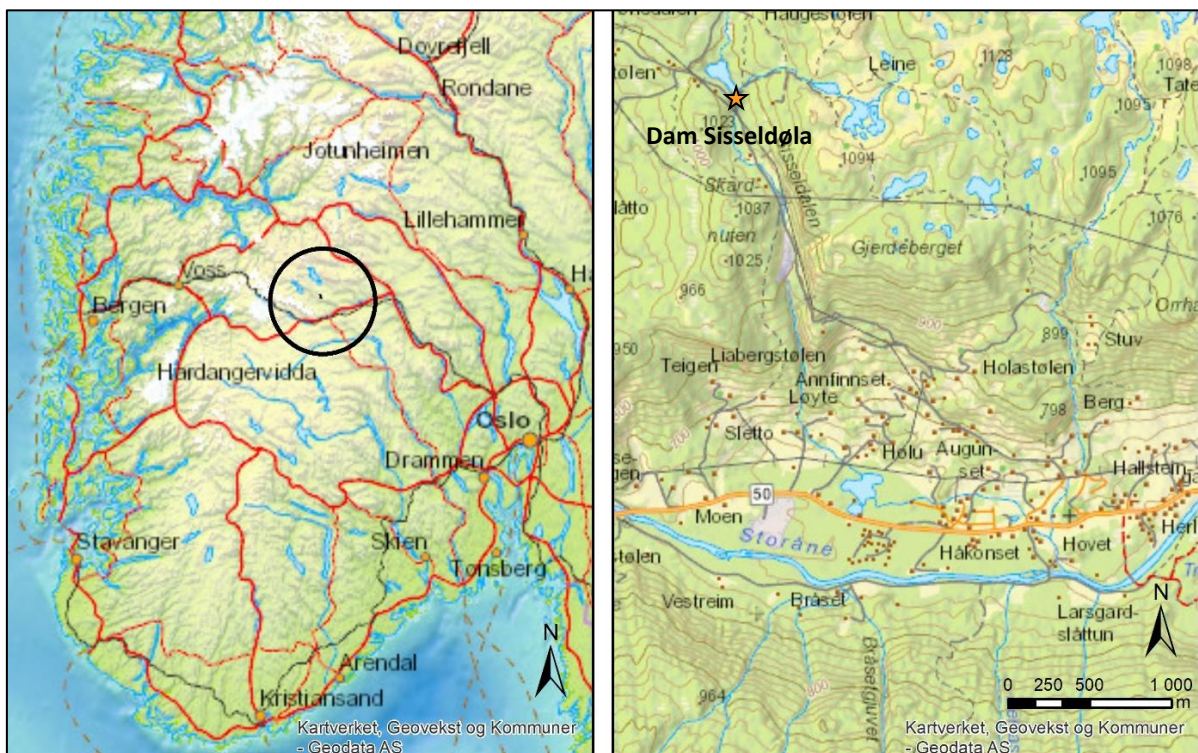
Berørte boligekvivalenter er anslått til 5,2 før brudd. Etter brudd er det beregnet at 161 bygninger er berørt, hvorav 100 er i tilstandskategori A, 60 i tilstandskategori B og 1 i tilstandskategori C. Beregnede boenheter etter fratrukk for kategori A og uberørte etasjer for bygninger i kategori B er 66,7.

Berørte boenheter med tanke på klassifisering er beregnet til 61,2, hvilket tilsvarer konsekvensklasse 3 i henhold til damsikkerhetsforskriften.

Casestudiet viser et eksempel på et tilfelle der DSHP metodikken gav tilsvarende resultater som normal fremgangsmåte. Selv om store deler av dambruddssonen karakteriseres av lave hastigheter og dybder, er det for mange bygninger som er berørt i tilstandsklasse B til at dammen kan settes i konsekvensklasse 2.

5.2 Sisseldøla

Dam Sisseldøla er et bekkeinntak for Hol 1 kraftverk og er lokalisert Sisseldalen i Haugestølsvassdraget i Hol kommune. Sisseldøla er en fyllingsdam med betongkjerne og flomløp bestående av et fritt overløp. Nedbørfeltet til dammen heller sørover og drener fra Sisseldalen i en bratt bekk før terrenget flater ut ved Galam ca. 2 kilometer nedstrøms dammen. Fra Galam drenerer bekken østover mot Hovet og går i samløp med Storåni ca. 400 meter nedstrøms Hovet.



Figur 5-2: Oversiktskart

Tabellen nedenfor gir nøkkeldata for dammen og vassdraget.

Tabell 5-2: Nøkkeldata, Sisseldøla

NVE damnummer	3873	
Damnavn	Sisseldøla	
Damtype	Steinfyllingsdam med sentral betongtetning	
Bruddkonsekvensklasse	3	
Lengde	47	m
Høyde	7	m
NVE magasinnummer	-	
Magasinnavn		
HRV	978,05	moh
LRV	977	moh
Magasinareal ved HRV	0,015	km ²
Magasinvolum ved HRV	42 000	m ³
Flomavledning		
Fritt overløp, fast terskel	37	m
Hydrologi		
Nedbørsfelt	4,7	km ²
Dimensjonerende gjentakintervall	1000	år
Dimensjonerende klimapåslag	20	%
Middelflom, Q _m		m ³ /s
Vannstand middelflom		moh
Dimensjonerende flom, Q ₁₀₀₀	8,3	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand, DFV	978,58	moh
Dimensjonerende flom m/klimapåslag, 1,2*Q ₁₀₀₀	10,0	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand m/klimapåslag, DFV		moh
Påregnelig maksimal flom, PMF	12,5	m ³ /s
Maksimal flomvannstand, MFV		moh

Multiconsult utførte dambruddsbølgeberegninger for dammen i 2014 i 2-dimensjonal modell (Mike21) som konkluderte med at 33 boenheter blir berørt ved dambrudd. Dammen var tidligere plassert i klasse 2 basert på en skjønnsmessig vurdering uten dambruddsbølgeberegninger, men på bakgrunn av berørte boenheter ville dammen plasseres i klasse 3 etter dagens regelverk.

I 2018 utførte Sweco en bunnkartlegging av magasinet som avdekket at det reelle magasinvolumet til Sisseldøla er ca. 42 000 m³. Til sammenlikning ble det benyttet en antagelse om et magasinvolum på 100 000 m³ i beregningene i 2014. Multiconsult utførte derfor nye dambruddsbølgeberegninger for Sisseldøla i 2018 med riktig magasinvolum, som førte til en endret kulminasjonsføring ut av dammen fra 210 m³/s til 110 m³/s. Selv om kulminasjonsvannføringen er halvert blir tilnærmet like store områder oversvømt og nesten like mange bygg berørt av bruddbølgen, men vandybdene og hastighetene er langt lavere. Beregningene fra 2018 konkluderte med at et dambrudd i Sisseldøla ved

1000-årsflom berører 31,9 boenheter, hvorav 2,1 boenheter allerede er berørt ved initialsituasjonen. Dette tilsvarer da fortsatt klasse 3 ved normal fremgangsmåte.

Ved bruk av DSHP-metodikken er det mulig å ta eksplisitt hensyn til at store områder er berørt med lav vannstand og stillestående vann, både i initialsituasjonen og etter dambruddet. I initialsituasjonen ble det funnet at 6 bygninger, tilsvarende 1,1 boenheter (en enebolig og ett fritidsbygg) er i tilstandskategori A, dvs. dybde < 0,3 m og DV < 0,3 m²/s. Mens 5 boliger, tilsvarende 1 boenhet (en enebolig) klassifiseres i tilstandskategori B, der det vurderes å ikke være fare for konstruksjonssvikt. Eneboligen i tilstandskategori B vurderes å være berørt i initialsituasjonen, mens boenhetene i tilstandskategori A ikke telles med. Dermed regnes 1 boenhet å være berørt før brudd.

Når dambruddet inntreffer berøres totalt 38 bygninger tilsvarende 20,6 boenheter. Av disse er 17 bygninger i tilstandskategori A og 21 bygninger i tilstandskategori B. Det er ingen bygninger som havner i tilstandskategori C, med fare for konstruksjonssvikt. Av bygningene i tilstandskategori B er det 7 eneboliger og 1 fritidsbolig som utgjør boenheter, og alle disse regnes som berørt etter en nærmere vurdering. Totalt antall berørte boenheter etter brudd blir da 7,1, korrigert for bygninger i tilstandskategori A.

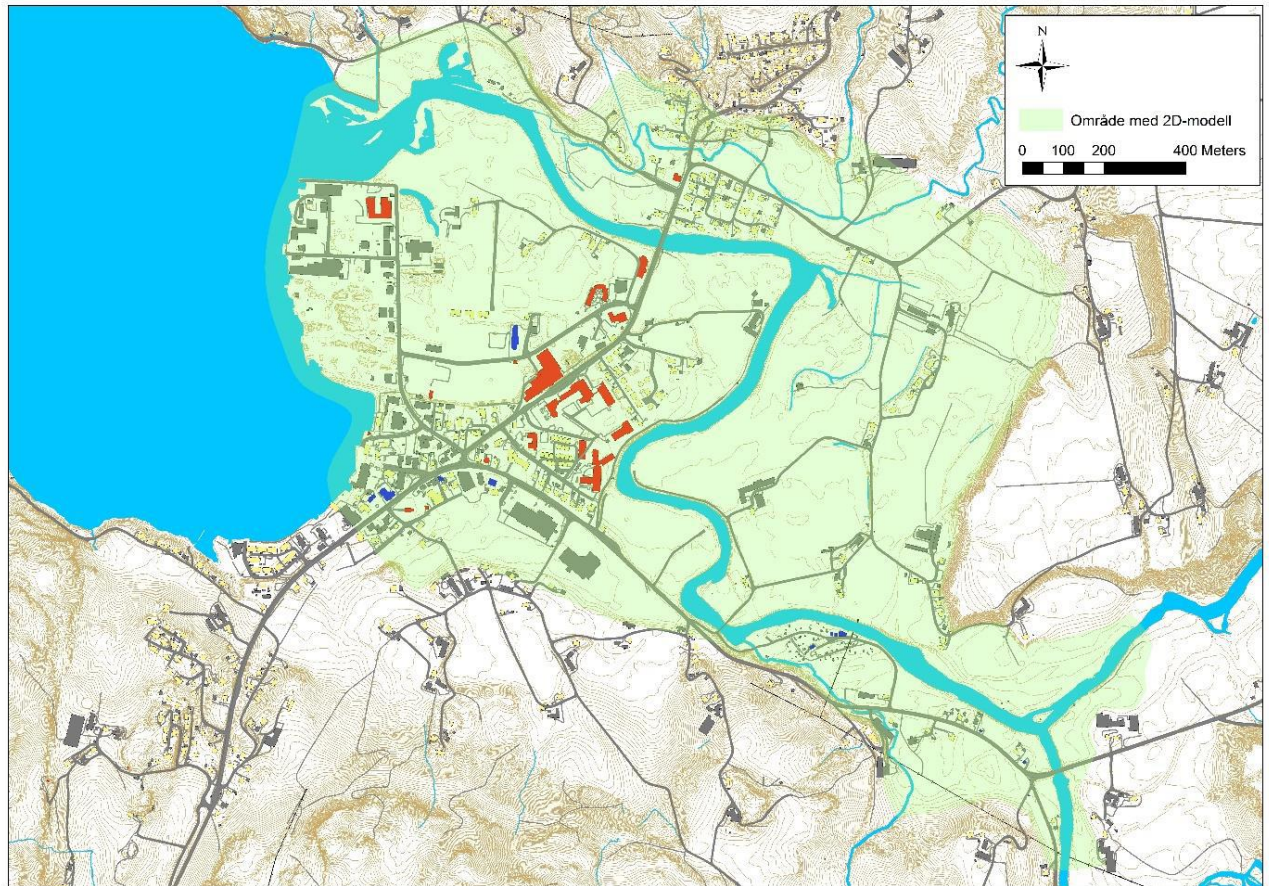
Boenhetene som skal regnes med tanke på klassifisering utgjør berørte boenheter ved brudd fratrukket berørte boenheter i initialsituasjonen, dvs. 6,1 boenheter totalt. Dette tilsvarer konsekvensklasse 2 i henhold til damsikkerhetsforskriften, ned fra konsekvensklasse 3 ved en konservativ vurdering av berørte boenheter etter normal fremgangsmåte.

Casestudiet viser hvordan metodikken kan brukes til å kvantifisere omfanget av boenheter som er berørt med lav vannstand og hastighet, og der det er relativt liten fare for liv og helse. Det bemerkes også at klassen som fremkommer etter bruk av metodikken er i tråd med tidligere skjønnsmessig vurdering, og i tråd med fagansvarlig og dameiers oppfatning av reell fare for liv og helse ved dambrudd.

5.3 Løkjelsvatn

Løkjelsvatn er magasin for Hardeland H kraftverk og er lokalisert i vassdraget til Sør- og Etneelva i Etne kommune. Det er flere dammer i magasinet, men for denne casen er kun brudd på hoveddammen vurdert. Magasinet har et totalvolum på ca. 72 mill. m³ og HRV på 625,61 moh. Hoveddammen er en tørrmurt murdam med frontaltetning i betong med kronelengde på ca. 26,7 meter og største høyde på ca. 14,4 meter.

Nedbørfeltet til dammen heller vestover og drenerer til Sjørelva i bratt terreng fram til Hardelandsvatnet ca. 1,2 km nedstrøms dammen. Hardelandsvatnet er magasin for Litledalen kraftverk og har lengde på ca. 1 km og har HRV på 198 moh. Fra utløpet av Hardelandsvatnet renner Sjørelva ca. 1,2 km i bratt terreng videre til Litledalsvatnet som har en lengde på ca. 2,2 km og overflateareal på ca. 1 km². Etter utløpet av Litledalsvatnet renner Sjørelva ca. 4 km videre før den går i samløp med Nordelva og danner Etneelva. Etneelva når fjorden ca. 2,3 km nedstrøms samløpet. Den totale avstanden fra Løkjelsvatn til utløpet av Etneelva i fjorden er ca. 10 km.



Figur 5-3; Oversikt, dam Løkjelsvatn

Tabellen nedenfor gir en del hoveddata for dam og vassdrag.

Tabell 5-3 Hoveddata dam og nedbørfelt

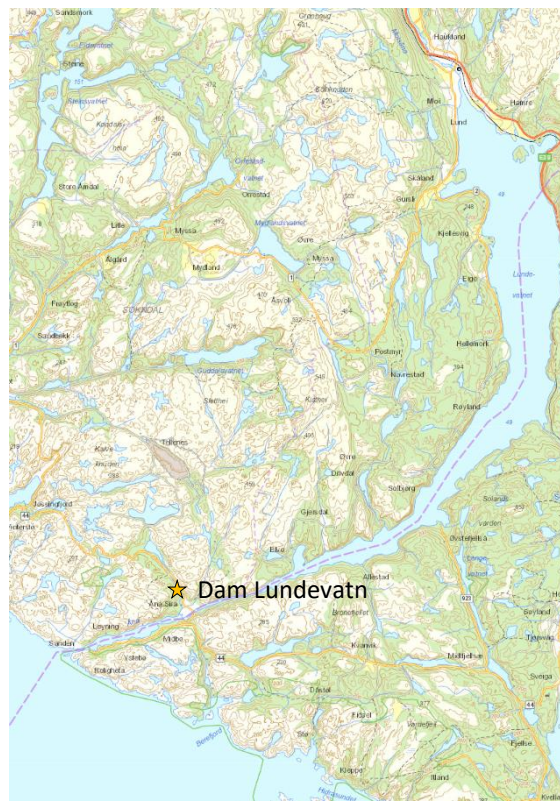
NVE damnummer	1988	
Damnavn	Løkjelsvatn hoveddam	
Damtype	Murdam	
Bruddkonsekvensklasse	3	
Lengde	26,7	m
Høyde	14,4	m
NVE magasinnummer	781	
Magasinnavn		
HRV	605,44	moh
LRV	625,14	moh
Magasinareal ved HRV	4,55	km ²
Magasinvolum ved HRV	7 170 000	m ³
Flomavledning		
Fritt overløp, fast terskel	37	m
Hydrologi		
Nedbørfelt	32,95	km ²
Dimensjonerende gjentakintervall	1000	år
Dimensjonerende klimapåslag	20	%
Middelflom, Q _m	78,0	m ³ /s
Vannstand middelflom		moh
Dimensjonerende flom, Q ₁₀₀₀	274,0	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand, DFV		moh
Dimensjonerende flom m/klimapåslag, 1,2*Q ₁₀₀₀		m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand m/klimapåslag, DFV		moh
Påregnelig maksimal flom, PMF		m ³ /s
Maksimal flomvannstand, MFV		moh

Norconsult utførte dambruddsbølgeberegninger for hoveddammen til Løkjelsvatn i 2014 og igjen i 2017. Beregningene i 2014 ble utført med en 1D-modell for hele strekningen mens beregningene i 2017 ble utført med en kombinert 1D- og 2D-modell. Et dambrudd på Løkjelsvatn fører til dominobrudd på dam Hardelandsvatn, og begge beregninger konkluderte med at middelflom fører til størst inkrementelle skader. Det er ikke beregnet berørte boligekvivalenter i noen av rapportene, hverken for brudd ved middelflom eller dimensjonerende flom, men rapporten fra 2017 konkluderer med at dammen trolig tilhører konsekvensklasse 3.

Beregningene gjort med første utkast av DSHP-metodikken gav 25,3 berørte boenheter før brudd og 70,7 berørte boenheter etter brudd. Dette tilsvarer klasse 3 i henhold til damsikkerhetsforskriften, altså samme konklusjon som rapporten fra 2017.

5.4 Lundeavatn

Dam Lundeavatn demmer opp inntaksmagasinet for Åna-Sira kraftstasjon nederst i Sira-vassdraget. Dammen og magasinet er lokalisert på grensen mellom Lund og Flekkefjord kommune og på grensen mellom Rogaland og Vest-Agder. Dammen er ca. 70 meter lang og består av 2 segmentluker på 13 x 4,3 (B x H) meter samt en 31 meter gravitasjonsdam med fast overløp.



Figur 5-4: Oversiktskart

Tabellen nedenfor angir noen nøkkeltall for dammen og vassdraget.

Tabell 5-4 Nøkkeldata dam og nedbørfelt

NVE damnummer	-	
Damnavn	Lundevatn	
Damtype	Gravitasjonsdam/lukedam	
Bruddkonsekvensklasse	2	
Lengde	Ca. 70	m
Høyde	-	m
NVE magasinnummer	-	
Magasinnavn	-	
HRV	48,5	moh
LRV	44,0	moh
Magasinareal ved HRV	27,5	km ²
Magasinvolum ved HRV	-	m ³
Flomavledning		
Fritt overløp, fast terskel	31	m
Segmentluker	2 x 13 x 4,3 (n x B x H)	m
Hydrologi		
Nedbørfelt	-	km ²
Dimensjonerende gjentakintervall	1000	år
Klimapåslag ved dimensjonerende flom	-	%
Middelflom, Q _m	115/350	m ³ /s
Vannstand middelflom	48,5	moh
Dimensjonerende flom, Q ₁₀₀₀	997	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand, DFV	51,07	moh
Dimensjonerende flom m/klimapåslag	-	m ³ /s
Dimensjonerende flomvannstand m/klimapåslag, DFV	-	moh
Påregnelig maksimal flom, PMF	-	m ³ /s
Maksimal flomvannstand, MFV	-	moh

Det ble utført dambruddsbølgeberegninger for dammen i 2019 der det også er gjort beregninger med tanke på klassifisering både etter NVEs standard metodikk og DSHP-metodikken. I brev fra NVE av 25.03.2019 er dammen vedtatt satt i klasse 2 basert på disse beregningene. Dammen var før dette skjønsmessig plassert i klasse 3.

Sweco sine beregninger med alternativ metodikk er gjort for et mer konservativt scenario enn standardscenariet i dambruddsbølgeberegneringsrapporten, der det er antatt erosjon av løsmasser ved dammen og at vannstanden i havet er på 1 m.

Beregningene viste at 1 bygning og 14 fritidsbygg berøres ved brudd ved middelflom, mens 4 eneboliger og 16 fritidsbygg berøres ved 1000-årsflom. Beregningene med første utkast til DSHP-metodikken viste at mange bygninger havnet i tilstandskategorier med lav konsekvens. Antall

beregnete boenheter ble 2,9 boenheter ved middelflom og 6,3 boenheter ved tusenårsflom. Til sammenlikning har Sweco tidligere beregnet henholdsvis 0,6 og 2,2 boenheter med standard metodikk. Det ble da lagt en mindre konservativ dambruddsbølgeberegning til grunn.

Begge beregningene gav et antall boenheter som tilsvarer konsekvensklasse 2 i henhold til damsikkerhetsforskriften.

Vedlegg 1 – Litteraturstudie på regelverk, retningslinjer og metodikk i andre land

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*» [23] 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.

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 å prioritere, håndtere og

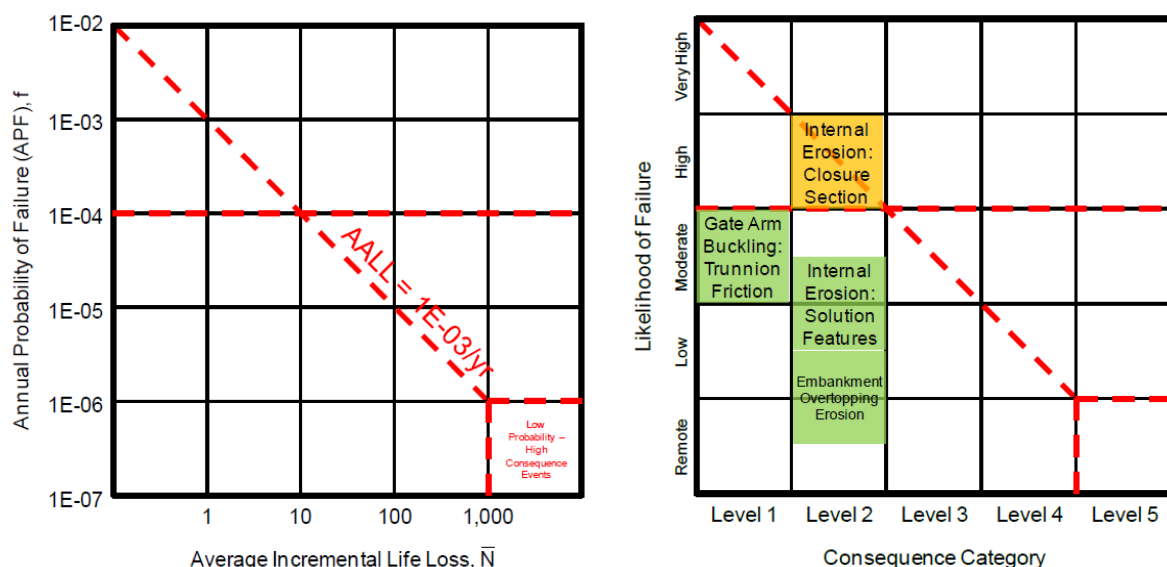
reduere risiko. Retningslinjene er basert på og aksepterer det faktum at det er umulig å fjerne risikoen for dambrudd fullstendig, og gjelder for dammer som tilhører kategoriene «significant hazard» og «high hazard». Beskrivelse av disse kategoriene er vist i Tabell 1: Beskrivelse av klasser iht. USBR

Tabell 1: Beskrivelse av klasser iht. 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 [24]. 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 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 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 damkonstruksjonen.



Figur 1: Eksempel på bruk av risikomatrise ved vurdering av konsekvenser av dambrudd [24]

Anbefalt metodikk for risikoanalyser innen damsikkerhet er samlet i USBRs «*Dam Safety Risk Analysis Best Practices Training Manual*» fra 2010 [25]. Dette er en 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 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 2 viser kategoriene som også er illustrert grafisk på x-aksen i matrisen til høyre i Figur 1.

Tabell 2: USBR konsekvenskategorier for dambrudd [24]

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 av 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 mer enn 1000.

Metodikk 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 [26], 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 og 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 dambruddssone 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 m.m. Ved estimering av PAR er det anbefalt å dele inn dambruddsonen 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]. Denne 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 likevel er mulig å søke tilflukt. 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 bruddbølgen 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 hastighet 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, varslingsstid og forståelsen til PAR av bruddbølgens skadepotensial. Tabell 3 viser de observerte dødelighetsratene fra DSO-99-06.

Tabell 3. Dødelighetsrater basert på casestudier [26]

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
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
	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:

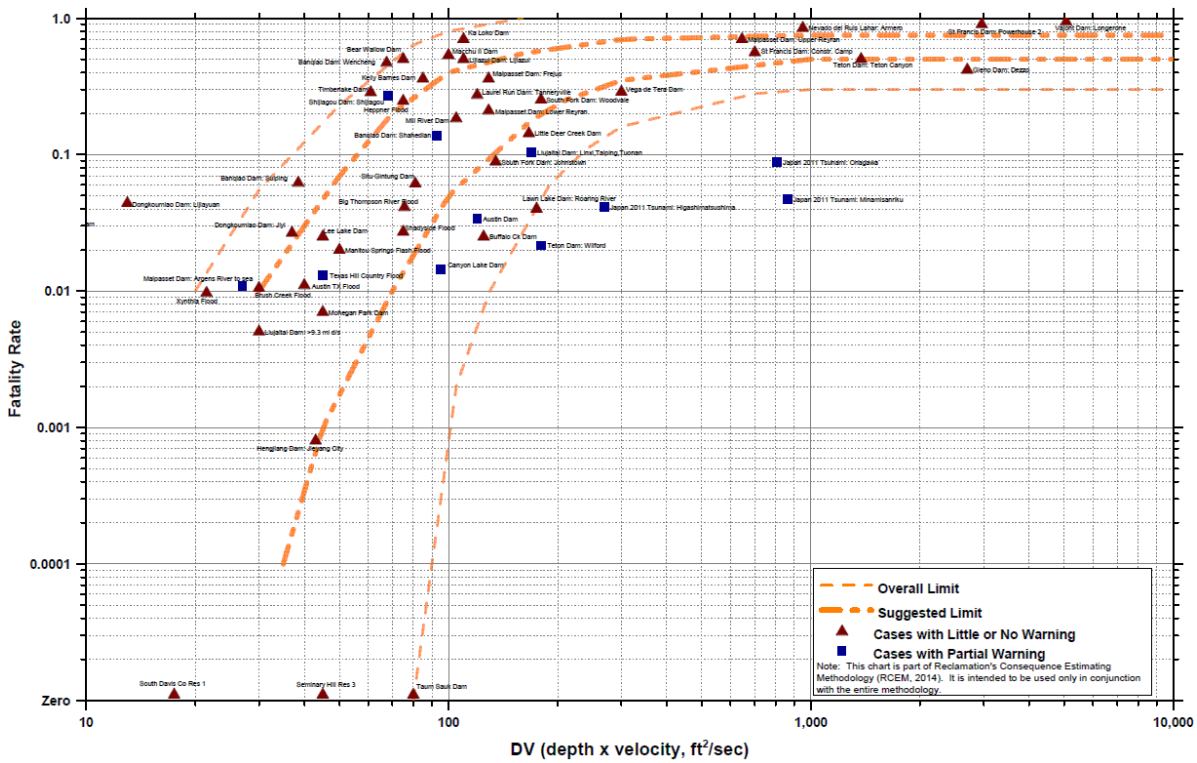
1. Velge scenario for dambrudd
2. Velge tidskategori (årstid og tid på døgnet)
3. Evaluere nedstrøms oversvømte områder som følge av dambruddet
4. Estimere PAR innenfor dambruddssone
5. Estimer tidspunkt for iverksetting av nedstrøms varsling av dambrudd
6. Evaluer varslingsstid for nedstrøms PAR
7. 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.

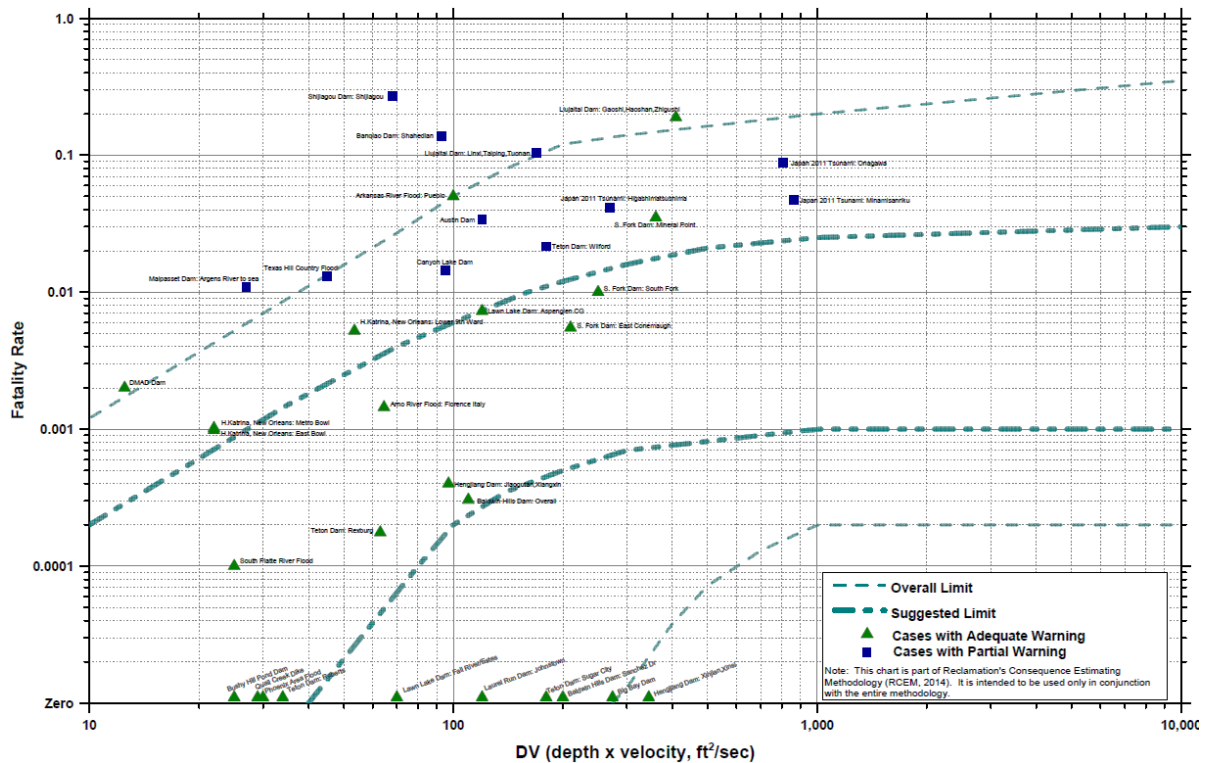
RCEM

I 2014 lanserte USBR «*Reclamation Consequence Estimating Methodology*» (RCEM) [19], som er en videreføring og forbedring av DSO-99-06 [26]. 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 varsling. Videre er inndelingen av DV i tre kategorier fjernet, men heller benyttet til å identifisere et større spekter av dødelighetsrater hvor en, basert på en spesifikk case, kan velge en mer passende dødelighetsrate.



Figur 2. Dødelighetsrater vs. DV – ingen til liten varslings [19]



Figur 3. Dødelighetsrater vs. DV - delvis til adekvat varslings [19]

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

RCEM følger tilnærmet den samme 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 [19].

Flood Comparison Method

I 2007 utviklet URS Corporation Inc. et dataverktøy for risikoprioritering ved damsikkerhet på bestilling fra 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 forsiktighet for dammer med et magasinivolum større enn ca. 6,2 millioner m³ [27].

Dødelighetsrater presenteres 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 4: Dødelighetsrater i henhold til Flood Comparison Method [27]

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 [27].

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 menneskeskapte hendelser 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 5 viser FEMA's system for klassifisering av dammer som deler dammer inn i tre kategorier basert på deres farepotensial for områdene nedstrøms dammen: lavt, signifikant og høyt [28]. 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 eller flere liv.

Tabell 5. FEMA klassifiseringssystem for dammer [28]

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 som 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 forbipasserende turgåere som ikke overnatter innenfor faresonen.

I henhold til FEMA's retningslinjer for klassifisering skal dammens klasse bestemmes ut fra det scenariet ved dambrudd eller feilaktig og/eller uaktsom drift som fører til de *største inkrementelle*

konsekvensene. Scenarier skal velges fornuftig basert på sannsynlige hendelser og være i overenstemmelse 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.

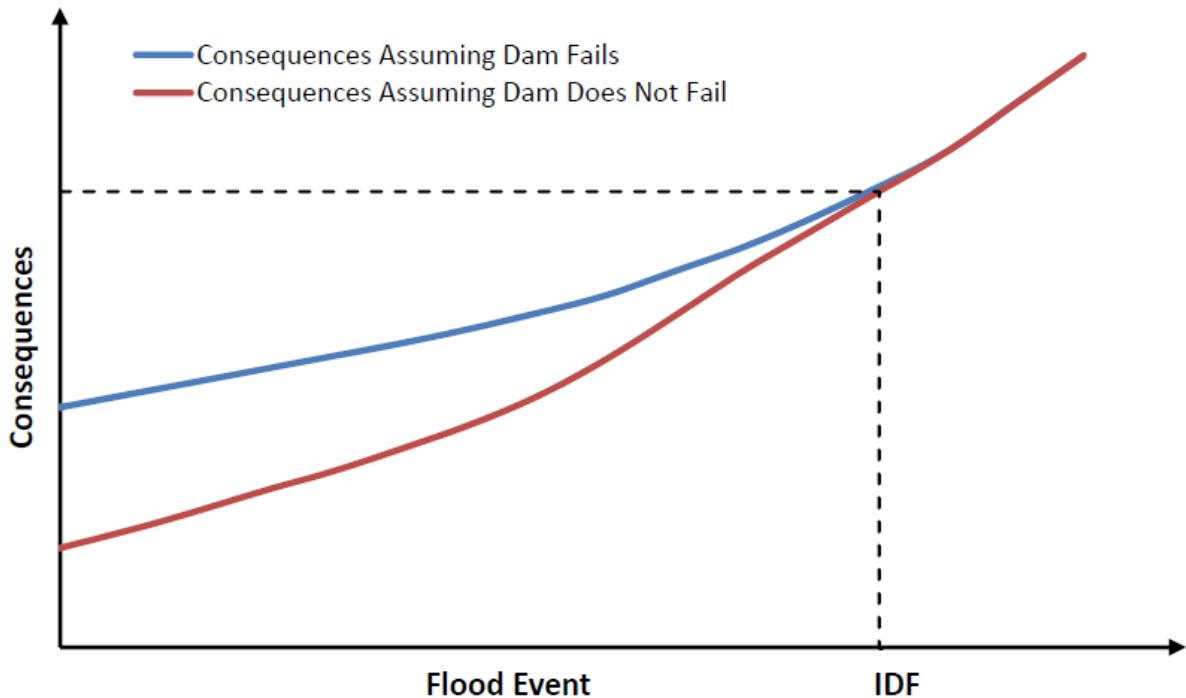
FEMA anbefaler tre prinsipielt forskjellige tilnærminger for bestemmelse av dimensjonerende tilløpsflom for å tilpasse en stor variasjon i mulige situasjoner og tilgjengelige ressurser. Første alternativ er å velge dimensjonerende tilløpsflom basert på dammens klassifisering. Tabell 6 viser FEMA's anbefaling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

Tabell 6. Krav til dimensjonerende tilløpsflom for dammer basert på farepotensial [29]

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.

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



Figur 4. Eksempel på inkrementell konsekvensanalyse [29]

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 mulig hendelse. Denne metoden krever fullstendig vurdering av alle hydrologiske lastsituasjoner og 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 gjentakintervall.
2. **Bestemme hydrologiske laster:** Baseres på farekurven. Hydrologisk last for samtlige kulminasjonsvannføringer, flomvolum og magasin vannstander versus hendelsens gjentakintervall.
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, sannsynlighet 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 oss bekjent har FEMA ikke selv utviklet noen 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.

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 modelleringssystemet 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 7 og Tabell 8.

Tabell 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 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

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

Tabell 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

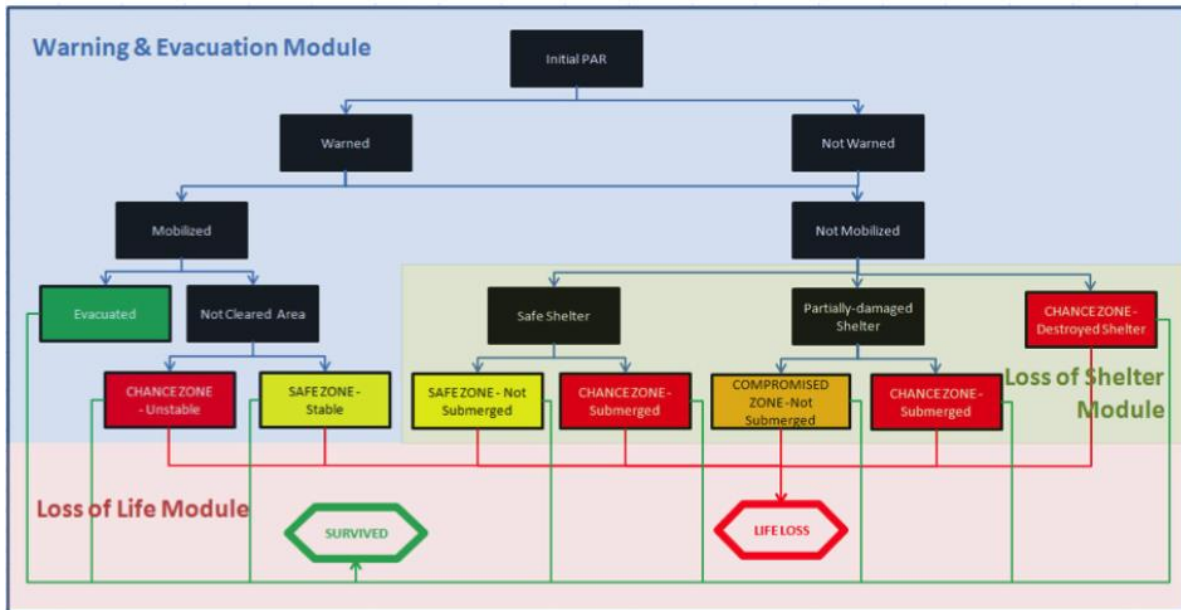
Metodikk for estimering av konsekvenser ved dambrudd

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 5: Skjematisk fremstilling av LIFEsims modul for estimering av tap av liv [27]

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 å 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 bygg og andre tilfluktssteder:** 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 tilfluktssteder 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 tilfluktssteder. Figur 5 viser en skjematisk fremstilling av varsling- og evakueringsmodulen i LIFEsim.
- 4. Modul for tap av liv:** Basert estimert tap av tilfluktssteder 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.

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 10 000 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.

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 som blant annet:

- Inundation, Consequences, and Classification for Dam Safety (2007)
- 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 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 ikke er permanent bosatte nedstrøms dammen.

Tabell 10: CDA klassifiseringssystem for dammer [30]

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 [30].

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 å 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 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 11: BC Hydro stabilitetskriterier for bygg [27]

Building Type	DV threshold (m ² /s)
Poorly Constructed	5
Well Built Timber	10
Well Built Masonry	15
Concrete	20
LargeConcrete	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 varsling 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 av personer som evakuerer til fots. Figur 6 viser en grafisk fremstilling av et eksempel på simulering i LSM.



Figur 6: Eksempel på simulering i LSM [31]

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, initialfordeling 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.

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).

Australian National Committee on Large Dams (ANCOLD)

Australian National Committee on Large Dams (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 ANCOLD en arbeidsgruppe for å sikre et enhetlig og konsekvent grunnlag for vurdering av hydrologisk sikkerhet av dammer i hele Australia [30]. Denne arbeidsgruppen reviderte eksisterende standarder for retningslinjer de i forskjellige statene med hensikt om å bevege seg mot en mer risikobasert tilnærming innen damsikkerhet. Samme år tok ANCOLD en internasjonal 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, blant annet i statene New South Wales og Queensland.

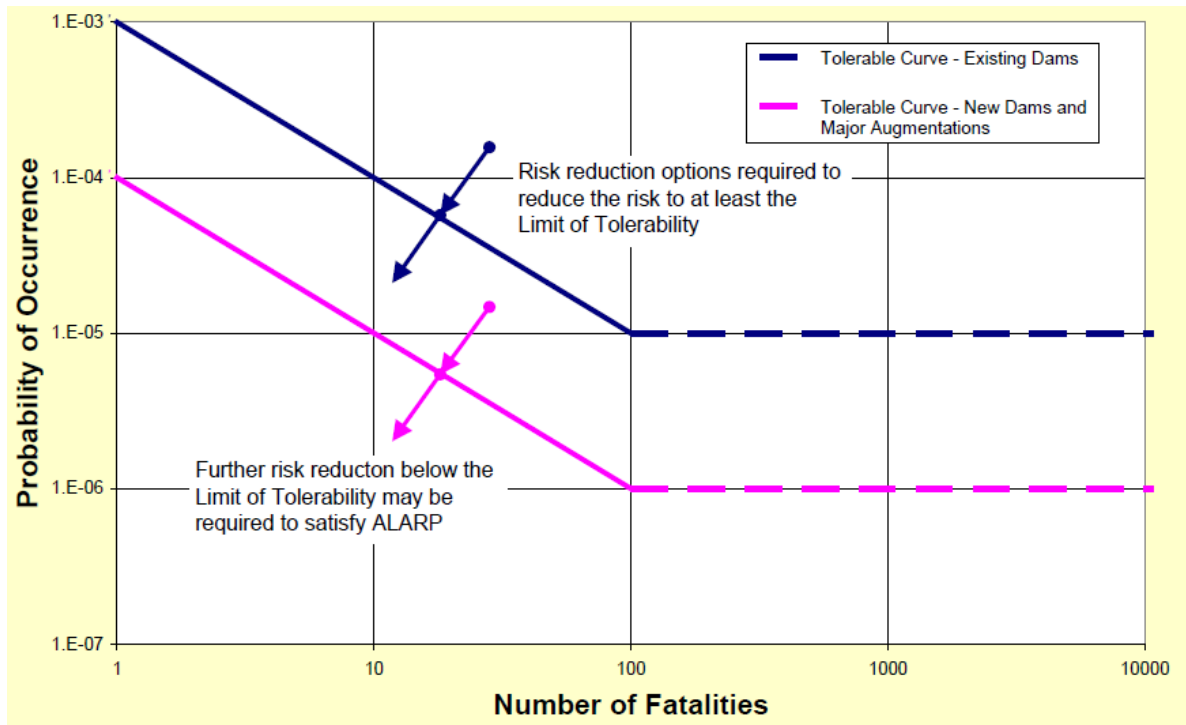
Government of Queensland

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 [32].

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 å redusere risikoen for dambrudd og assosierte konsekvenser til et akseptabelt minimumsnivå sett i praktisk kost-nytte perspektiv. Dette «As Low As Reasonably Practicable»-prinsippet (ALARP) er illustrert i Figur 7 som også viser at retningslinjene skiller mellom krav til eksisterende og nye dammer.



Figur 7: Prinsipp for ALARP [33]

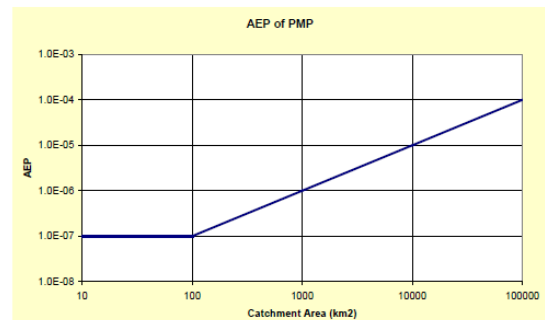
I tillegg presenterer retningslinjene en alternativ metodikk, en deterministisk «fall back» opsjon, om man ikke ønsker å gå veien om en fullverdig risikoanalyse. Figur 8 viser krav til dimensjonerende flomstørrelser for dammer med denne metoden.

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		1.0x10 ⁻⁵			
			Significant		High C		High B				
		1.0x10 ⁻⁴		1.0x10 ⁻⁴	C		C B	B			
100 < PAR ≤ 1000					A		A	A			
					High A		High A	A			
PAR > 1000	If in this region, go to the next highest severity of damage and loss category for the same PAR								PMF		
									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 8: Dimensjonerende flom basert på ratingsystem for kategorisering av farepotensial [33]

Annen internasjonal litteratur

I tillegg til regelverkene vi har gått gjennom ovenfor finnes det en betydelig mengde litteratur om damsikkerhet, flomsikring og tilstøtende temaer. En kilde vi vil fremheve er boken «*Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment*» [34] som gir en god oppsummering av ulike regelverk og beregningsmetoder for blant annet å estimere tap av liv, bygningsstabilitet mm.

En serie artikler vi ser som relevant og som ikke er direkte benyttet i det som er beskrevet over (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 er en metodikk for å estimere tap av liv ved dikebrudd beskrevet i flere artikler av S. N. Jonkman ved TU Delft, metodikken er også gjengitt i boken «*Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment*» 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 stighastighet som forhindrer rask nok evakuering) og til slutt resterende arealer hvor stighastigheten er lavere og mulighetene for å unnsnippe er vesentlig høyere, men det er fremdeles en risiko spesielt knyttet til mennesker med redusert bevegelighet. Dødelighet i bruddsonen 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 dødeligheten estimert med en trendlinje funnet for en lognormalfordeling av vanndybden 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 middelerdi og standardavvik for $\ln(d)$. I sonen med raskt stigende vannstand er $\mu_N = 1,46$ og $\sigma_N = 0,28$ når $d \geq 2,1 \text{ m}$, stighastigheten $w \geq 0,5 \text{ m/h}$ og $DV \leq 7 \text{ m}^2/\text{s}$ eller $v \leq 2 \text{ m/s}$. I den resterende sonen er $\mu_N = 1,46$ og $\sigma_N = 0,28$ når stighastigheten $w < 0,5 \text{ m/h}$, eller hvis $w \geq 0,5 \text{ m/h}$ og $d < 2,1 \text{ m}$ samtidig som $DV \leq 7 \text{ m}^2/\text{s}$ eller $v \leq 2 \text{ m/s}$.

Vedlegg 2 – Førstekast til metode for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd

NOTAT

OPPDRAK	418326 DSHP - forbedret underlag ved klassifisering av dammer	DOKUMENTKODE	418326-RIVass-NOT-002
EMNE		TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAKSGIVER	Energi Norge	OPPDRAKSLEDER	Geir Helge Kiplesund
KONTAKTPERSON	Leif Basberg	SAKSBEHANDLER	Christian Almestad Geir Helge Kiplesund
KOPI		ANSVARLIG ENHET	3081 Midt Vannkraft

SAMMENDRAG

Dette notatet sammenfatter foreslått metodikk for estimering av sannsynlige konsekvenser ved dambrudd i delprosjektet Forbedret underlag ved klassifisering av dammer under Energi Norge sitt prosjekt Damsikkerhet i Helhetlig Perspektiv.

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

1 Bakgrunn og formål

Metodikken som presenteres i dette notatet er tiltenkt to hovedformål ved estimering av konsekvenser ved dambrudd:

1. Skape et bedre grunnlag for å vurdere hvorvidt og i hvilken grad bygg, infrastruktur og øvrige verdier berøres og tydeligere definere i hvilken grad de berøres
2. Bidra til bedre estimering av konsekvenser for menneskeliv, økonomiske verdier og andre verdier

Metodikken som foreslås er en deterministisk tilnærming og baseres i stor grad på empiriske data. Det er valgt å se bort ifra risikoanalyser da dette faller utenfor omfanget av oppdraget. Men det må bemerkes at det fremdeles ligger et element av risikoanalyse i det at vi ikke ser på det absolutt verst tenkelige caset med tanke på befolkning i det berørte området, det ligger der en vurdering av hva som er et sannsynlig scenario.

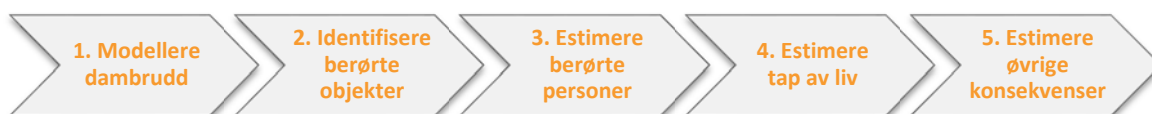
Det er lagt vekt på at metodikken skal være enkel å benytte og basere seg i stor grad på eksisterende teknologi, informasjon og statistikker som er tilgjengelig. Metodikken søker også å bedre benytte muligheter i kjente verktøy og programvare som allerede brukes i stor grad ved dambruddsbølgeberegninger og klassifisering av dammer. Videre gis det forslag til terskelverdier for hydrauliske parametere som vanndybde og vannhastighet for å tydeligere vurdere hvorvidt og i hvilken grad bygg, infrastruktur og andre objekter berøres av et dambrudd.

2 Forutsetninger

Metoden forutsetter et «worst case» scenario for områdene nedstrøms dammen. Dette innebærer at det ikke blir utstedt varsling til beboerne nedstrøms dammen og iverksettes noe organisert evakuering etter at dambruddet inntreffer. Videre forutsettes det at personene som oppholder seg i ulike bygg i det bruddbølgen ankommer ikke har mulighet til, eller velger bort, å evakuere. Det tas ikke hensyn til hvorvidt dette er sannsynlige forutsetninger, men det er valgt å være konservativ siden vi ikke legger mer omfattende risikoanalyser til grunn.

3 Beskrivelse av metodikk for estimering av konsekvenser

Metoden er delt inn i fem steg som vist i figuren nedenfor og det forutsatt at stegene utføres i kronologisk rekkefølge.



Vanligvis vil et naturlig første steg være en grundigere vurdering og definisjon av hvilke scenarier som prioriteres å analysere. Dette vil i hovedsak være aktuelt om det skal gjennomføres større risikoanalyser med formål om å estimere sannsynligheten til alle mulige scenarier for dambrudd og estimere de tilhørende konsekvensene for hvert bruddscenario, eventuelt videre delt opp i ulike konsekvensscenarier med tilhørende sannsynlighet dersom dette er aktuelt. For denne metoden er det derfor forutsatt at det er tilstrekkelig å benytte de samme bruddsituasjonene som definert i NVEs Retningslinjer for Dambruddsbølgeberegninger.

3.1 Steg 1: Modellere dambrudd

Dambruddet modelleres i et hydraulisk modelleringsprogram som eksempelvis HEC-RAS, MIKE, RiverFlow2D e.l. Det eneste kravet til modelleringsprogram er at resultatene kan eksporteres ut i et format som kan benyttes i GIS-programvare. Modellen bør bygges opp etter god modelleringspraksis

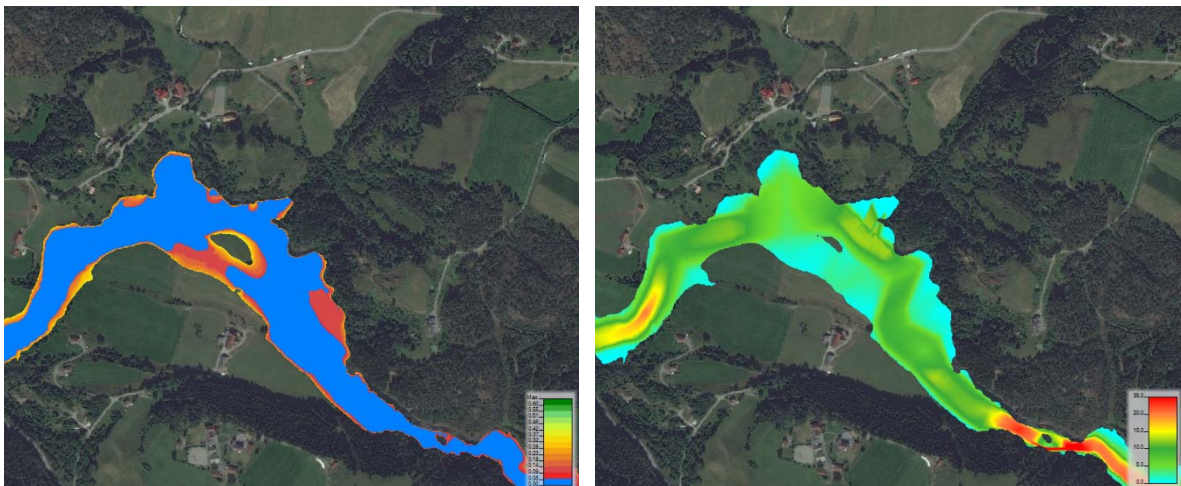
og kalibreres mot registrerte flommer eller vannføringsmålinger. Videre bør modellens sensitivitet ovenfor parametere som blant annet ruhet og inn- og utløpskoeffisienter analyseres. Med bakgrunn i sensitivitetsanalysen bør modellens totale usikkerhet kvantifiseres og beskrives.

Som bemerket i litteraturstudien er dagens retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger primært utarbeidet for beredskapsformål og fyller ikke nødvendigvis på en god måte de behov vi har ved klassifisering av dammer. Vi mener derfor det er høyst aktuelt å vurdere alternative initialbetingelser og grensebetingelser i modellen, spesielt gjelder dette flomsituasjonen i vassdraget når et brudd inntreffer, det kan i en del tilfeller være nødvendig å hydraulisk rute flommen gjennom hele vassdraget for å få en realistisk initialsituasjon. Videre vil vi minne om viktigheten av å realistisk modellere alle hydrauliske begrensninger i systemet, slik som begrensende profiler i magasinet oppstrøms dammen.

Når resultatene foreligger krever metoden at minimum følgende resultater eksporteres for både initialtilstand, bølgefront og bølgetopp:

1. Rasterkart
 - Vannstand og flomdybder i 2D
 - Hastighetskart i 2D
2. Øvrig informasjon i tabellformat
 - Ankomsttider for bølgefront og bølgetopp
 - Kulminasjonsvannføringer

Merk at det også er mulig å lage 2D raster over vandybder og vannhastigheter fra en 1-dimensjonal modell, dette innebærer en del forenklinger men kan i mange tilfeller være tilstrekkelig. Det er også muligheter for å eksportere ytterligere ulike resultatkart i ulike programvarer. Rasterlag kan også enkelt kombineres for å danne nye resultatkart i GIS-programvare, f.eks. vandybde og -hastighetskart kan enkelt kombineres til et DV-kart ved hjelp av et av flere aktuelle verktøy for romlig analyse, HEC-RAS har også dette som et standard resultatformat.



Figur 3-1: Kart over bølgefront og DV i RAS Mapper ved simulering av dambrudd

I RAS Mapper som er postprosesseringsverktøyet i HEC-RAS er det mulig å eksportere rasterlaget «arrival time» som viser tiden fra et bestemt tidspunkt til vannstanden har steget til en definert verdi. Dette er en funksjon som benyttes til å grafisk illustrere bølgefronten. Venstre bilde Figur 3-1 viser et eksempel på et slikt kart.

3.2 Steg 2: Identifisere og kategorisere berørte objekter

I steg 2 utføres en kartlegging av objektene som berøres av dambruddet med påfølgende vurdering av hvilken grad de berøres. Med objekter forstås alle bygg, infrastruktur og øvrige konstruksjoner, samt andre utendørs arealer der personer oppholder seg og naturområder med viktige uerstattelige verdier. Personer defineres ikke i dette steget under objekter, men vurderes i senere steg. Til forskjell fra eksisterende praksis skal også objekter som befinner seg i en flomsone før dambruddet vurderes. Objekter deles inn i tre kategorier:

1. Bygninger (boliger, kontor- og industribygg, sykehus, kulturminner skoler etc.)
2. Infrastruktur (veier, jernbane, broer og andre konstruksjoner som kulverter etc.)
3. Øvrige arealer (campingplasser, festivalområder, naturområder etc.)

Øvrige arealer omfatter alt fra områder der større folkemengder oppholder seg i begrensede, ofte sesongbetingede, deler av året som campingplasser og festivalområder. Videre omfatter denne kategorien alt som ikke faller innenfor kategori 1 og 2, f.eks. naturområder med uerstattelige naturtyper og verdier.

Når alle objekter er identifisert listes de opp i en tabell. I samme tabell kobles resultatene fra den hydrauliske modelleringen. For hvert objekt beskrives de lokale hydrauliske forholdene ved objektet både for initialtilstanden og tilstanden etter dambruddet i form av vannføringer, vannstander, vannhastigheter, ankomsttider for bølgefront og –topp og stigehastigheter. Tabellen nedenfor viser informasjon om objekter og hydrauliske forhold som er nødvendig. Grad av detaljer må tilpasses i hvert prosjekt basert på hva som er mulig å oppdrive av informasjon om objektene, og hvilke resultater som er mulig å eksportere fra den hydrauliske modellen. Det bør likevel tilstrebes å oppnå en høy detaljrikdom med mindre det er u hensiktsmessig ressurskrevende.

Tabell 3-1: Innhold i objektdatatabell

Informasjon om objekt	Initialtilstand	Tilstand etter dambrudd
For bygninger: - Bygningsnr. (xxx xxx xxx) - Byggtypekode - Kommunenr. - Nivå grunnmur - Antall beboere - Evt. antall etasjer - Evt. bygningsmateriale (tre, mur, betong, kompositt) For veier: - Veikategori - Veinr - Lengde berørt strekning - ÅDT - Trafikkmengde	- Vannføring - Vannstand (vanndybde) - Vannhastighet - DV	- Kulminasjonsvannføring - Tidspunkt bølgefront - Tidspunkt bølgetopp - Evt. tidspunkt maksimal vannhastighet - Vannstand (bølgefront og -topp og maksimal vannhastighet) - Vannhastighet (bølgefront og -topp) - DV (bølgefront og -topp og maksimal vannhastighet) - Stigehastighet (mellom initialvannstand og bølgefront, og bølgefront og –topp)

Vurderingen av hvorvidt og i hvilken grad objektene berøres, baseres på en sammenligning av de hydrauliske forholdene før og etter dambruddet, som igjen knyttes opp mot definerte stabilitetskriterier. Stabilitetskriteriene gir terskelverdier for ulike kombinasjoner av vanndybder og vannhastigheter som fører til ulike skader og grad av skade på objektene (kun oversvømmelse, delvis svikt eller full konstruksjonssvikt). For hvert objekt i kategori 1 vurderes objektets tilstand både før og etter dambruddet i henhold til klassifiseringen i Tabell 3-2.

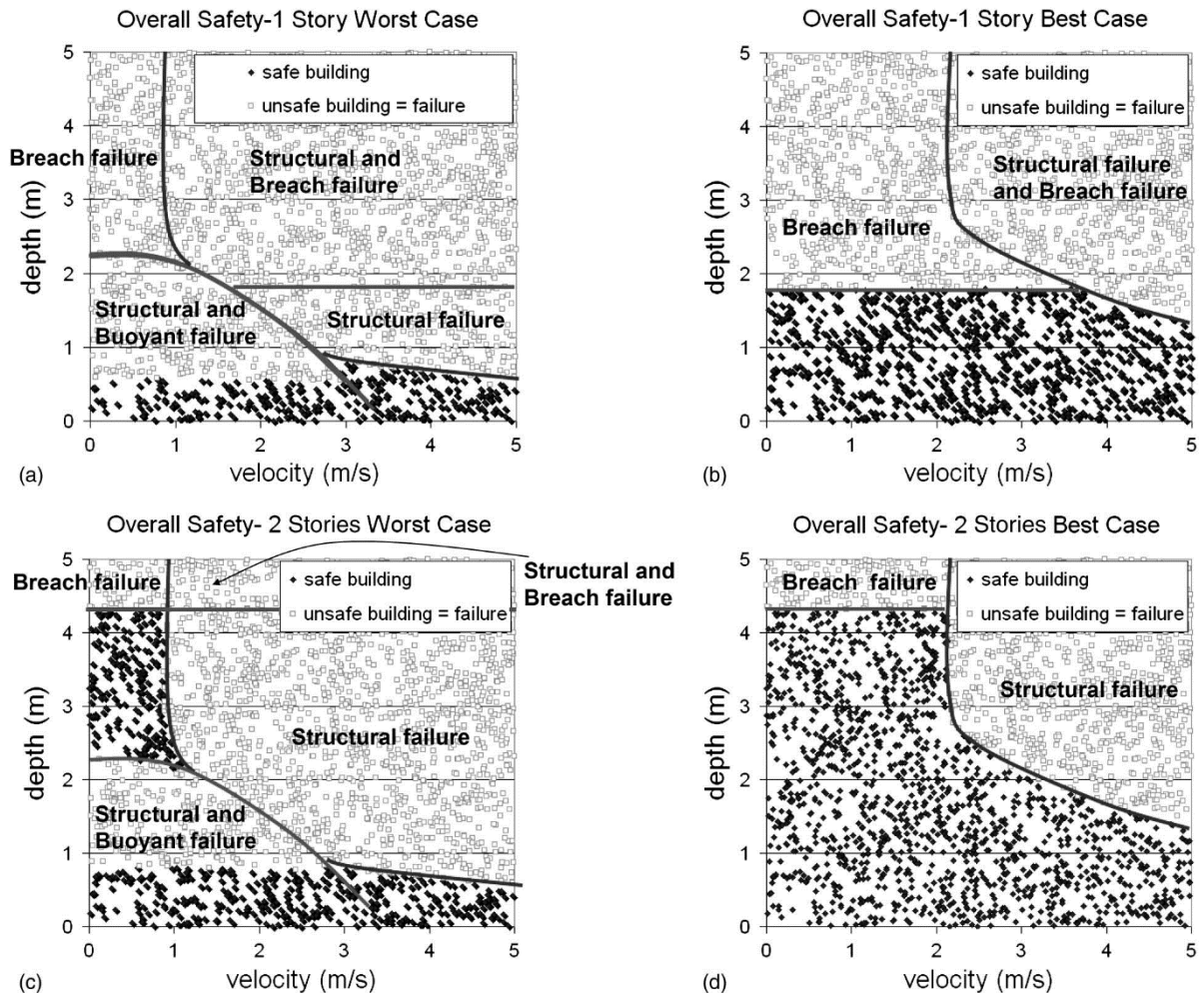
Tabell 3-2 Konsekvenskategorier for bygninger

Konsekvens-kategori	Beskrivelse
A	Vannstand stiger opp på grunnmur/fundament og trenger ikke inn i bygget Ingen skader forventes på bygget annet evt. minimale innvendige oversvømmelser.
B.1	Vannstand stiger moderat over grunnmur/fundament, hastigheten er lav Ingen skader på konstruksjonen forventes annet enn moderate innvendige oversvømmelser
B.2	Vannstand stiger moderat over grunnmur/fundament, hastigheten er moderat Moderate skader på konstruksjonen (brudd på vinduer og dører) og betydelige innvendige oversvømmelser forventes, men fører ikke til konstruksjonssvikt
B.3	Vannstand stiger moderat over grunnmur/fundament, hastigheten er høy Hydrodynamiske laster fører til fullstendig konstruksjonssvikt
C.1	Vannstand stiger høyt over fundament, hastigheten er moderat Oppdrift fører til at konstruksjonen løsner fra fundament hvis dører og vinduer er intakte
C.2	Vannstand stiger høyt over fundamentet, hastigheten er moderat Hydrodynamiske laster fører til omfattende skader og oversvømmelse, men er ikke store nok til å forårsake fullstendig konstruksjonssvikt
C.3	Vannstand stiger høyt over fundamentet, hastigheten er høy Hydrodynamiske laster fører til fullstendig konstruksjonssvikt

Objektene plassering i konsekvenskategoriene i tabellen bestemmes ut ifra kriteriene i Figur 3-2. Kriteriene i denne figuren gjelder kun for trehus opp til to etasjer. For andre typer bygg benyttes verdiene i Tabell 3-3. Verdiene i Figur 3-2 og Tabell 3-3 må sees på som veiledende og må ikke benyttes blindt, men heller komplementære subjektive vurderinger.

Tabell 3-3: Skade og konstruksjonssvikt på bygninger

Type bygg	Grense for delvis skade DV [m ² /s]	Grense for konstruksjonssvikt DV [m ² /s]
Dårlig utført bygg	≥ 2	≥ 5
Velbygd trehus	≥ 3	≥ 10
Velbygd murhus	≥ 3	≥ 15
Betongbygg	≥ 3	≥ 20
Store betongbygg	≥ 3	≥ 35



Figur 3-2: Stabilitetsgrenser ved vannlast på kanadiske trehus [1]

Når byggenes tilstand både før og etter dambrudd er plassert i en kategori danner dette et godt grunnlag for vurdere de inkrementelle konsekvensene av dambruddet. For objekter i kategori 2 (infrastruktur) og 3 (øvrige arealer) vil tilstandsvurderingene før og etter dambrudd være en ren subjektiv øvelse uten veiledende stabilitetskriterier. Det vil heller ikke alltid være relevant med slike tilstandsvurderinger for objekter i kategori 3.

3.3 Steg 3: Estimere berørte personer

I steg 4 estimeres det totale antallet personer som befinner seg innenfor dambruddssonen basert på kartleggingen av objektene i steg 3. Det tas ikke stilling til hvorvidt disse personene er risikoutsatte eller ikke i dette steget. Ved et dambrudd ved en 200-årsflom eller større flommer skal ikke personene som allerede befinner seg innenfor flomsonen før bruddet inntreffer medregnes. Det antas at ved et slikt tilfelle vil personene innenfor denne flomsonen allerede være evakuert. Videre antas det at ingen personer er vitende om situasjonen som er i ferd med å oppstå og at ingen evakuering iverksettes.

Antall bosatte per type bolig varierer geografisk. I tilfeller der et dambrudd berører mange bygg vil estimatet av antatt bosatte per boenhet ha påvirkning på det totale estimatet. Det er derfor beregnet kommunale verdier for bosatte per boenhet for eneboliger, tomannsboliger, rekkehus og boligblokker basert på statistikk fra SSB (elektronisk vedlegg). Dette er ment til å gi et bedre estimat på totalt antall personer som befinner seg i bygg innenfor dambruddssonen.

For andre bygg som ikke omfatter boenheter med permanente bosatte som blant annet sykehus, kontor – og industribygg, kulturbygg etc. må det fremskaffes dokumentasjon på byggenes kapasitet. Det skal antas at antall personer som oppholder seg i byggene tilsvarer gjennomsnittet over året. For øvrige utendørsarealer under objektkategori 3 der det er midlertidig opphold av større mengder personer antas det i utgangspunktet at berørt antall er lik gjennomsnittet over året, det bør dog i slike tilfeller gjøres en vurdering av konsekvensene av dambrudd ved maksimal kapasitet også.

I tilfeller der veier berøres skal Statens Vegvesens kartvisning over ÅDT benyttes for å estimere antall biler som kan passere den berørte veien. Antall biler kan i uoversiktlige situasjoner beregnes etter følgende likning der X er antall timer veien er berørt i løpet av hendelsens varighet:

$$\text{Antall biler} = \frac{x \text{ timer}}{24 \text{ timer}} \times \text{ÅDT}$$

Dette kan gi et noe konservativt antall i mange situasjoner, ofte vil det være mer relevant å se på hvor mange biler vil normalt befinne seg i bruddsonen når bruddbølgen passerer, etterfølgende trafikk vil lett kunne unngå bruddsonen hvis veien er oversiktlig slik at X blir et vesentlig kortere tidsintervall enn den tiden vegstrekningen er berørt. Basert på SSBs reisevaneundersøkelse fra 2014 skal det regnes med 1,5 personer per bil. Ved brudd på jernbane vil sannsynligheten for tap av liv sannsynligvis være klart større enn ved oversvømmelse av vei og brudd i vei. Der det er fare for brudd i jernbanelinje eller fare for avsporing bør det gjøres en konkret vurdering av det enkelte tilfelle.

3.4 Steg 4: Estimere tap av liv

Etter steg 3 og 4 vil alle objekter innen dambruddsonen være kartlagt, tilstanden gitt en kategori og antall berørte personer knyttet til hvert objekt estimert. Tilstandskategoriseringen for bygninger danner et sterkt grunnlag for å vurdere i hvilken grad de berørte personene som oppholder seg i bygningene risikerer å miste livet. Sannsynligheten for tap av liv uttrykkes som en *dødelighetsrate* som er forholdet mellom det totale antallet av berørte personer og antallet av disse som forventes å miste livet. For hvert objekt bestemmes det et intervall for dødelighetsraten basert på vanddybden og hastigheten ved objektet.

Dødelighetsratene for berørte personer velges ut ifra Figur 3-3 og må sees i sammenheng med konsekvenskategoriene i Tabell 3-2. Figur 3-3 er basert på USBRs metode RCEM fra 2014 for estimering av tap av liv ved flomhendelser og dambrudd. Dødelighetsratene er i denne metodikken basert på statistikk fra 46 dambrudds- og flomhendelser med ingen til minimal varsling. Stigehastighet vil også være relevant å vurdere i denne sammenhengen da det vil være en vesensforskjell i dødelighet om bruddbølgen stiger noen meter pr time eller noen desimeter. USBR anbefaler å benytte rater fra de foreslåtte grensene i Figur 3-3 om stigehastigheten er lavere enn ca. 0,6 meter/min. Ved høyere stigehastigheter er anbefalt å benytte den øvre grense.

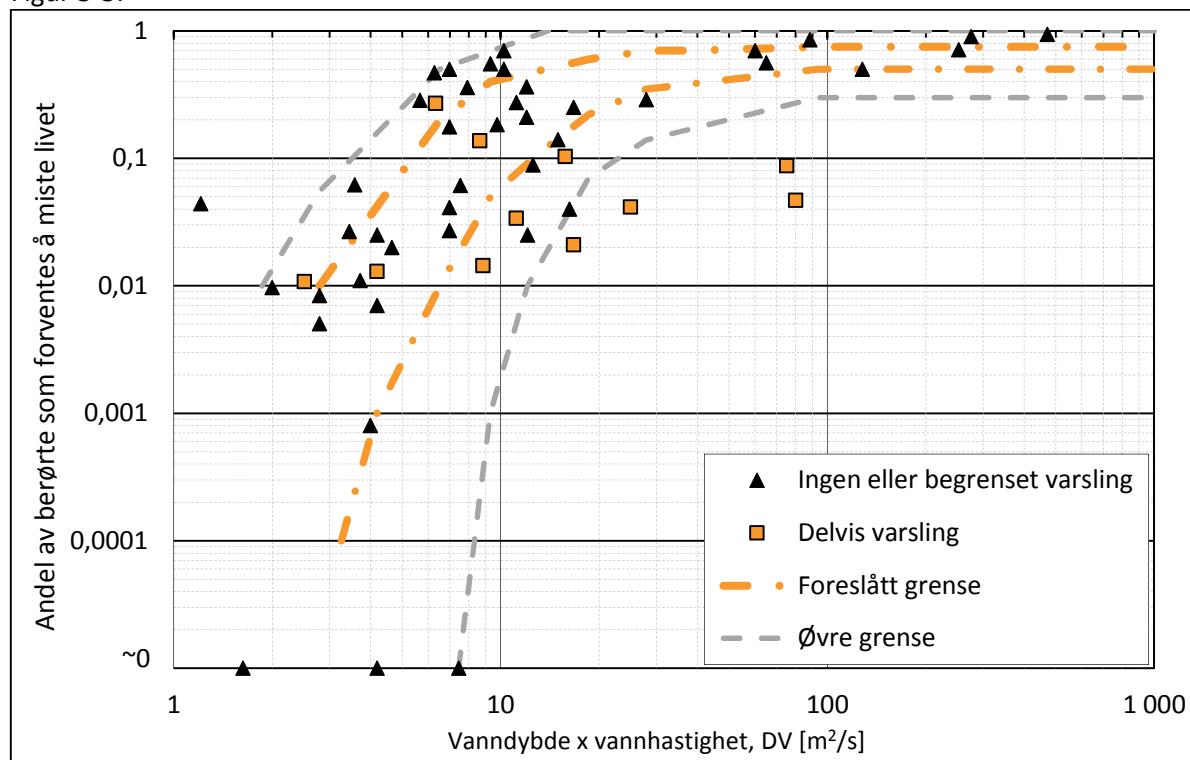
I det elektroniske vedlegget er det fullstendig statistikk for hver hendelse. Ved bestemmelse av dødelighetsratene anbefales det å benytte den dødelighetsraten for den dambruddshendelsen som likner mest på dambruddet som analyseres. Det presiseres at det ikke skal velges én enkelt verdi, men et intervall for å gjenspeile usikkerheten i estimatene. Ved valg av rater må verdiene heller ikke velges blindt kun basert på DV, men også inkludere subjektive vurderinger. For bygg over flere enn én etasje vil det eksempelvis kunne argumenteres med lavere rater da de berørte personene kan evakuere til høyere etasjer.

Når det er valgt dødelighetsrater for hvert objekt beregnes det en nedre og øvre grense for tap av liv, og summeres opp for samtlige berørte bygg i dambruddsonen.

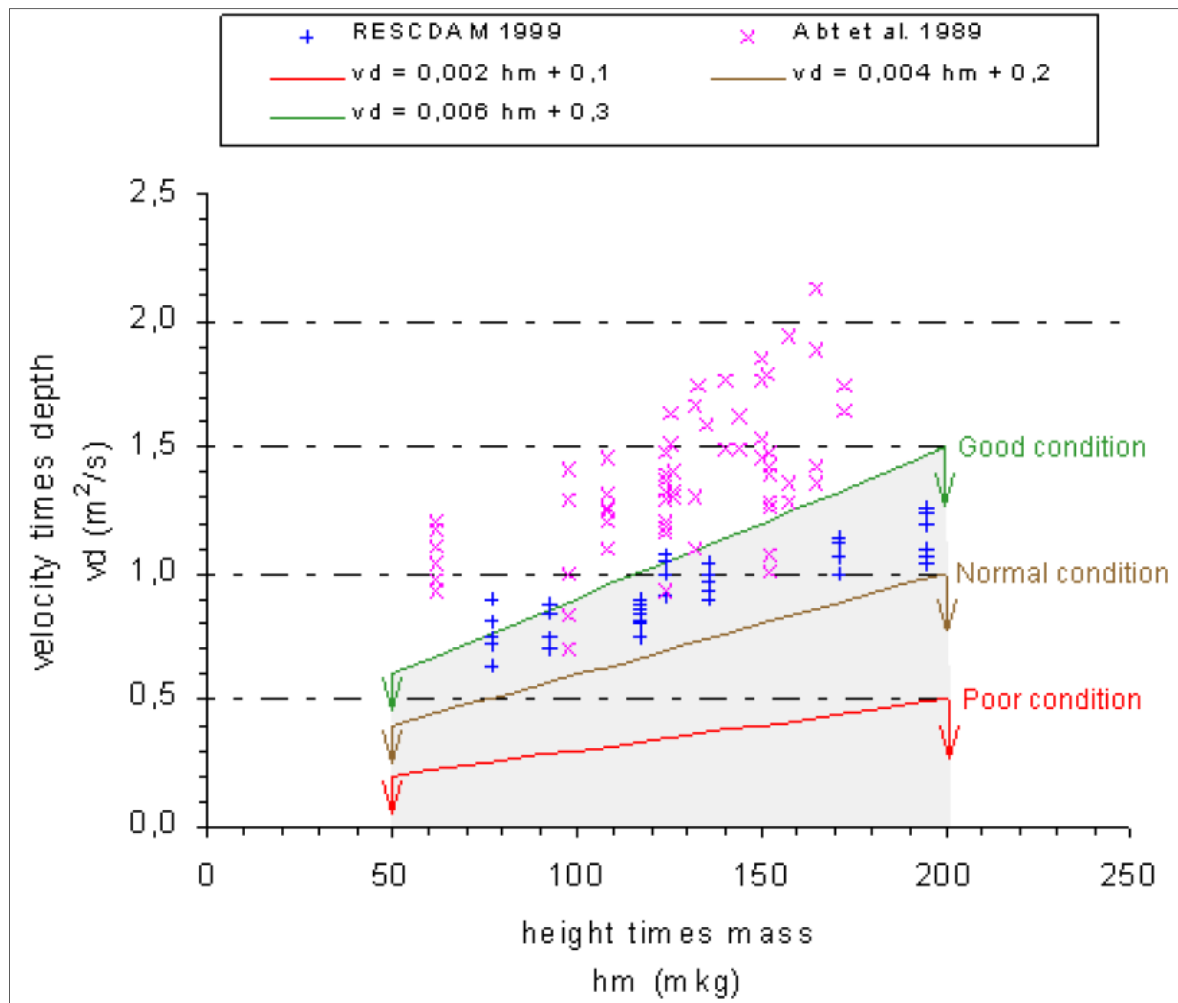
For øvrige utendørs områder i dambruddsonen f.eks. campingplasser og festivalområder må det først vurderes hvorvidt vanddybden og vannhastigheten i disse områdene er så høy at det ikke er mulig for personer å bevege seg kontrollert i vannet. Stabilitet av enkeltpersoner i rennende vannmasser bestemmes ut i fra Figur 3-3 ut i fra høyde og vekt. Eksempelvis vil en gjennomsnittlig mann med

høyde på 179 cm og vekt på 74 kg (SSB) ved «normale» forhold miste kontrollen i bevegende vann ved DV lik ca. $0,7 \text{ m}^2/\text{s}$.

Figur 3-3:

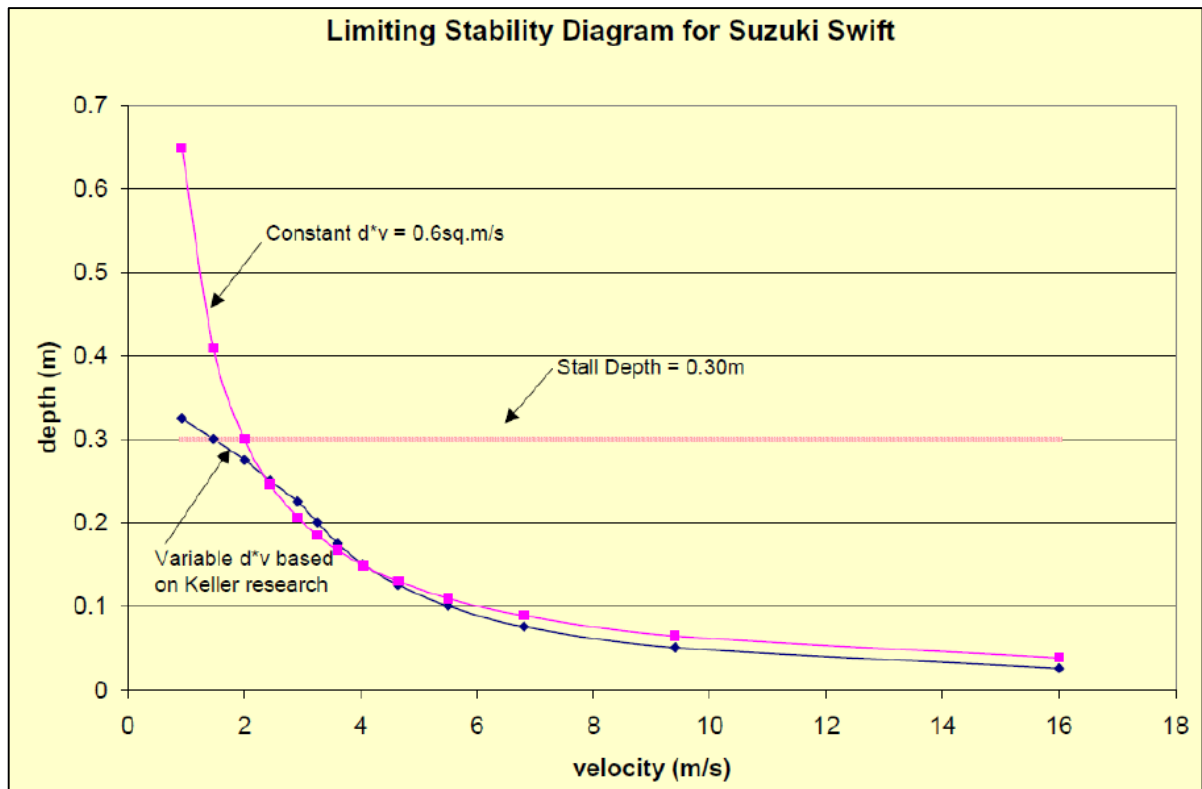


Figur 3-3: Dødelighet som funksjon av DV



Figur 3-4: Stabilitetskriterier for enkeltpersoner i rennende vannmasser [2]

Ved estimering av tap av liv blant trafikanter må det først for den aktuelle veistrekningen også vurderes hvorvidt vanddybden og vannhastigheten over veibanen er tilstrekkelig høy til at biler mister kontrollen. Denne vurderingen utføres i henhold til Figur 3-5. Om DV er under $0,6 \text{ m}^2/\text{s}$ og vanddybden er under 30 cm antas det at en bil ikke berøres, og følgelig skal dødelighetsraten settes lik 0. Ved tilfeller med vanddybder over 30 cm og DV over $0,6 \text{ m}^2/\text{s}$ velges det dødelighetsrater ut ifra Figur 3-3.



Figur 3-5: Stabilitetskriterier for biler i bevegende vann

I de tilfeller det er vurdert i steg 3 at bruddbølgen fører til at veifyllingen/veibanen vaskes vekk og ikke lenger er kjørbare, skal det antas samtlige biler som kjører på den berørte veistrekningen i det bruddbølgen ankommer blir skylt med av bølgen. For den berørte veistrekningen skal det beregnes 1 bil per 7 meter berørt lengde eller benytte ÅDT som i steg 4 om dette gir en lavere verdi.

Metodikken tar ikke hensyn til usannsynlig tap av menneskeliv (dvs. tilfeldige forbipasserende som vanligvis ikke befinner seg i området).

3.5 Steg 5: Estimere øvrige konsekvenser

Tabellen i steg 3 danner solid grunnlag for estimering av økonomiske konsekvenser. Ved estimering av tap av liv ekskluderes objektene som allerede ligger i en flomsone før dambruddet inntreffer. For økonomiske konsekvenser vil ikke denne forenklingen være tilstrekkelig. I et samfunnsøkonomisk perspektiv vil det interessant å vurdere kostnadene knyttet til de inkrementelle skadene på bygg, infrastruktur og andre verdier. Eksempelvis vil kostnadene av skadene før og etter brudd være betydelig forskjellige for et bygg som endrer tilstandskategori fra A eller B.1 til C.3.

For å oppnå et riktig estimat av de økonomiske konsekvensene av et dambrudd må de inkrementelle kostnadene mellom tilstand før og etter brudd beregnes. Vi har ikke noe fullgodt statistisk grunnlag tilgjengelig for å estimere dette foreløpig men vi tror det bør være mye å hente i den økonomiske modellen benyttet i prosjektet som nå utføres på den samfunnsøkonomiske nytten av damsikkerhetsarbeidet, inntil videre kan en enklere angrepsmåte benyttes hvor skade deles inn i to kategorier, vannskade og totalskade. Norsk naturskadepool har statistikk liggende tilgjengelig over antall skadetilfeller og total erstatingsutbetaling for en rekke hendelser, deriblant 19 større flommer, gjennomsnittlig utbetaling var på 140 000 NOK for disse 19 flommene fordelt på 22630 registrerte skader.

Det vil som før være nødvendig å gjøre en vurdering av mulige følgeskader av dambrudd, typisk utrasninger/skred grunnet erosjon eller hurtig vannstandsending. Som nå må faren for dette vurderes ut fra løsmassegeologi og andre forhold og behovet for mer detaljerte analyser må vurderes

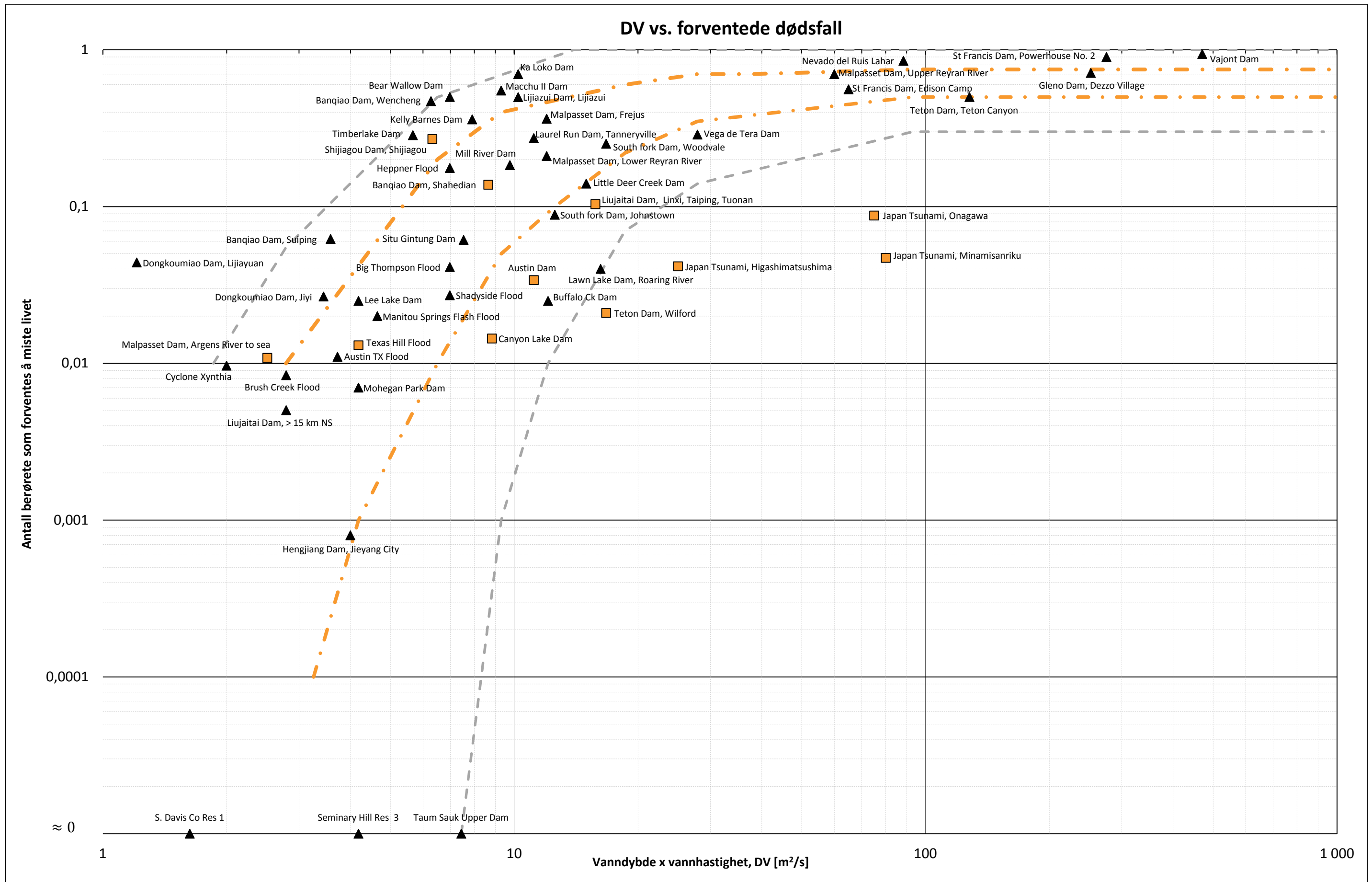
i hvert enkelt tilfelle. Der hvor det er identifisert en fare for slike følgeskader bør det legges en konservativ vurdering til grunn da dette kan være potensielt farligere hendelser enn selve dambruddet, spesielt hvis det er mulige kvikkleireskred det er snakk om.

Natur og miljøverdier er vanskelige å tallfeste og vi ser det ikke som hensiktsmessig å forsøke på dette i denne omgang, tap av natur og miljøverdier bør vurderes konkret i hvert enkelt tilfelle, et viktig kriterie for å vurdere konsekvensen er hvorvidt skaden er uopprettelig eller ikke.

4 Videre arbeid

Det videre arbeidet vil nå være å bruke denne metodikken på noen utvalgte eksempler både for å teste ut metodikken og alternative løsningsmåter og for å bruke som eksempler for å forklare metodikken i en senere sluttrapport. Blant annet er det her aktuelt å se på litt ulike metoder for å bestemme dødelighetsrater som er benyttet i ulik litteratur. Flere dameiere har tatt kontakt i forbindelse med presentasjonen på vassdragsteknisk forum sitt vintermøte med aktuelle klassifiseringssaker.

I sluttrapporten er det også aktuelt å skrive mer konkrete anbefalinger rundt dambruddsmodellering og forutsetninger for disse. Vi vil også skrive om alternative avbøtende tiltak, dvs tiltak andre steder i vassdraget fremfor å gjøre store grep på den aktuelle dammen, for eksempel å utvide flomløp på nedstrøms dammer for å unngå dominobrudd.



Referanser

- [1] C. Almestad, Ø. Pedersen og G. H. Kiplesund, «DSHP-Metoden for detaljert konsekvensvurdering av dambrudd (Rappnr. 418326-RIVass-RAP-002),» 2020.
- [2] Norges Geotekniske Institutt, «State-of-the-art» om risikovurderinger for dammer sett i et nasjonalt og internasjonalt perspektiv, Energi Norge, 2016.
- [3] H. M. Kjellesvig m.fl., Forvaltningspraksis ved Norsk damsikkerhet, Energi Norge, 2011.
- [4] NVE, Veileder nr. 3/2014 Veileder for klassifisering av vassdragsanlegg, Norges Vassdrags og Energidirektorat, 2014.
- [5] Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven), 2000.
- [6] Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften), 2009.
- [7] NVE, Retningslinjer for dambruddsbølgeberegninger, Norges Vassdrags og Energidirektorat, 2009.
- [8] NVE, Retningslinjer for flomberegninger, Norges Vassdrags og Energidirektorat, 2011.
- [9] Luftfartstilsynet, Veileder for gjennomføring av risikoanalyser, Luftfartstilsynet, 2003.
- [10] SVV, V712 Håndbok for konsekvensanalyser, Statens Vegvesen, 2014.
- [11] SSØ, Håndbok for samfunnsøkonomiske analyser, Senter for statlig økonomistyring, 2010.
- [12] Regulation of Dam Safety: An overview of current practice world wide., ICOLD, Preprint.
- [13] Flood Evaluation and Dam Safety, ICOLD, Preprint.
- [14] H. Wallingford, F. H. R. C. M. Univeristy og R. & P. A. Ltd., «Flood Risk To People Phase 2. FD2324/TR2 Guidance Document,» Department for Environment Food and Rural Affairs UK, 2006.
- [15] A. B. Becker, W. M. Johnstone og B. J. Lence, «Wood Frame Building Response to Rapid-Onset Flooding,» *American Society of Civil Engineers, Natural Hazards Review*, vol. 12, nr. 2, pp. 85-95, 2011.
- [16] U. o. N. S. Wales, «Flood Hazard. WRL Technical Report 2014/07,» University of New South Wales, Water Research Laboratory, 2014.
- [17] Helsinki University of Technology, «RESCDAM. The Use of Physical Models In Dam-Break Flood Analysis,» Helsinki University of Technology, 2000.
- [18] S. Jonkman og E. Penning-Rowsell, «Human Instability In Flood Flows,» *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 4, p. 44, 2008.
- [19] USBR, «RCEM - Reclamation Consequence Estimating Methodology,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2014.
- [20] Queensland Government, «Guidelines for Failure Impact Assessment of Water Dams,» State of Queensland, Department of Energy and Water Supply, 2012.
- [21] U.S. Department of Homeland Security, «Dams Sector, Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios,» 2011.
- [22] U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, «RCEM - Reclamation Consequence Estimating Methodology. Guidelines for Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Analysis,» 2014.
- [23] FEMA, «Summary of Existing Guidelines for Hydrologic Safety of Dams,» 2012.
- [24] USBR, «I-4 Semi-Quantitative Risk Analysis,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2015.
- [25] USBR, «Dam Safety Risk Analysis Best Practices Manual,» 2010.
- [26] USBR, «DSO-99-06 A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 1999.
- [27] DHS, «Dams Sector - Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios,» U.S. Department of Homeland Security, 2011.
- [28] FEMA, «333 Hazard Potential Classification System for Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2004.
- [29] FEMA, «P-94 Selecting and Accomodating Inflow Design Floods for Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2013.

- [30] FEMA, «Summary of Existing Guidelines for Hydrologic Safety of Dams,» Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2012.
- [31] USBR, «III-1 Consequences of Flooding,» U.S. Bureau of Reclamation (USBR), 2014.
- [32] Queensland Government, «Guidelines for Failure Impact Assessment for Water Dams,» State of Queensland, Department of Energy and Water Supply, 2012.
- [33] Queensland Government, «Guidelines on Acceptable Flood Capacity for Water Dams,» State of Queensland, Department of Energy and Water Supply, 2016.
- [34] L. Zhang, M. Peng, D. Chang og Y. Xu, Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment, John Wiley & Sons, 2016.