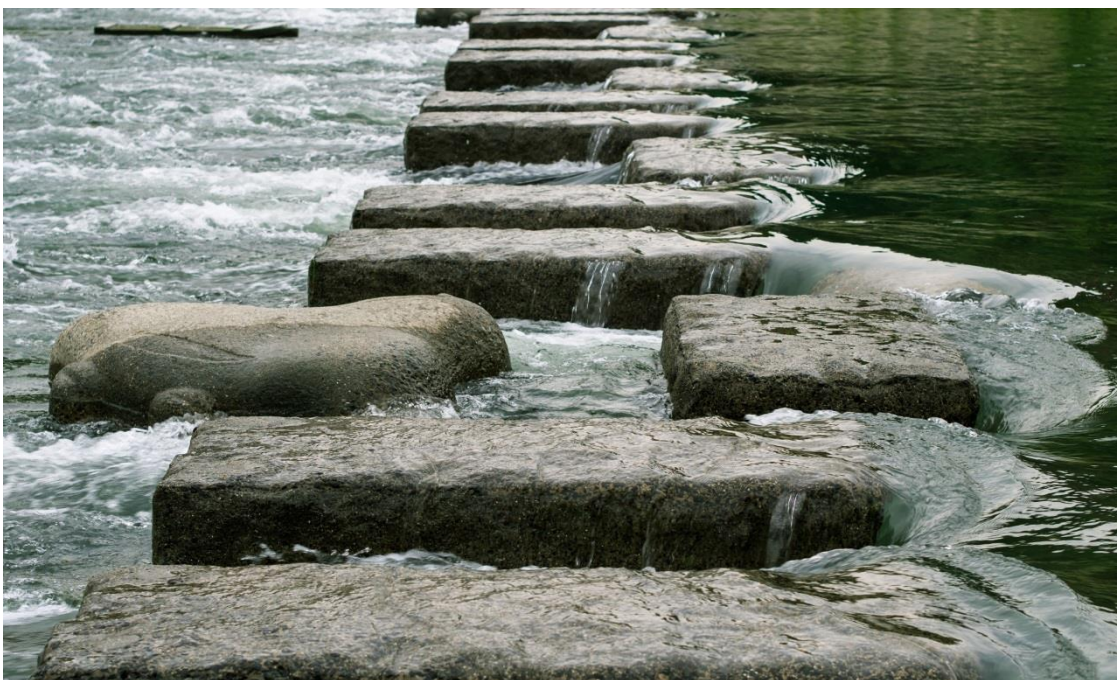


Beregnet til
Miljødirektoratet

Dokument type
Utrekning

Dato
Oktober, 2015

OVERVANNSFLOM METODER FOR KART- LEGGING OG ANALYSER



OVERVANNSFLOM METODER FOR KARTLEGGING OG ANALYSER

Dato	20.10.2015
Utført av	Bjørnar Nordeidet, Charlotte Sinkbæk Schow og Tove Killerich
Kontrollert av	Grethe Asmundsen
Godkjent av	Ragnhild Nordmelan
Miljødirektoratet:	
Publikasjonsnr.	M-424 2015
Prosjektleder	Ingunn Lindeman
Tittel	Overvannsflom – metoder for kartlegging og analyser
Beskrivelse	Utredning om metoder og verktøy for kartlegging og beregning av overvannsflom. Utredningen er utført av Rambøll Norge og Rambøll Danmark. Oppdragsgiver er Miljødirektoratet på vegne av Overvannsutvalget.
Emneord	Overvannsflom, kartlegging, metoder, beregning
Subject words	Stormwater flooding, mapping, methodologies, analysis

INNHALDSFORTEGNELSE

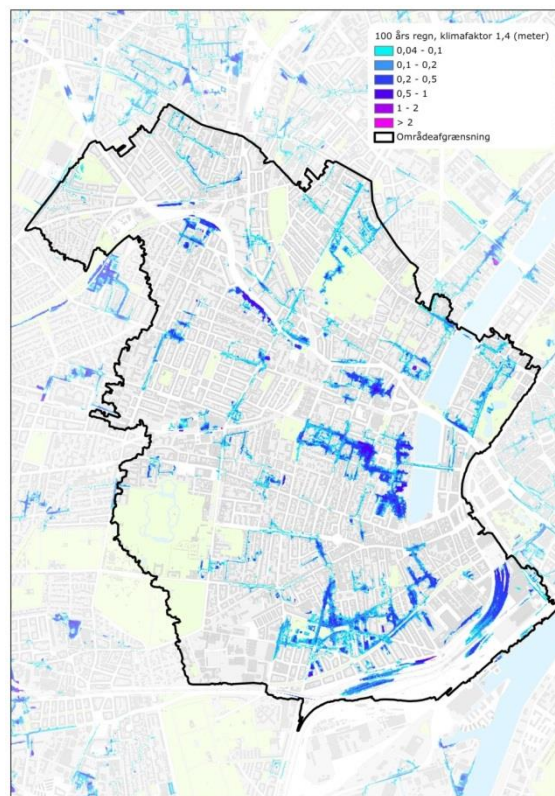
1.	INNLEDNING OG MÅL	4
2.	KARTLEGGING AV OVERVANNSFLOM	5
2.1	Generelt	5
2.2	Metoder, verktøy og resultater	5
2.3	Nødvendig datagrunnlag og ressursbehov	9
2.4	Oppsummering	11
3.	BEREGNING OG ANALYSE AV OVERVANNSFLOM	13
3.1	Generelt	13
3.2	Metoder, verktøy og resultater	13
3.3	Nødvendig datagrunnlag og ressursbehov	17
3.4	Oppsummering	19
4.	TRINNVIS KARTLEGGING OG ANALYSER AV OVERVANNSFLOM	21
5.	REFERANSER OG KILDER	24

1. INNLEDNING OG MÅL

Regjeringen har oppnevnt et utvalg som skal utrede konsekvensene av økte overvannsmengder i byer og tettsteder. Utvalget skal gå igjennom gjeldende lovgivning og rammebetingelser for kommunenes håndtering av overvann og komme med forslag til endringer og forbedringer.

Dette notat er en oppfølging av Rambølls utredning om risikoakseptkriterier for overvannsflom [13]. Overvannsutvalget ønsker en oversikt over eksisterende metoder og verktøy for kartlegging og beregning av overvannsflom.

Målet med dette notat er at det skal være et nyttig supplerende underlag for utvalget til NOU som skal utarbeides, med hensyn til å gi en enkel oversikt over eksisterende metoder og verktøy for kartlegging og beregning av overvannsflom. Oversikten skal tydeliggjøre at det finnes et spenn av metoder fra meget enkle og lite ressurskrevende kartleggingsanalyser til avanserte beregningsmodeller, og at bruk og eventuelle krav til analyser kan tilpasses områdets skadepotensial og fare for skadelig overvannsflom.



Målgruppen for metodeoversikten er sentrale norske myndigheter, norske kommuner evt. fremtidig forvaltningsorgan for overvannsflom, og er primært knyttet til urban overvannsflom. Det vil si overvannsflom i eksisterende eller planlagte utbyggingsområder samt viktig infrastruktur, i byer eller tettsteder. Dette notat omhandler IKKE elveflom spesifikt, men omtaler eventuell kobling mot elvemodell i de tilfeller hvor elv/bekk samvirker med overvannsflom i urbane strøk.

Notatet er inndelt i metoder og verktøy for henholdsvis:

- **Kartlegging av overvannsflom**
- **Beregning av overvannsflom**

Med kartlegging av overvannsflom menes her analyser som identifiserer såkalte aktsomhetsområder hvor det er potensiale for at skadelige overvannsflommer kan oppstå.

Metoder for beregning av overvannsflom er metoder hvor en konkret beregner resulterende vannføring og eventuelt utbredelse/vanddybde.

2. KARTLEGGING AV OVERVANNSFLOM

2.1 Generelt

I de senere årene har det blitt utviklet gode metoder og programvare som kan beregne og visualisere sannsynligheten for overvannsflom. Dette kan i første fase gjøres med små ressurser hvor en ved bruk av GIS-analyser kan beregne såkalte sekundære flomveier/avrenningslinjer og forsenkninger/groper, samt tilhørende avrenningsfelt. Samtidig er det en stadig forbedring av høydedata for slike analyser hos norske kommuner bla gjennom innsamling av laserdata. Dette vil kunne være et naturlig første element i en flomrisikoanalyse.

Kartlegging av overvannsflom har som hovedmål å utarbeide såkalte aktsomhetskart for overvannsflom, det vil si å visualisere hvilke områder som er særlig utsatt med hensyn til overvannsflom. Et delmål kan også være å bruke kartleggingen til planlegging og plassering av fremtidig bebyggelse og infrastruktur.

Avrenningslinjene viser hvor vann drenerer ut fra terrengets form og helning, og forsenkninger er dybdeberegninger av groper og forsenkninger i terrenget. Selv om metoden er en grov forenkling av urbane avrenningsforhold viser erfaringer både fra Norge (blant annet deltakere i «fremtidens byer» prosjektet, [2] og [4]), og internasjonalt at resultater samsvarer godt med observerte flomveier og områder med oversvømmelser under intense nedbørhendelser.

Flere norske byer har laget egne bestemmelser i kommuneplanen hvor resultatene fra overflateavrenningsmodeller legger premisser for fremtidige planer. Dette gjelder blant annet ved at en sikrer flomveier mot barrierer og at en setter særlige krav til utbygging i flomutsatte områder.

I Danmark er det laget grove landsdekkende kartlegging av potensiale for overvannsflom basert på slike GIS-analyser [7].

2.2 Metoder, verktøy og resultater

Kartlegging av flomveier og forsenkninger skjer ved bruk av GIS-modellering og spesialutviklede verktøy for overvannsflomanalyser. De fleste store GIS-plattformer har etablert egne verktøy for avrenningsanalyser. Internasjonalt og i Norge er det GIS-leverandøren ESRI som er markedsledende, og dermed har det norske fagmiljø primært erfaring med deres ArcGIS-plattform.

GIS-programvare for kartlegging av overvannsflom i såkalte 1D overflatemodeller:

- ArcGIS (kommersiell GIS-plattform) og gratis-verktøyene «Arc Hydro tools» [1], «Hydrology», eventuelt kan en lage egne modeller ved bruk av Model builder (ESRI).
- Intergraph, MapInfo, GRASS GIS, QGIS m. flere har verktøy innen samme tema.

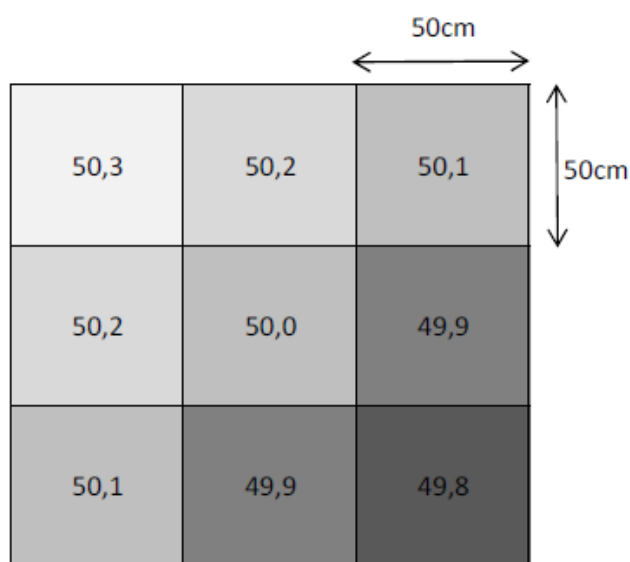
Metodebeskrivelse for beregning av flomveier/avrenningslinjer:

For å vurdere flomutsatte områder er det ved hjelp av GIS-modellering mulig å beregne flomveier for store planområder. Resultatene fra beregningene gir kunnskap med tanke på å kunne sikre nye områder mot oversvømmelse samt sikre at eksisterende flomveier opprettholdes, eller ved behov endres på en sikker måte.

Beregninger identifiserer naturlige (bekk/elv) og såkalte sekundære flomveier. Sekundære flomveier er veier som flomvannet vil ta oppå bakken, gitt at eventuelle overvannsledninger/kulverter går fulle.

Basert på beregnede flomveier og eksisterende/planlagte utbyggingsområder og infrastruktur kan aktsomhetsområder påvises. Det vil si områder der større flomveier krysser over eller passerer nærme.

Metoden for å komme frem til sekundære flomveier går ut på å først beregne dreneringsretning for hver enkelt rute/celle i terrengmodellen. Fra terrengmodellen beregnes hvilke av de 8 naborutene som ligger lavest. Alt vannet drenerer til denne ruten, som illustrert i figuren.



Figur 2.1: Grid «ruter» som viser høyde samt fallretning for senterruten basert på laveste omkringliggende rute.

Dette er en forenkling, spesielt i flate områder. Erfaringer viser imidlertid at feilene denne forenklingen forårsaker reduseres når oppløsningen på terrengmodellen bedres. Dreneringslinjene defineres ved at en rute/celle må motta vann fra et gitt antall høyereliggende celler/ruter. Terskelverdien man setter avgjør hvor høyt oppe i nedbørsfeltet dreneringslinjene starter og hvor fin inndeling man får på del- nedbørsfeltene. Nedbørsfeltene avgrenses ved at de ikke mottar drenering fra andre celler.

Slike avrenningsanalyser blir ofte utført ved bruk av 2 hovedforutsetninger:

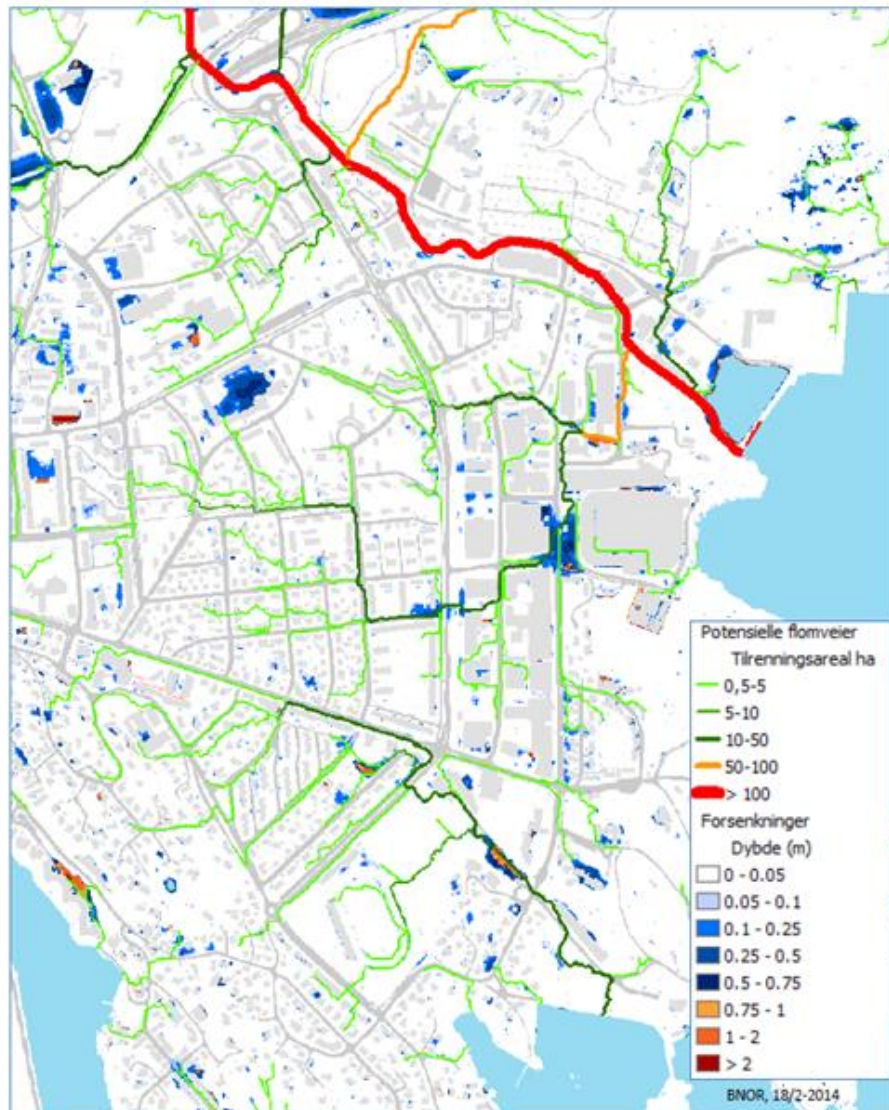
- Uten innlegging/«innbrenning» av kulverter/stikkrenner og bekk/elv
- Med hovedkulverter/stikkrenner og bekk/elv

Dersom kapasitet til hovedkulverter og bekk/elv (dvs broer/kulvert i løp) ikke medtas betyr det at overvannet vil «flomme over» i disse områder og beregner da effekten av at disse går fulle. Disse kan imidlertid ha høy kapasitet (>200 årshendelse) og i de tilfeller bør de være inkludert i en avrenningsanalyse. Dette gjøres ved at kulverten eller barrierer for bekk/elv «brennes inn» i terrengmodellen og dermed lar flomveien passere disse. Vurdering av valg av metode(r) er en viktig del av analysen, og må utføres av fagfolk med kompetanse innen urbanhydrologi samt at lokalkunnskap om flom må trekkes inn.

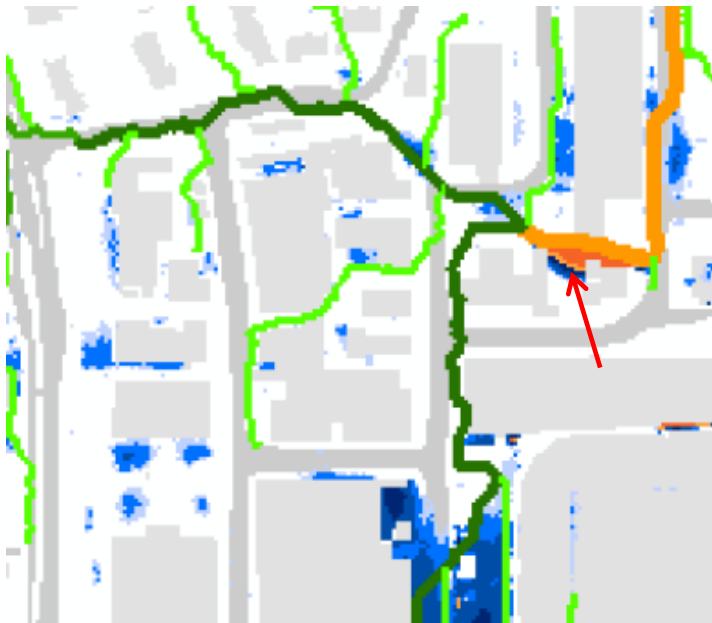
De viktigste resultater fra en slik GIS-analyse er:

- Avrenningslinjer som graderes etter oppstrøms avrenningsfelt (I GIS-analysen kan det for hver «rute» langs linjen hentes ut resultat som viser sum oppstrøms avrenningsareal)
- Dybde til forsenkninger i terreng
- Inndeling i avrenningsfelt

Figur 2.2.a/b viser illustrasjon/eksempel fra Kristiansand kommune på aktsomhetskart som viser graderte avrenningslinjer og forsenkninger, forutsatt at ledningsnettet får fullt/ ekstremavrenning. Tilhørende beregnede avrenningsfelt er vist i figur 2.3. NB Dette er ikke offisielle aktsomhetskart for kommunen, men eksempel på tidligfase analyser av en enkeltzone. Se for øvrig [14] for mer info vedrørende analyser i Kristiansand kommune. Figur 2.4 viser tilsvarende analyse for en større planlagt veiutbygging.



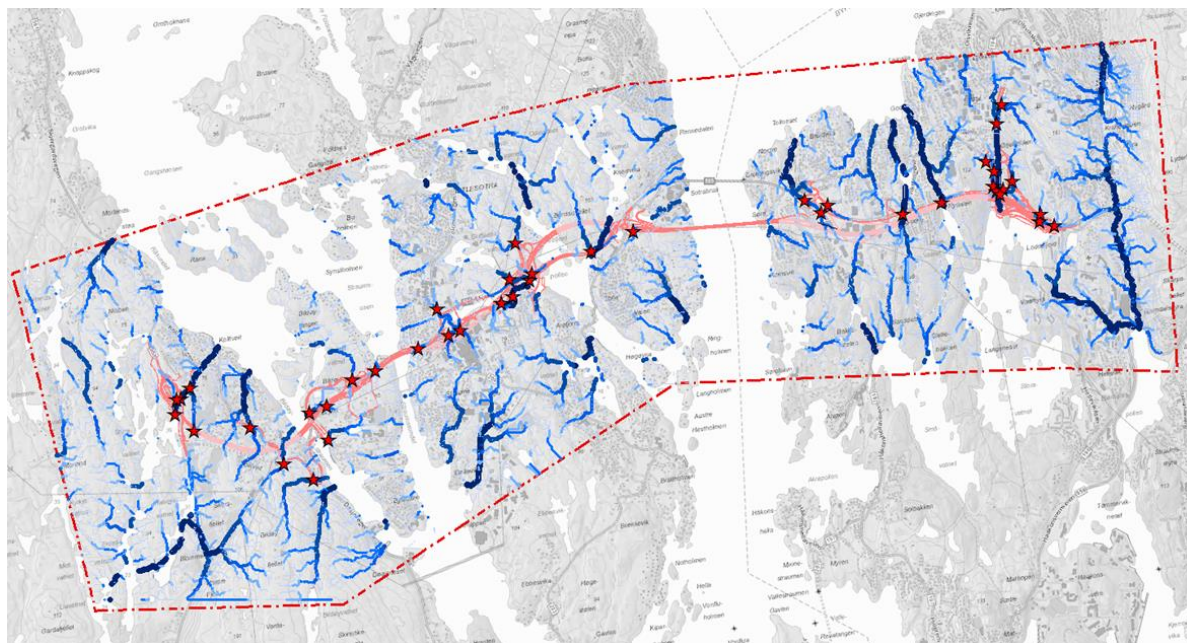
Figur 2.2.a: Eksempel på potensielle graderte avrenningslinjer og forsenkninger (forutsatt at ledningsnettet går fullt).



Figur 2.2.b: Illustrasjon av aktsomhetsområde (rød pil): Større potensiell flomlinje passerer forsenkning i terrenget (forutsatt at ledningsnettets går fullt).



Figur 2.3: GIS-analysen beregner også tilhørende delavrenningsfelt, her illustrert med røde linjer.



Figur 2.4: Eksempel på avrenningsanalyse knyttet til stor veiutbygging (RV 555, Sotra-Bergen, Rambøll-analyse på oppdrag for Statens vegvesen). Graderte potensielle avrenningslinjer er vist i blått mens aktsomhetsområder er vist med røde stjerner.

2.3 Nødvendig datagrunnlag og ressursbehov

For å gjennomføre beskrevet kartlegging er nødvendig datagrunnlag relativt beskjedent:

- Terrengmodell
- Oversikt over hovedkulverter og bekker/elver

Nøyaktigheten til terrengmodellen er naturlig nok helt avgjørende for beregning av avrenning og forsenkninger.

Datagrunnlag for terrengmodellen som er relevant for norske kommuner er:

- Laser/LIDAR-data, klassifiserte og kvalitetssikrede. Høyest mulig oppløsning er ønskelig (>5 pkt/m²)
- Høydekurver
- FKB-data med høydeinformasjon (3D), som veglinjer, bekk/elv, m.m.
- Bygg, flatetema (som kan evt. kan «heves» i terrengmodellen)
- Hovedkulverter og hindringer over bekk/elv. Disse «brennes inn» som forsenkninger i terrengmodellen.

Terrengmodellen bygges som regel opp som såkalte grids eller ruter. Oppløsningen til en terrengmodell for en avrenningsanalyse må minimum være 5*5 meter (områder med lite høydegrunnlag, utkantområder), og helst være på 0,5*0,5 meter for sentrumsområder og områder med store variasjoner i terrenget. Valg av gridstørrelse gjøres basert på nøyaktigheten og punktettheten til høydedata. For store områder/byer med høy punktetthet på laserdata kan det være nødvendig å dele inn i mindre delområder før en gjennomfører analysene, dette for at beregningene ikke skal bli for tunge.

Ressursbehovet for å gjennomføre en kartlegging av overvannsflom er relativt lavt. Det som er arbeidskrevende er først og fremst arbeidet med å bygge og kvalitetssikre terrengmodellen. Deretter å analysere og vurdere hvilke kulverter/kryssinger som bør medtas i terrengmodellen og videre i analysene. Selve GIS-analysen er effektiv og er gjennomprøvd for både små og store nedbørfelt. I urbane områder bør det gjennomføres en befarings.

Kostnader for å gjennomføre en kartlegging og beregning av overvannsflom vil variere avhengig av flere faktorer blant annet avrenningsfeltets kompleksitet/størrelse, mål for analysen, kvalitet på grunnlagsdata, eksisterende kunnskap, krav fra kommunen, m.m. Også for kommuner og avrenningsfelt av samme størrelse vil kostnadene kunne variere mye blant annet avhengig av antall og størrelse på bekker/elver og «barrierer» i disse, topologi, samt andel og tetthet på utbygd kulvert- og overvannssystem.

Basert på erfaringer fra Norge og Danmark har vi i tabell 2.1 angitt og beregnet grove kostnadsestimater for kartlegging av risiko for overvannsflom for norske kommuner, basert på tjenestekjøp fra eksterne rådgivere med kompetanse innen avrenningsanalyser.



Foto: Alexander Ørstrøm Bjødstrup

Tabell 2.1. Grove kostnadsestimater for beregning av avrenningslinjer og kartlegging av aktsomhetsområder for overvannsflom i norske kommuner.

Kommunestørrelse	Antall innbyggere	Antall	Enhetskostnad	SUM
Små	200-5000	225	80 000	18 000 000
Mellomstore	5000-20000	148	200 000	29 600 000
Stor	20000-90000	50	400 000	20 000 000
Ekstra store (utenom Oslo)	90000-275000	4	600 000	2 400 000
SUM		427		70 000 000

Kostnadene forutsetter at det finnes tilgjengelige høydedata av god kvalitet. Analysene inkluderer avrenningsanalyser med og uten bekker/kulverter og leveransen bør inneholde graderte avrenningslinjer, forsenkninger og delavrenningsfelt.

2.4 Oppsummering

Tabell 2.2. viser en oppsummering av metoder for kartlegging av overvannsflokk med hensyn til metode, verktøy/programvare, datagrunnlag, ressursbehov, styrker/svakheter og viktigste resultat.



Foto: Alexander Ørstrøm Bjødstrup



Tabell 2.2. Kartlegging av overvannsflom med hensyn til metode, verktøy/programvare, datagrunnlag, ressursbehov, styrker/svakheter og viktigste resultat.

Nr	Metode	Verktøy/SW (eksempler)	Datagrunnlag	Ressurs- behov	Styrker/Svakheter	Viktige resultat
1	1D GIS basert modellering					
1a	1D GIS modellering UTEN bekk/kulvert	Arc Hydro Tools, ArcGIS Hydrology, ArcMap modelbuilder.	Terrengmodell basert på best tilgjengelige høydedata, helst Laser/Lidar data.	L	Raskt og rimelig, gir god oversikt over avrenningslinjer og aktsomhetsområder. / Forenklet og ikke nøyaktig avrenning. Hensyntar ikke nedbørmengder og gjentakintervall. Effekt av hovedbekker/hovedkulverter under vei er ikke medtatt avløpssystem/ledningsnett. Ingen kvantifisering av risiko (gjentakintervall o.l.)	Graderte avrenningslinjer, forskningsdybder
1b	1D GIS modellering MED bekk/kulvert	Arc Hydro Tools, ArcGIS Hydrology, ArcMap modelbuilder.	Terrengmodell basert på best tilgjengelige høydedata, helst Laser/Lidar data. Hovedbekker og hovedkulverter	L/M	Raskt og rimelig, gir god oversikt over avrenningslinjer og aktsomhetsområder. / Forenklet og ikke nøyaktig avrenning. Hensyntar ikke nedbørmengder og gjentakintervall. Effekt av hovedbekker/hovedkulverter under vei er medtatt på en forenklet måte men ikke øvrig avløpssystem/ledningsnett. Ingen kvantifisering av risiko (gjentakintervall o.l.)	Graderte avrenningslinjer, forskninger, viktigste kulverter/krysninger

3. BEREGNING OG ANALYSE AV OVERVANNSFLOM

3.1 Generelt

Med beregninger og analyser av overvannsfloam menes her metoder som beregner flomvannføring og eventuelt utbredelse og vann-dybder/-nivåer for ulike gjentaksintervall.

Følgende hovedmetoder og modeller er aktuelle, fra enkleste til de mest nøyaktige beregningsmetoder:

- Den rasjonelle metode (kun vannføring)
- 2D overflatemodeller
- 1D ledningsnettmodeller og 1D elv-/bekke-modeller.
- Kobling av 1D og 2D modeller: Ledningsnett koblet mot overflatemodell, eventuelt også kobling mot elvmodell der elv/bekk samvirker med overvannsfloam i urbane områder, eller havmodeller (2D) der tidevannet samvirker.

For beregning og analyse av overvannsfloam er det viktig å definere klare mål for beregningene. Eksempelvis vil lokale fordrøynings tiltak og ledningsnettssystemer i sentrumsområder typisk bli dimensjonert for en oversvømmelseshyppighet på 30 år (og tilhørende regnskyllhyppighet på 20 år), mens eksisterende systemer ofte oversvømmes langt oftere. For ekstreme flomhendelser må en imidlertid forholde seg til flommer med hyppigheter på 200 år og også så sjelden som 1000 år hvor konsekvensene anses som meget store (ref. TEK10).

Ved ekstreme nedbørhendelser (regnskyllhyppighet sjeldnere enn 20 år) vil som regel hverken fordrøynings tiltak eller ledningsnett ha kapasitet til å ta unna resulterende overvannsfloam. For disse flommene er det derfor viktig at kommunene skaffer seg kunnskap om hvordan flommene vil kunne utarte seg og legge planer og føringer for å sikre flomveier oppå bakken.

Dette er problemstillinger som har vært kjent i mange år, men det er først de siste 10 årene at bransjen har utviklet og verifisert analyse- og beregnings-verktøy som kan beskrive og beregne overvannsfloam på en god måte. Dagens programvare kan simulere de kompliserte hydrologiske og hydrauliske forhold som oppstår ved ekstreme overvannsfloam, og viser samvirke mellom ledningsnett/oppsamlingssystem for overvann og overflateavrenning på bakken. Modellene er ressurskrevende å etablere, men for de områdene hvor konsekvensene ved flom er meget store og kritiske mener vi at de må anvendes.

For en kommune vil det være en kombinasjon av metoder som vil være aktuelle. Valg og eventuelle krav må tilpasses de forhold som er gjeldende i den aktuelle kommune generelt og dens forhold i byer og tettsteder spesielt. Forslag til en trinnvis tilnærming er vist i kapittel 4.

3.2 Metoder, verktøy og resultater

Den rasjonelle metode og bruk av IVF-kurver:

Den rasjonelle metode er den tradisjonelle metode for enkel beregning av maksimal avrenning fra et spesifikt felt. Dette er en kjent «skrivebordsmetode» som benyttes for å beregne maksimal avrenning ut fra et gitt felt for ulike gjentaksintervall basert på sum redusert areal og lokale/regionale intensitet varighetskurver. Dette er en nyttig og rimelig overslagsmetode for små felt, men er ikke anvendbar/lite egnet for større urbane felt da den blant annet ikke hensyntar hverken terrengforhold eller kapasitet/effekt av fordrøynings tiltak og ledningsnett.

Ledningsnett modellering:

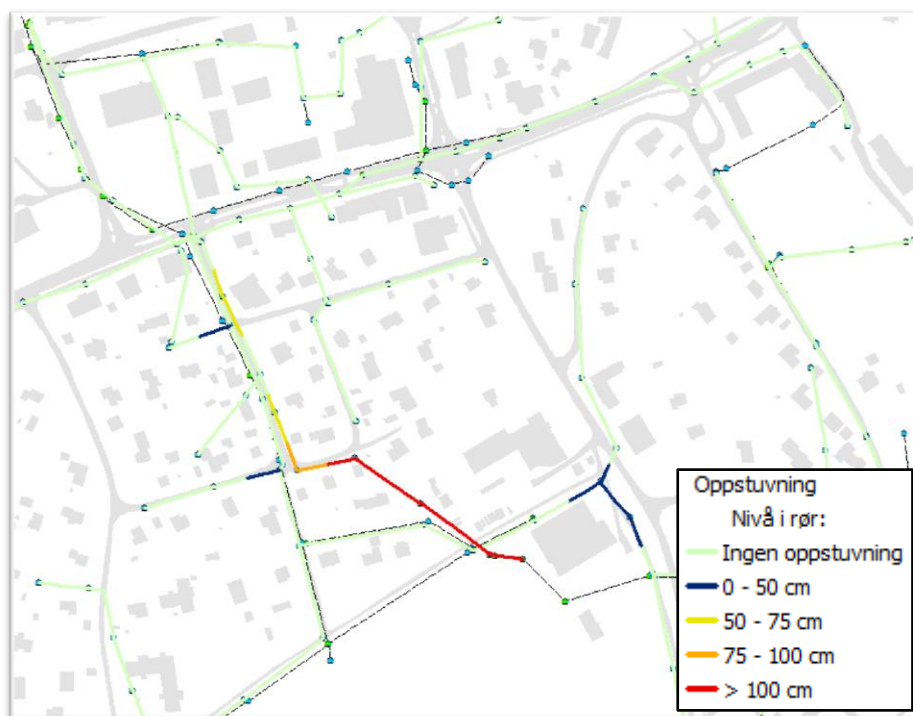
Ledningsnettmodeller som anbefales inkluderer hydrologisk og hydrauliske beregninger med nedbørhendelser med kjent gjentakintervall. Modellene må kunne beregne oppstuvning og langtidssimuleringer anbefales.

Eksempler på programvare av god kvalitet og som vi har erfaring med i Norge/Norden:

- Mike Urban med Mouse som «motor» (DHI) [8]
- ROSIE (Rosim AS), ArcGIS applikasjon med Mouse som «motor» [10]
- SWMM (EPA) [12], samt ulike kommersielle programvare med SWMM som «motor»
- Sewer Gems (Bentley) [11]

Viktigste resultater fra en ledningsnettmodell vil være:

- **Gjentakelsesintervall for oversvømmelser** (hvor ofte og hvor inntreffer overløp og oppstuvninger til terreng)
- Hvor mye går i overløp (basert på langtidssimuleringer)
- Kapasitetsberegninger som viser flaskehalser m.m.
- Utnyttelsesgrad av fordrøyningsvolumer



Figur 3.1: Eksempel på temakart som viser oppstuvning i rør ved dimensjonerende flom.

Viktigste svakhet med ledningsnettmodeller i forhold til overvannsflom er at de ikke beskriver overvannsstrømmen oppå bakken, men kun forholder seg til ledningssystemets kapasitet, vannnivå i ledninger/kummer, hvilke kummer som har oppstuvning til «over terreng», samt overløpsmengder for definerte overløp.

2D GIS-modellering:

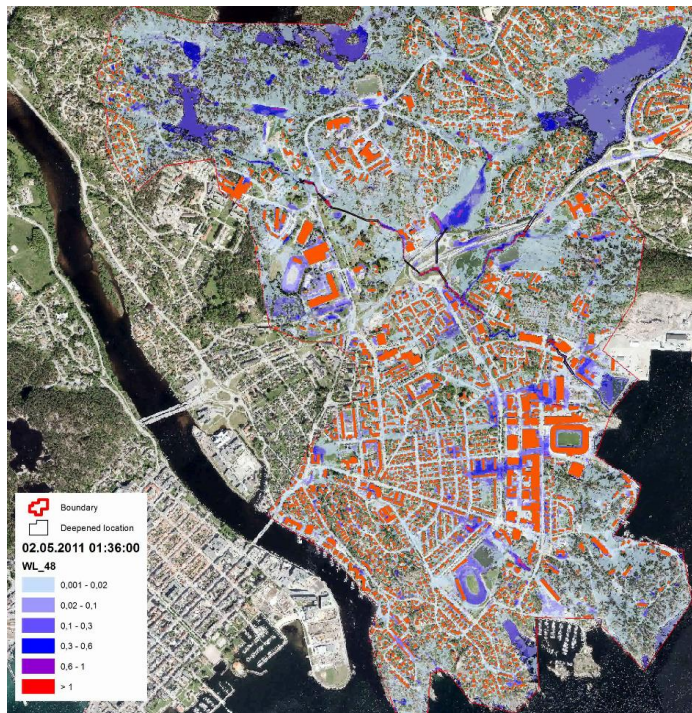
2D GIS-modellering er overflateavrenningsmodeller i 2D hvor en påfører en nedbørhendelse med kjent gjentaksintervall. Modellen vil da beregne omfang, vanndybder og vannføring i avrenningsfeltet for en gitt nedbørhendelse.

Eksempler på programvare av god kvalitet og som vi har erfaring med i Norge/Norden:

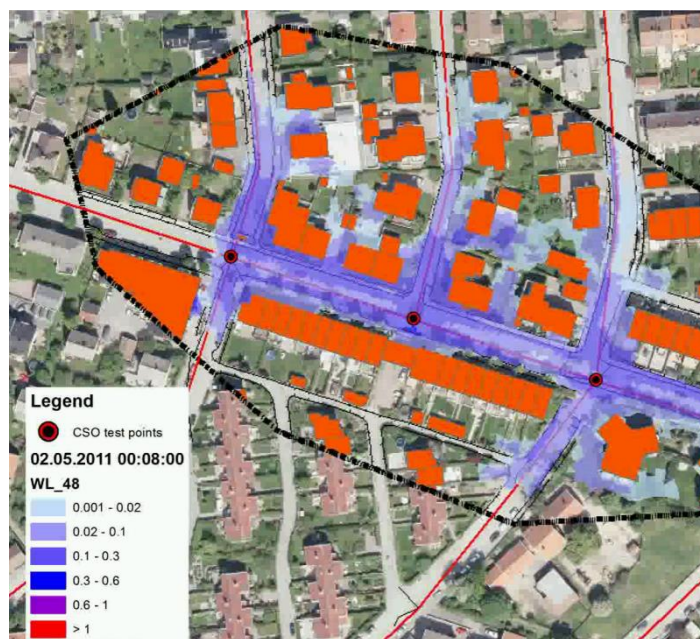
- Mike21 (DHI) [8]
- HystemExtran-2D/FOG-2D (ITWH, Tyskland) [3]
- Under utvikling: KlimaGIS (GISLINE). [6]

Viktigste resultater fra en 2D avrenningsmodell vil være en beregning av flommens **utbredelse og dybde for ulike gjentaksintervall**. Dette er med andre ord en mer nøyaktig beregning i forhold til rene avrenningslinjer som genereres i 1D modeller.

Svakheten er først og fremst at den ikke hensyntar ledningssystemets kapasitet i urbane strøk. Her anbefales denne metoden kun for avrennings-/nedbør-hendelser med større gjentaksprio-der, utover ledningsnettets kapasitet.



Figur 3.2: Eksempel på stor 2D avrenningsmodell og resulterende utbredelse og dybde for et gitt gjentaksintervall (analysen forutsetter at ledningsnettets kapasitet går fullt).



Figur 3.3: Eksempel på detaljert 2D avrenningsmodell for et lite avgrenset felt. (Demonstrasjonseksempel forutsatt at ledningsnettet får fullt.)

Kombinerte 1D/2D modeller.

For å kunne beregne overvannsflom i urbane områder på en detaljert og nøyaktig måte er det nødvendig å kombinere 1D og 2D modeller, som oftest kobling mellom ledningsnett (1D) og overflatemodeller (2D). For sentrumsområder som ligger ved elv/bekk eventuelt ved hav og hvor disse samvirker med overvannsflom, kan det i tillegg være aktuelt å gjøre koblinger mot elve- eller hav-modeller.

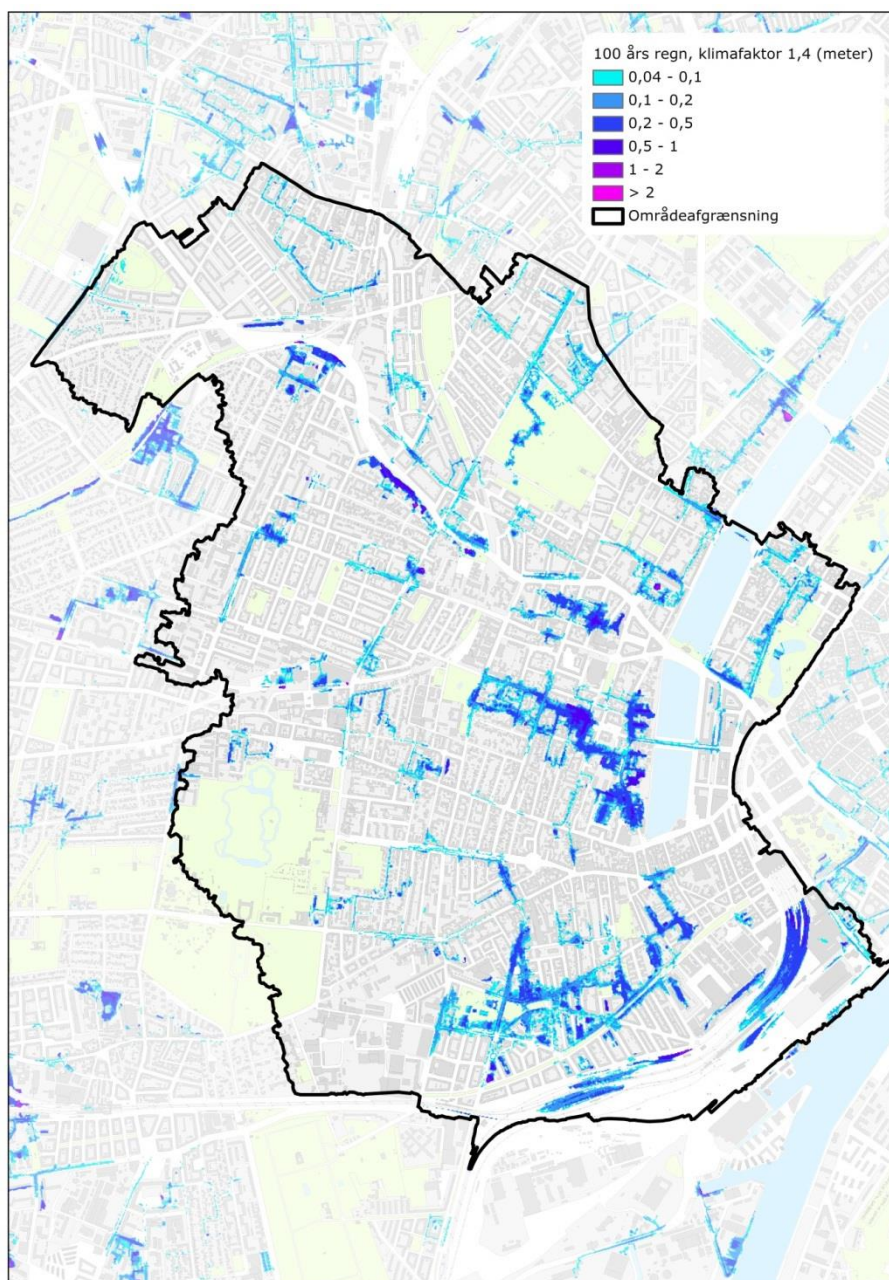
Eksempler på programvare av god kvalitet og som vi har erfaring med i Norge/Norden:

- Mike Flood: Plattform for kobling av 1D og 2D modeller (DHI) [8]
- FOG og HYSTEM-EXTRAN plattform, 1D og 2D (ITWH, Tyskland) [3]

I dette markedet er det også andre kommersielle programvarer som håndterer denne typen problemstillinger (for eksempel XPsolutions, Tuflow, m.fl.).

Av gratis tilgjengelig programvare nevnes spesielt HEC-RAS (US Army Corps of Engineers) som nylig lanserte en betaversjon av kombinert 1D og 2D modellering av elv/vassdrag [9] (ikke ledningsnett). Denne programvaren egner seg imidlertid kun for områder som primært er flomutsatt fra nærliggende elv/bekk.

Viktigste resultater fra koblede 1D/2D for ledningsnett/overflate modeller (eventuelt også koblet mot elv/hav) vil være utbredelse og dybde for oversvømmelser både forårsaket av avrenning på overflaten og oppstuvninger fra ledningsnett, for ulike gjentakintervall.



Figur 3.4: Eksempel på flomberegning av utbredelse og vanddybder ved kobling av ledningsnett og overflatemodell (1D+2D). Fra Københavns «skybrudssikring», del-prosjekt Vesterbro København (Rambøll).

Viktigste svakhet er at analysene er beregningstunge og arbeidskrevende.

3.3 Nødvendig datagrunnlag og ressursbehov

Den rasjonelle metode og bruk av IVF-kurver:

Nødvendig datagrunnlag er som følger:

- Avrenningsareal
- Informasjon om avrenningsfeltet:
 - Andel tette flater som bidrar
 - Konsentrasjonstid
- IVF-kurver

Ressursbehovet er lavt for en enkel beregning av et lite felt, anslagvis noen få timer. Dersom feltet er av en viss størrelse (større enn 20-50 ha), anbefales ikke metoden da den blir for unøytaktig.

2D GIS-modellering:

Nødvendig datagrunnlag er som følger:

- Terrengmodell
- GIS-lag med bygninger
- Arealtyper med ulike ruheter
- Tverrsnitt/dybder til elver/bekker
- Dimensjon på hovedkulverter og broer
- Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall.

Ressursbehov er primært knyttet til feltets størrelse og kompleksitet blant annet i forhold til antall bekker/elver og kulverter. Grovt kan en beregne en kostnad på ca. 100-300.000,- for et lite til middels stort overvannsfelt (ca. 50-200 ha).

1D Ledningsnett modellering:

Nødvendig datagrunnlag er som følger:

- Ledningsnettdatabase
- Pumpekapsiteter og pumpekurver
- Data for overløp
- Fordrøyningsvolum
- Styring/reguleringer
- FKB-data, hvor høydedata og bygg/vei-flater er sentrale tema
- Ortofoto bla for vurdering av tette flater som ikke er digitalisert
- Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall, eventuelt langtidsserie med korttidsnedbør.

Ressursbehov er primært knyttet til ledningssystemets størrelse og kompleksitet blant annet i forhold til antall pumper og overløp eventuelt fordrøyningsvolumer og styring/regulering. Grovt kan en beregne en kostnad på ca. 100-250.000,- for et lite til middels stort overvannsfelt/soner (ca. 50-200 ha) UTEN måleprogram og kalibrering, og ca. 200-500.000,- INKLUSIVE måleprogram og kalibrering av modell. For detaljerte beregninger og konkrete tiltaksberegninger anbefales gjennomføring av måleprogram og kalibrering. Erfaringer har vist at faktiske/målte flomvannføringer i ledningsnett i tilsynelatende like avrenningsfelt kan varierer med en faktor opp mot 3-5.

Kombinerte 1D/2D modeller.

Nødvendig datagrunnlag følger av hvilke typer modeller som skal kobles, og er beskrevet i forutgående avsnitt. Typiske databehov vil være:

- Detaljert og helst kalibrert ledningsnettmodell
- Detaljert terrengmodell
- Eventuelt en detaljert elve- eller hav-modell.

Ressursbehov er primært knyttet til feltets størrelse og kompleksitet i forhold de typer modeller som skal kobles/kombineres. Grovt kan en beregne en total-kostnad på ca. 400-800.000,- for et lite til middels stort felt (ca. 50-200 ha).

3.4 Oppsummering

Tabel 3.1. viser en oppsummering av metoder for beregning og analyse av overvannsflom med hensyn til metode, verktøy/programvare, datagrunnlag, ressursbehov, styrker/svakheter og viktigste resultat.

Tabell 3.1. Metoder for beregning og analyse av overvannsflom med hensyn til verktøy/programvare, datagrunnlag, ressursbehov, styrker/svakheter og viktigste resultat.

Nr	Metode	Verktøy/SW (eksempler)	Datagrunnlag	Ressursbehov	Styrker/Svakheter	Viktige resultat
1	Rasjonelle formel	Regneark	Avrenningsfelt, tette flater, IVF-kurver, topografi (lengde, høydeforskjell, andel sjø)	L	Raskt og billig beregning/ Liten nøyaktighet, hensyntar ikke terrengforhold eller ledningsnett	Estimat på maksimal vannføring fra et definert avrenningsfelt
2	2 D overflatemodell	Mike 21, HE/FOG 2D, GISLINE/KlimaGIS (?)	Terrengmodell, areal typer, elve/bekkeløpsdybder/profiler og kulverter. Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall.	M	God nøyaktighet, hensyntar designregn for forskjellige gentagelsesperioder, Detaljert beskrivelse av avrenningen på terreng, Kvantifisering av risiko i form av gentagelsesperiode for hvor ofte der skjer skader på bygninger/ Hensyntar ikke funksjonen av ledningsnettet, Beregningstungt.	Gjentaksintervall, utbredelse og dybde på oversvømmelser forårsaket av avrenning på overfladen. Effekten av ledningsnett/oppsamlingsystem hensyntas IKKE.
3a	1D ledningsnettmodell uten målinger	MIKE Urban, SWWM, ROSIE, mfl	Ledningsnett database, FKB-data. Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall, eventuelt langtidsserie med korttidsnedbør.	M	Brukbar nøyaktighet (hovedplan nivå), Hensyntar designregn for forskjellige gentaksperioder, Kvantifisering av risiko i form av gentagelsesperiode for hvor ofte det skjer oppstuvning til terreng/ Ingen beskrivelse av overflatestrøm på terreng, Beregningstungt, Arbeidskrevende, ikke kalibrert model	Gjentaksintervall for oversvømmelser forårsaket av vann som ender i ledningsnettet – Ingen utbredelse av oversvømmelsen
3b	1D ledningsnettmodell med målinger	MIKE Urban, SWWM, ROSIE, mfl	Ledningsdatabase, feltdata, vannføringsmålinger i ledningsnettet og samtidig måling av korttidsnedbør. Evt. målinger av vannstand i bassenger. Evt. database med registreringer om oversvømmelser fra innbyggere. Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall, eventuelt langtidsserie med korttidsnedbør.	H	God nøyaktighet (hovedplan nivå), Hensyntar designregn for forskjellige gentaksperioder, Kvantifisering av risiko i form av gentagelsesperiode for hvor ofte det skjer oppstuvning til terreng. Kalibrert modell/ Ingen beskrivelse av overflatestrøm på terreng, Beregningstungt, Arbeidskrevende.	Gjentagelsesintervall for oversvømmelser forårsaket av vann som ender i ledningsnettet – Ingen utbredelse av oversvømmelsen. Modellen er kalibrert i forhold til målte data og bør derfor være nærmere virkeligheten.
4	1D+2D Koble nett+overflatemodell	MIKE Flood (Mike Urban, Mike 21), FOG/HE	Terrengmodell, data om vandedybder i vannløp og kulverter/broer, Ledningsdatabase, feltdata. Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall, eventuelt langtidsserie med korttidsnedbør.	HH	God nøyaktighet, hensyntar designregn for forskjellige gentaksperioder, Detaljert beskrivelse av avrenning på terreng, Detaljert beskrivelse av funksjonen til ledningssystemet, Kvantifisering av risiko i form av gentagelsesperiode for hvor ofte det inntreffer skader på byggverk/ Meget beregningstungt, Arbeidskrevende.	Gjentaksintervall, utbredelse og dybde for oversvømmelser både forårsaket av avrenning på overflaten og oppstuvninger fra ledningsnettet. Dessuten også forbigående oversvømmelser i flomløp.
5	1D+2D Koble nett+overflatemodell+elvemodell	Mike Flood (Mike Urban+MIKE 21+Mike 11)	Terrengmodell, Ledningsdatabase, feltdata. Innmålinger av elve-/bekke-profiler og kulverter/bruer og kystnær sjø. Nedbørhendelser med kjent gjentakintervall, eventuelt langtidsserie med korttidsnedbør.	HH	God nøyaktighet, hensyntar designregn for forskjellige gentaksperioder, Detaljert beskrivelse overflateavrenning på terreng, Detaljert beskrivelse av funksjonen til ledningssystemet, Kvantifisering av risiko i form av gentagelsesperiode for hvor ofte det skjer skader på byggverk/ Meget beregningstungt, Meget arbeidskrevende.	Som ovenstående men tar også høyde for kapasitet i vannløp (elv/bekk) og kystnært hav

4. TRINNVIS KARTLEGGING OG ANALYSER AV OVERVANNSFLOM

Nedenfor fremmes det et forslag til en trinnvis metode for hvordan en kommune kan håndtere overvannsflom med hensyn til kartlegging og analysebehov.

En enkel overflateavrenningsmodell kan gjennomføres for alle eksisterende og nye utbyggings-/infrastruktur-områder i en kommune. Deretter må valg av metode/verktøy tilpasses områdenes skadepotensiale og sannsynlighet/fare for at en skadelig overvannsflom skal oppstå. Jo høyere risiko, jo mer avanserte metoder bør anvendes. For lavrisiko områder vil en enkel overflateanalyse være tilstrekkelig, mens for mer risikoutsatte områder må en gjøre spesifikk vurdering av analysebehov og valg av metode/verktøy.

Mer detaljerte metoder og modeller vil gi et forbedret grunnlag for å gjennomføre kostnadseffektive tiltak. Når det er åpenbart at det kreves større investeringer i skadereduserende tiltak pga hyppige/store oversvømmelser og følgeskader, vil det være samfunnsøkonomisk gunstig å bruke større ressurser på gode metoder og modeller. Dersom modeller skal brukes til planlegging og dimensjonering av tiltak anbefales det å bruke detaljerte og presise modeller.

De seneste 20-30 årene har VA-bransjen i Norge høstet nyttige erfaringer med ledningsnettmodellering av høy kvalitet. De siste 5 årene har bruken av GIS-modeller for overflateavrenning økt og har blitt benyttet for flere av de største kommunene i Norge, samt at det har vært enkeltprosjekter med 2D overflatemodeller [14] og kobling mellom ledningsnettmodeller og overflatemodeller. I andre storbyer i Europa er det gjennomført flere større prosjekter som kobler 1D ledningsnettmodeller med 2D overflateavrenningsmodeller, og ofte i kombinasjon med elve-modeller der dette er relevant. Erfaringene er til dels meget gode og metodene og modellene har vist seg å kunne simulere flomhendelser på en meget god måte, forutsatt at nødvendige grunnlags- og kalibrerings-data er av god kvalitet. Metoder og verktøy for å kartlegge og beregne overvannsflom er med andre ord både utviklet og testet ut med gode resultater under ulike hydrologiske og hydrauliske forhold.

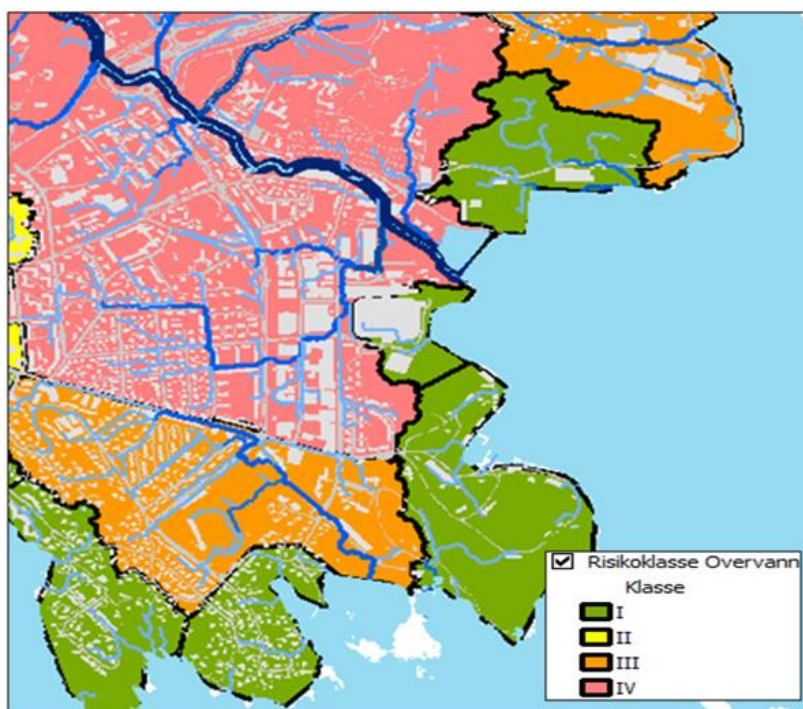
For kartlegging og beregning av overvannsflom i Norske kommuner foreslår vi følgende trinnvise steg for valg av metode/verktøy:

1. For alle utbyggingsområder og infrastruktur (eksisterende og planlagte): **1D overflateavrenningsmodell**, med og uten hovedkulverter/bekk. Graderte flomlinjer og forsenkninger samt inndeling i del-avrenningsfelt for videre analyse.
2. **Analyse og klassifisering av del-avrenningsfelt/nedbørfelt** i henhold til deres skadepotensiale/fare for flom, basert på eksisterende kunnskap og erfaring knyttet til overvannsflom, resultater fra overflateavrenningsmodeller og eksisterende og planlagte sårbare byggverk/infrastruktur. Klassifiseringen danner grunnlag for hvilke krav kommunen bør sette til hvilke analyser som må gjennomføres (evt. dokumentasjon som må fremskaffes) og sette krav til fremtidige planer og utbyggere.
3. **Valg av metoder og analyser som må utføres for å bedre overvannsflomsikkerheten, hvor og av hvem.**
4. For avrenningsfelt med høyt eller meget høyt skadepotensiale og stor sannsynlighet for at skadelig flom skal oppstå: **2D overflateavrenningsmodeller**: Med/uten kulvert/bekk, høy oppløsning (LASER/LIDAR). Bruk nedbørhendelser med kjent gjentakintervall i samsvar med TEK 10.
5. For avrenningsfelt med utbygd ledningsnett for overvann (rene overvann eller avløpfellessystemer) med høyt eller meget høyt skadepotensiale og stor sannsynlighet for at skadelig flom skal oppstå: **Ledningsnettmodeller** som bør kalibreres mot langtidsmålinger (min. en måle-

- sesong). Bruk nedbørhendelser med kjent gjentaksintervall eller langtidssimuleringer for særlig utsatte områder.
6. For avrenningsfelt med kompliserte hydrologiske og hydrauliske forhold, meget høyt skadepotensiale og høy sannsynlighet for at skadelig flom skal oppstå: **Kombinerte 1D/2D-modeller** hvor en kobler **ledningsnettmodeller mot overflateavrenningsmodell**, eventuelt også sammen med en **elvemodell** der bekk/elv vil kunne påvirke overvannsfloppen, eventuelt mot **havmodeller** der tidevannsflopp påvirker. Denne metode anbefales for de største kommunene.

En sentral aktivitet under analyse og klassifisering av avrenningsfelt vil være å samle inn og systematisere data og informasjon om tidligere flomhendelser. Områder som stadig opplever overvannsflopp må prioriteres med hensyn til videre undersøkelser.

Vurderingen av skadepotensiale skal ikke bare ta hensyn til økonomiske verdier men må også ta hensyn til i hvilken grad oversvømmelsene vil utgjøre en fare for befolkningens sikkerhet og helse. En god ROS-analyse av overvannsflopp er derfor kombinerte GIS-analyser av hvor det er fare for at en skadelig flom skal oppstå i kombinasjon med hvor det er sårbare/kritiske byggverk og infrastruktur.



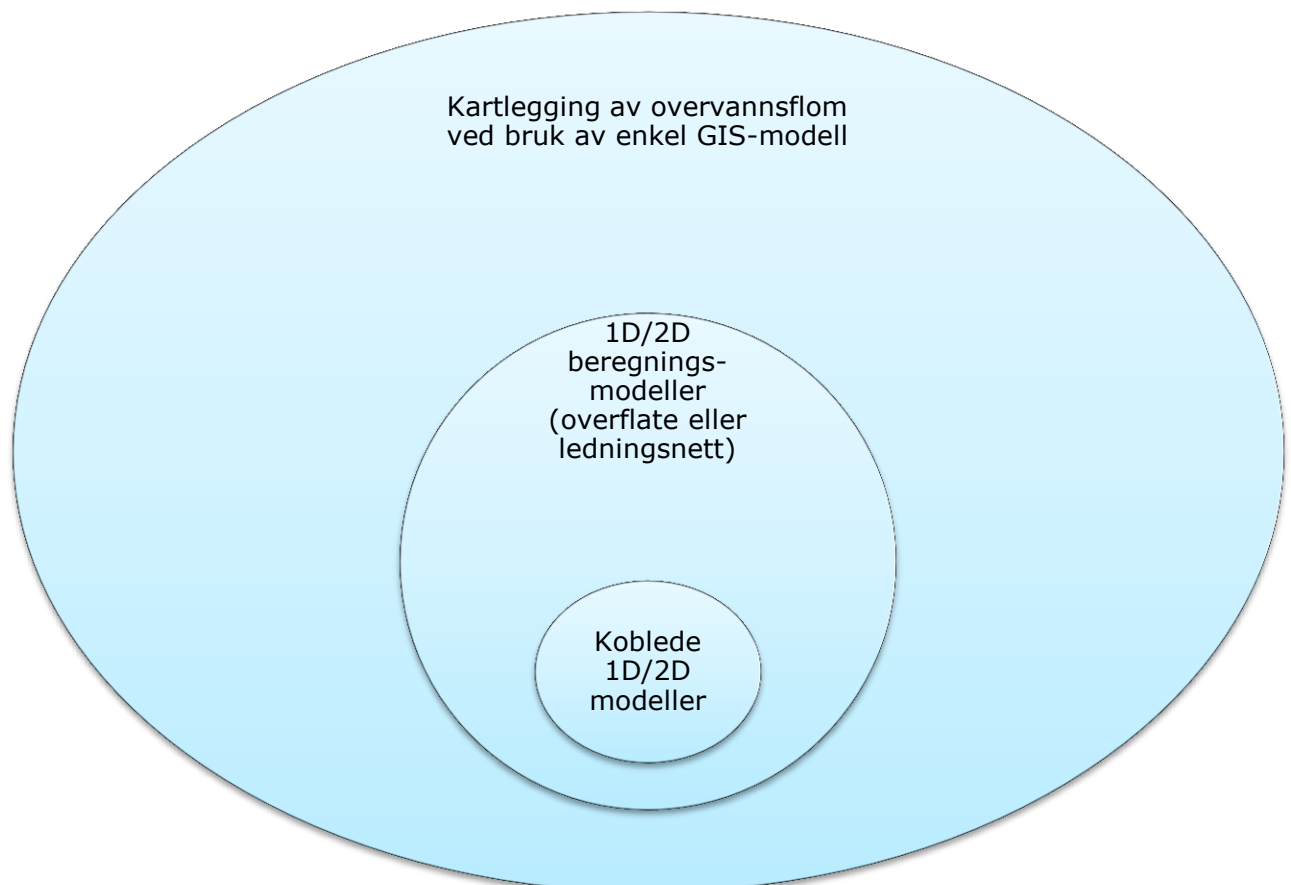
Figur 4.1: Illustrasjon av klassifisering av avrenningsfelt basert på en enkel risiko-analyse av skadepotensiale og faren for at en skadelig overvannsflopp skal oppstå. (Demonstrasjonseksempel.)

I forhold til planlegging av fremtidig bebyggelse/byutvikling og avrenning fra disse, kan det være relevant og gjennomføre enkle overflateavrenningsmodeller. Disse kan være nyttige bidrag med hensyn til å prioritere områder for fremtidig byutvikling.

For områder hvor ledningsnettmodell er etablert, f.eks. i større byer, er det forholdsvis enkelt å oppgradere disse beregninger til oversvømmelsesberegninger av terreng.

Før valg av metode/modell for mer detaljerte beregninger må det gjøres en vurdering av om oversvømmelsene skyldes manglende kapasitet i ledningsnett eller i større vannløp (bekk/elv, grøfter) og kulverter/stikkrenner. Dersom vannløp og kulverter/stikkrenner er hovedutfordringen

er det viktig å gjennomføre kombinerte elve- og overflate-modeller. (For eksempel ved bruk av Mike 11/Mike Flood). For bynære elver/bekker kan det være relevant med kombinerte elv, ledningsnett og overflateavrenningsmodeller. (For eksempel Mike FLOOD/Mike Urban/Mike 11). Dette er beregningstunge analyser, men kan anbefales for de største byene.



Figur 4.2: Grafisk fremstilling av gradert analysebehov for overvannsflom i en kommune. Kartlegging av aktsomhetsområder gjennomføres for alle eksisterende og planlagte utbyggingsområder samt viktig infrastruktur. Videre analysebehov bestemmes basert på risiko og sårbarhet for skade som følge av overvannsflom.

5. REFERANSER OG KILDER

[1] Arc Hydro Tools, ESRI:

<http://resources.arcgis.com/en/communities/hydro/01vn00000010000000.htm>

[2] Aktsomhetskart for overvann –sekundære flomveier. Klimatilpasning.no.

http://www.miljodirektoratet.no/no/Klimatilpasning_Norge/Bibliotek/Erfaringer/Aktsomhetskart-for-overvann--sekundare-flomveier/

[3] FOG/HystemExtran, ITWH: <http://www.itwh.de/software/software-produkte/produkt-detailansicht/fog-modul-2d.html>

[4] Flomveierprosjekt Oslo: <http://www.miljodirektoratet.no/PageFiles/19294/Flomveierprosjekt-Oslo.pdf>

[5] Geodatastyrelsen, Geodataprodukter, Miljødata-Klimatilpasninger, se Vandløp: Strømningsvejes oplandsstørrelse.

http://download.kortforsyningen.dk/content/geodataprodukter?field_korttype_tid_1=3587

[6] KlimaGIS, Vannansamling: <http://www.klimagis.no/wip4/index.epl?cat=18384>

[7] Københavns skybrudssikring, Rambøll: <http://www.ramboll.dk/medier/rdk/skybrudsplaner-i-koebenhavn>

[8] Mike Flood, DHI: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-flood>

[9] HEC-RAS 2d (beta), US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center:

<http://hecrasmodel.blogspot.no/>

[10] ROSIE, Rosim AS: <http://web.rosim.no/index.php/produkter-2/desktop/rosie/>

[11] SewerGEMS: <http://www.bentley.com/en-US/Products/SewerGEMS/>

[12] SWMM: <http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

[13] Utredning Rambøll, Risikoakseptkriterier for overvannsflom og dimensjonerende nedbør. 3.mars 2015. For Miljødirektoratet, publikasjonsnr. M318|2015.

[14] Potensielle flomveger og forsenkninger. Aktsomhetskart flom. Kristiansand kommune. 2013.

<http://kartverket.no/globalassets/om-kartverket/fylkeskartkontorene/kristiansand/andre-samfinansieringsprosjekter/fagdag-laser-og-skrafoto/potensielle-flomveger-og-forsenkninger-aktsomhetskart-flom-08092015.pdf>