

NOTAT

OPPDRAAG	418326 DSHP - forbedret underlag ved klassifisering av dammer	DOKUMENTKODE	418326-RIVass-NOT-002
EMNE		TILJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Energi Norge	OPPDRAAGSLEDER	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.

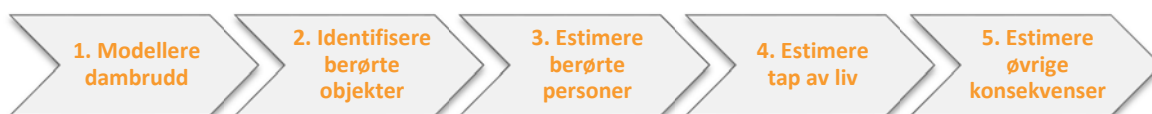
Det er lagt vekt på at metodikken skal være enkel å benytte og basere seg i stor grad på eksisterende teknologi, informasjon og statistikker som er tilgjengelig. Metodikken søker også å bedre benytte muligheter i kjente verktøy og programvare som allerede brukes i stor grad ved dambruddsbølgeberegninger 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

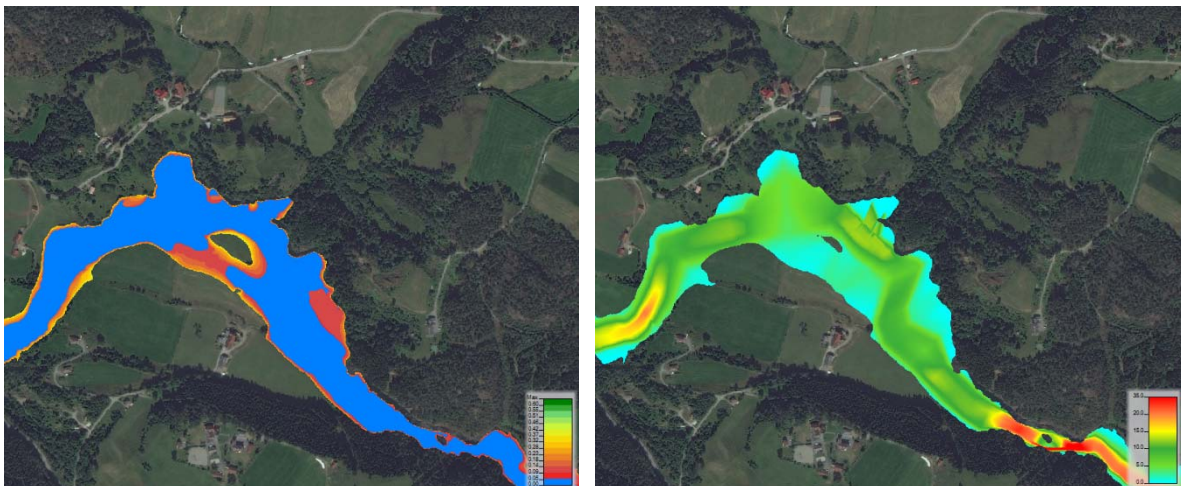
og kalibreres mot registrerte flommer eller vannføringsmålinger. Videre bør modellens sensitivitet ovenfor parametere som blant annet ruhet og inn- og utløpskoeffisienter analyseres. Med bakgrunn i sensitivitetsanalysen bør modellens totale usikkerhet kvantifiseres og beskrives.

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 tilstrebtes å oppnå en høy detaljrikdom med mindre det er uhensiktsmessig 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.

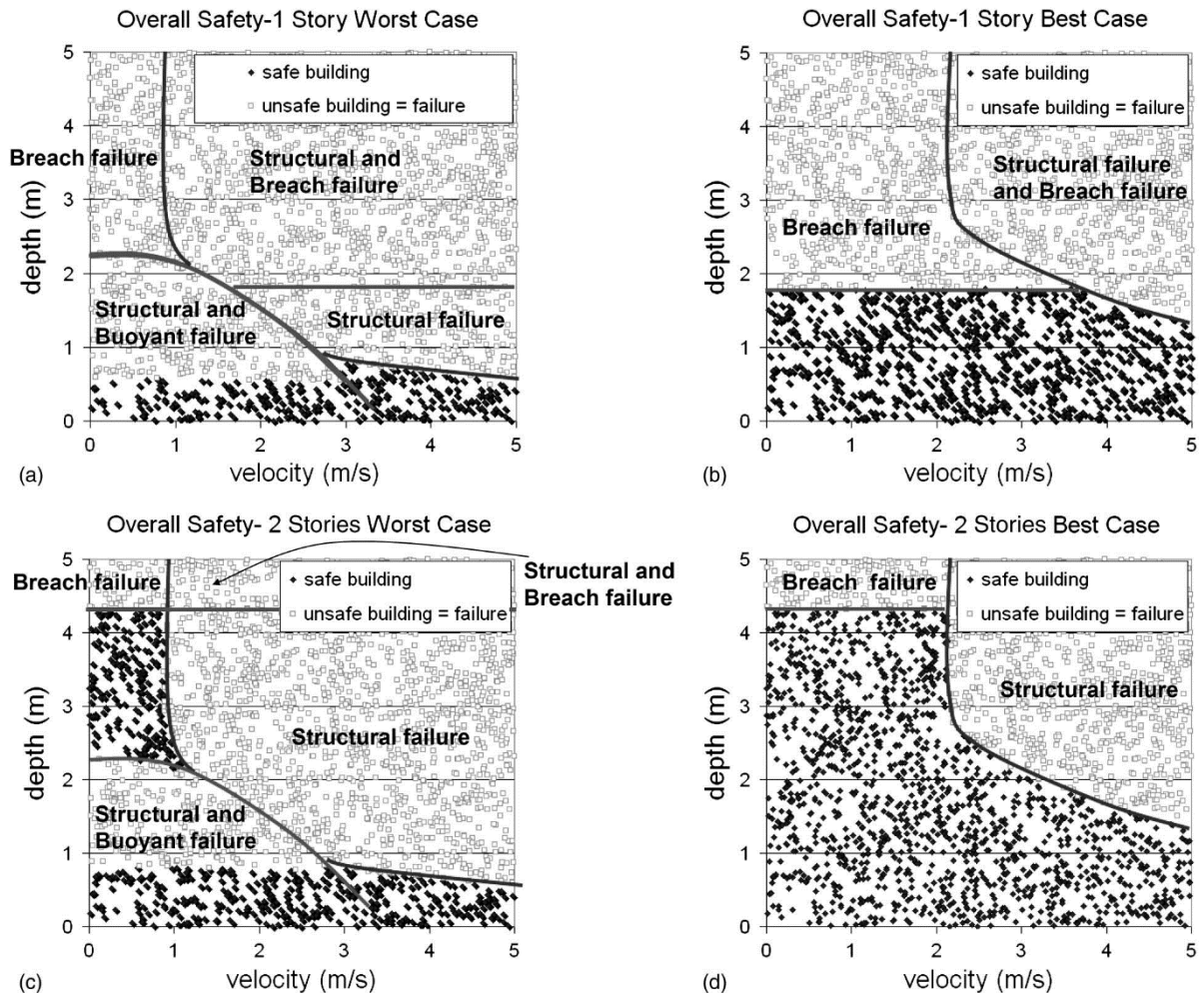
Tabell 3-2 Konsekvenskategorier for bygninger

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.

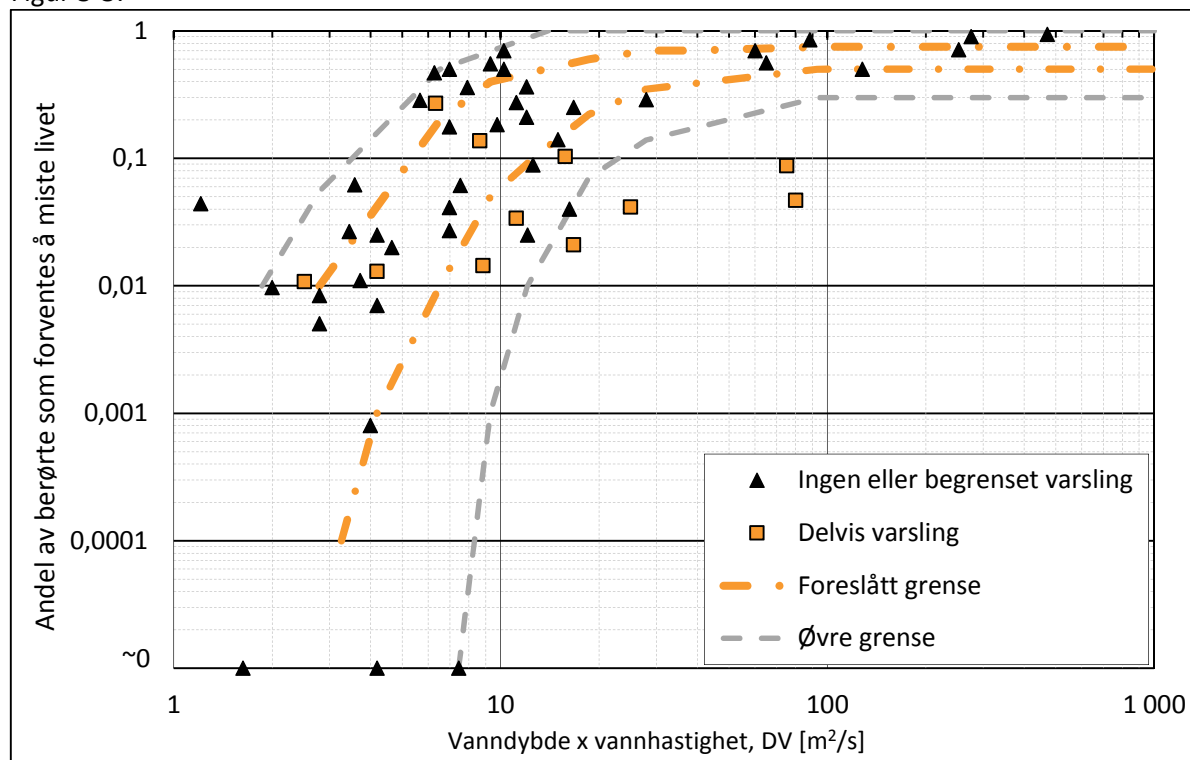
I det elektroniske vedlegget er det fullstendig statistikk for hver hendelse. Ved bestemmelse av dødelighetsratene anbefales det å benytte den dødelighetsraten for den dambruddshendelsen som likner mest på dambruddet som analyseres. Det presiseres at det ikke skal velges én enkelt verdi, men et intervall 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.

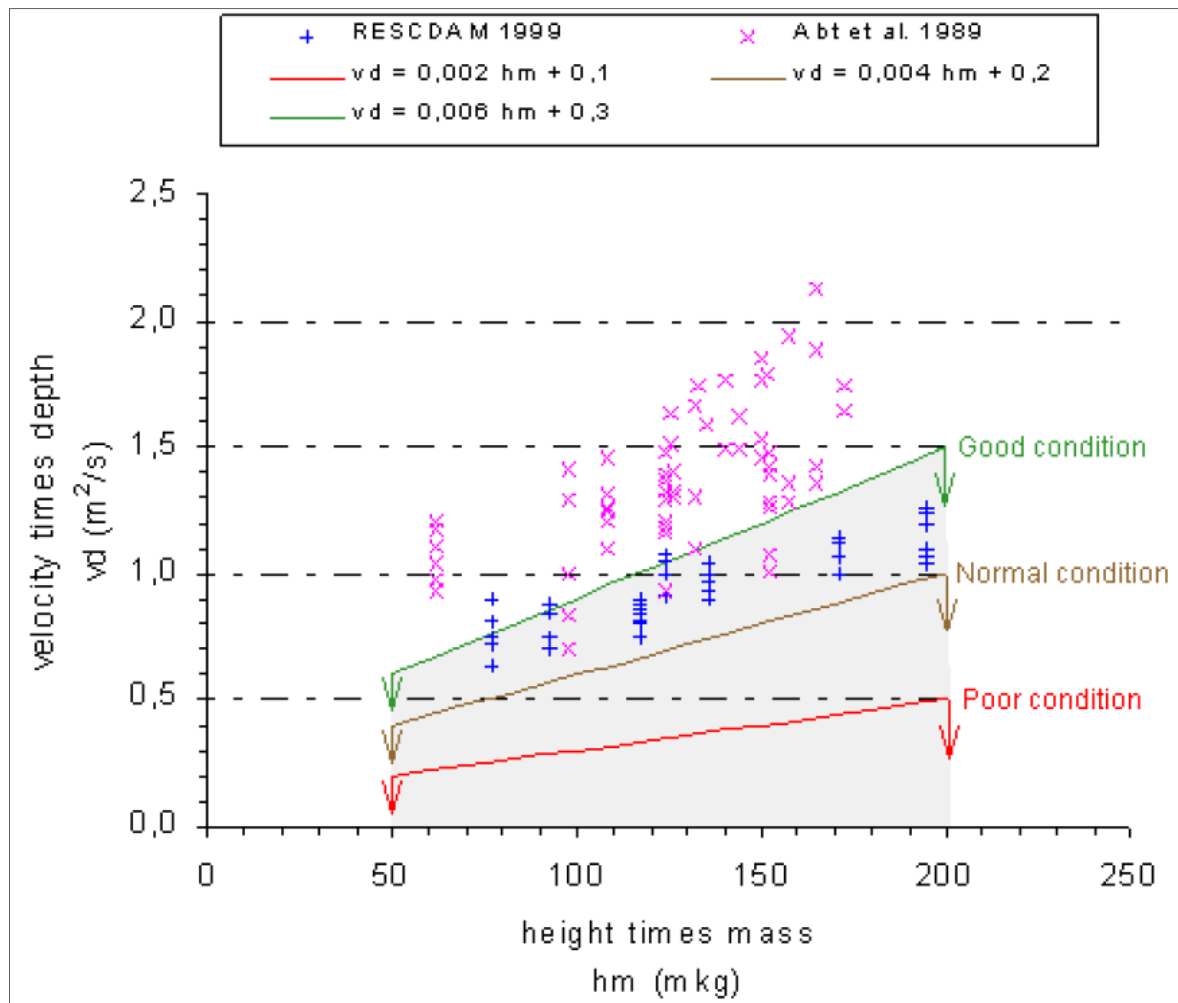
For øvrige utendørs områder i dambruddsonen f.eks. campingplasser og festivalområder må det først vurderes hvorvidt vanddybden og vannhastigheten i disse områdene er så høy at det ikke er mulig for personer å bevege seg kontrollert i vannet. Stabilitet av enkeltpersoner i rennende vannmasser bestemmes 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:

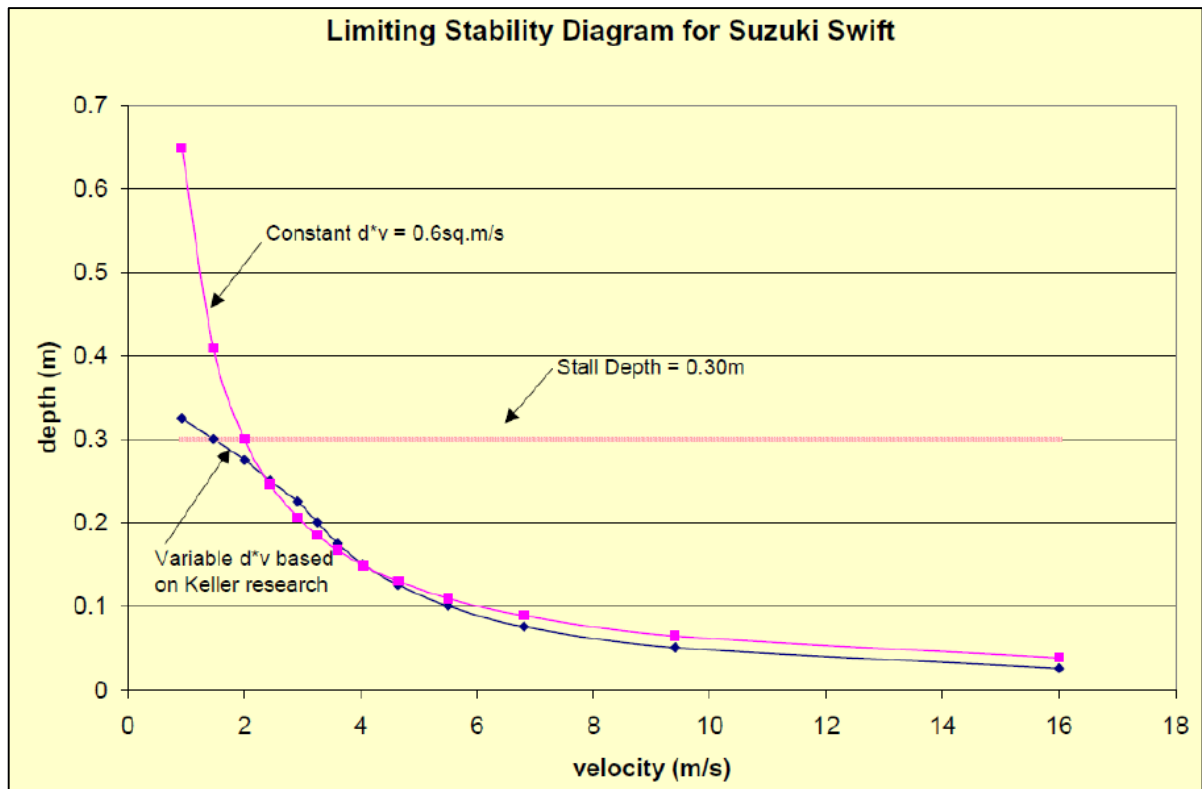


Figur 3-3: Dødelighet som funksjon av DV



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.

