

Flomfrekvensanalyse og flomvannlinjeberegninger for byvassdrag

Av *Linmei Nie*, *Ingrid Selseth*, *Sveinung Sægrov*,
Odd Arne Vagle og *Alexandr Andrianov*

Linmei Nie er Dr. ing og forsker og *Ingrid Selseth* er forskningsingeniør ved Vann og miljø, SINTEF Byggforsk. *Sveinung Sægrov* er professor ved Institutt for vann og miljøteknikk (NTNU). *Odd Arne Vagle* er kommunalteknisk sjef og *Alexandr Andrianov* er sivilingeniør, begge er ansatt i Sandnes kommune.

Summary

“Flood frequency analysis and flood water level calculation for rivers in cities”.

Urbanization and climate change are two driving factors that have increased risk of flooding and pollution and caused other adverse consequences in cities. In contrast to large river basins, intensive rainfall or storm events in cities may generate significant runoff discharges from local impervious areas to the small rivers and cause flooding in very short times. As a tool for compliance to EU's flood Directive and NVE's guideline of flood safety control for planning and development in dangerous areas along the rivers, flood risk analysis for rivers in cities has been a vital task for municipalities in Norway. The paper, taking a project in Sandnes as an example, introduces a stepwise approach of estimating flood frequency in urban catchment and calculating flood water levels in rivers. Data

collection and data quality are highlighted to be important for increasing the reliability of analyses. It is concluded that implementation of local flood risk analysis and flood risk mapping is an important step to assist municipal flood risk management and planning for future development in cities. Furthermore the risk analysis results should be updated within a few years due to the changed climate and land uses.

Sammendrag

Utbygging og klimaendring gir raskere og større avrenning på overflater og deretter til vassdrag. Dette øker flomrisikoen i vassdrag spesielt i byer. NVEs retningslinjer for planlegging og utbygging langs vassdrag forutsetter at det ikke bygges lavere enn vannivået ved 200 års flom. Denne artikkelen introduserer metoder og verktøy for å utføre flom- og flom-

vannlinjeberegninger i byvassdrag og hvordan dette kan gjennomføres. Flom- og flomvannlinjeberegninger for Høylandsåna og Storånavassdraget i Sandnes kommune er brukt som eksempel. Det er også et mål at flom- og flomvannlinjeberegningene skal gi et grunnlag for forebyggende tiltak og til å legge inn hensynssoner langs vassdraget i forslag til ny kommuneplan.

Innledning

EUs Flomdirektiv er gjort gjeldende for EU-landene, og er også gjeldende for Norge som følge av EØS avtalen fra november 2007 (EU-FD, 2007). NVE har fått i oppdrag av Olje- og energidepartementet å utarbeide forslag til norsk forskrift samt å stå for kartlegging av flomrisiko. Ifølge NVE¹ vil gjennomføring av direktivet skje i tre trinn:

- Foreløpig flomrisikoanalyse
- Fare- og flomrisikokartlegging
- Vannregionvise forvaltningsplaner for flom

De fleste sentrumsområder i norske kommuner har mye eksisterende og planlagt utbygging. Utbygging og klimaendring gir raskere og større avrenning på overflater og deretter til vassdrag. Dette gir økt flomrisiko spesielt for de vassdragene i byer som allerede er utsatt for flom i perioder.

NVE har utarbeidet nye retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag (NVE, 2008). Retningslinjene viser hvordan flom- og skredfare bør utredes i planprosessen for kommu-

neplaner og reguleringsplaner og videre i byggesaksbehandlingen. En viktig endring i de nye retningslinjene er at anbefalt sikkerhetsnivå for flomutsatt bebyggelse er skjerpet. NVE anbefaler nå en sikkerhet tilpasset en 200 års flom. Dette gjelder også for enkelthus.

NVE har også utført et flomsonekartprosjekt for de vassdragene som har stor flomrisiko. Kartet gir kommunene et bedre grunnlag for arealplanlegging og beredskap. Men prosjektet har ikke utført flomsonekartlegging for alle vassdrag. Det er kommunens ansvar å ha tilstrekkelig sikkerhet mot oversvømmelser. Kommunen eller bygningseierne må derfor gjennomføre en 200 års flom- og flomvannlinjeberegning for vassdragene i byer, spesielt i aktuelle utbyggingsområder. NVE krever også at kommunene må kjøre beregninger i en hydraulisk modell (f. eks. HEC RAS eller MIKE 11 og måle tverrprofil og finne kritiske profiler for vannstand i utsatte områder) (Jerstad, 2008).

Høylandsåna- og Storånavassdraget renner fra Bråsteinvatnet via Stokkelandsvatnet, gjennom Sandvedparken, Sandnes sentrum og ut i Gandsfjorden. Det har vært stor utbygging langs vassdraget. Økt andel tette flater fører til rask avrenning og økt flomsannsynlighet. Allerede på 1990-tallet tok kommunalteknisk sjef i Sandnes initiativ til et samarbeid med SINTEF for å vurdere flomfaren i Høylandsåna og Storåna som følge av de store utbyggingsplaner som kommunen hadde (f. eks. Milina og Selseth, 2002; Nie og Halfskjold, 2008; Nie et al., 2011). Initiativet ga også grunnlag for

¹ www.nve.no

flere studentoppgaver ved NTNU (f. eks. Holvik, 2010).

Disse undersøkelser danner grunnlaget for flom- og vannstandsberegningene i Høylandsåna og Storåna, som er presentert i denne artikkelen. Hensikten er å vurdere hvor vannet renner ut over kanaltverrsnittet for en 200 års flom. Det er også et mål at flomberegningen skal kunne gi et grunnlag for forebyggende tiltak, og at det bør vurderes at tiltak i ett sted i vassdraget kan ha betydning for hele vassdraget. Det er blant annet med bakgrunn i dette prosjektet lagt inn hensynssoner langs vassdraget i forslag til ny kommuneplan.

Nedenfor introduseres metode og verktøy for å utføre flom- og flomvannlinjeberegninger i byvassdrag. Høylandsåna og Storånavassdraget er brukt som eksempel.

Metode

Beregningene er basert på flomfrekvensanalyse og flomvannlinjeberegning for store flommer med 100 og 200 års gjentakintervall.

Frekvensanalyser

Ifølge NVEs retningslinjer for flombe- regninger (Midttømme et al., 2009) og norsk-europeisk standard (NS-EN 752-4, 1998), kan følgende metoder vurderes for å beregne 200 års flom:

- a) Observerte vannføringsdata.
- b) Vannføringsdata fra nærliggende stasjon.
- c) Regionale flomfrekvensanalyser
- d) Nedbør-avrenningsmodell
- e) IVF-kurve (intensitet, varighet,

frekvenskurver) for nedbør sammen med den rasjonelle formel.

Flomfrekvensanalyser utføres på grunnlag av innsamlete data. I dette prosjekt er metode (a) ikke mulig siden det ikke finnes lange nok dataserier til å gjøre en flomfrekvensanalyse ifølge innsamlet data i NVEs hydrologiske stasjoner i Sandnes. Metode (c) vil gi stor usikkerhet i resultatet siden de regionale flomfrekvenskurvene er basert på store naturlige felt og ikke på små urbane felt. De regionale flomfrekvenskurvene er dessuten basert på døgnmiddelvannføringer, og å overføre dette til korttidsverdier vil innføre enda en usikkerhet i beregningene. Metode (e) er anbefalt for urbane nedbørsfelt på 200 ha eller mindre (NS-EN 752-4, 1998). For eksplisitt å kunne ta hensyn til innsjøene i vassdraget og de urbane områdene, er en nedbør-avrenningsmodell det beste alternativet. Derfor er metode (d) eller en blanding av b) og d) de beste alternativene for Høylandsåna og Storånavassdraget.

Flomfrekvensanalyse for de to vassdragene av Høylandsåna og Storåna er basert på måledata fra NVEs hydrologiske stasjoner Aspervik klima (29.1) og Aspervik (29.4). Urbanisering på grunn av utbygging i nedbørsfelt har økt avrenningen betydelig og påvirket tilsiget til elva. Milina og Selseth (2002) beregnet 50 og 100 års flommer basert på 10 års data. Estimaten i denne rapporten har også en betydelig usikkerhet pga en begrenset datamengde.

For å beregne 200 års flom ble flomverdiene ekstrapolert basert på beregne-

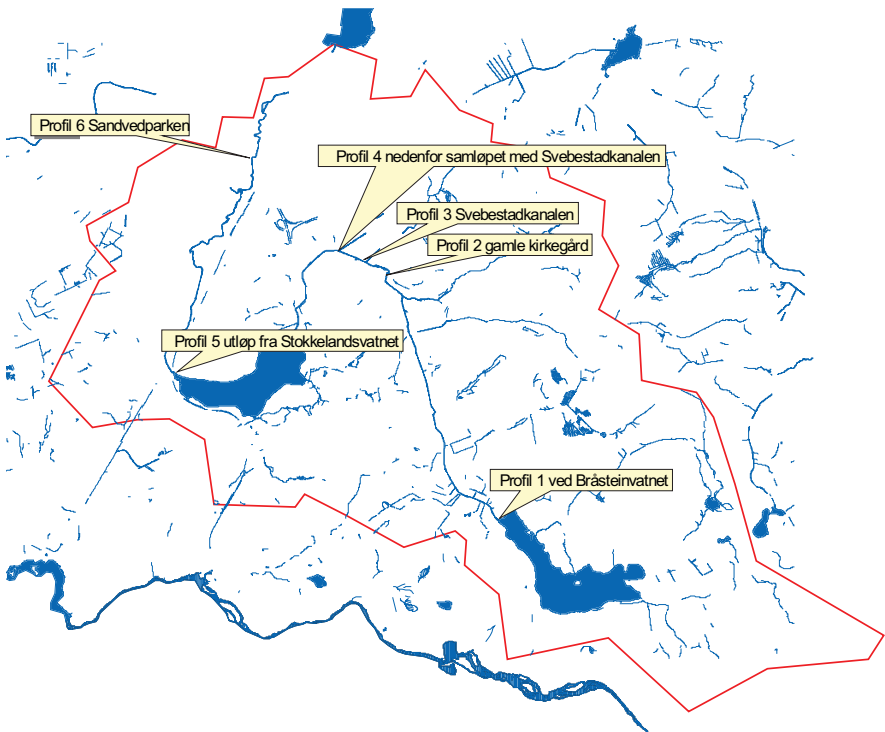
Gjentaksintervall	50	100	200	200+20%	200+30%
Profil 1 ved Bråsteinvatnet	3,2	3,3	3,4	4,08	4,42
Profil 2 ved Gamle kirkegård	8,2	8,9	9,6	11,52	12,48
Profil 3 ved Svebestadkanalen	-	-	-	-	-
Profil 4 nedenfor samløpet med Svebestadkanalen	9,8	10,8	11,8	14,16	15,34
Profil 5 ved utløp fra Stokkelandsvatnet	5,5	6,0	6,5	7,8	8,45
Profil 6 ved Sandvedparken	6,6	7,1	7,6	9,12	9,88

Tabell 1. Ekstrapolerte 200 års flommer for Høylandsåna og Storåna basert på 50 og 100 års flommer (m^3/s)

de 50 og 100 års flommer, slik at økningen i flomverdi fra 50 til 100 års flom er like stor som økningen i flomverdi fra 100 til 200 års flom.

Profilene er vist i figur 1.

Tabell 1 viser de ekstrapolerte verdiene. I tillegg er det lagt på en margin på 20% for usikkerhet i selve flomberegningene og 30% knyttet til klimaforandringer.



Figur 1. Profilene med beregnet vannføring for Høylandsåna og Storåna.

Flomvannlinjeberegning

Programverktøyet for flomvannlinjeberegninger i vassdrag kan være en av de 1-dimensjonal (1D) hydrauliske modellene som kalles HECRAS, HEC-GeoRAS, MIKE 11 eller lignende. Men når flomvannet renner ut over elvas tverrsnitt, kan det bli nødvendig å bruke en 2D-modell. I dette prosjekt ble HecRas versjon 4.1.0 brukt for beregningene. Programmet er laget av Hydrological Engineering Centre, U. S. Army Corps of Engineers og fritt tilgjengelig på <http://www.hec.usace.army.mil/>. Programmet ble også brukt i NVEs flomsonkartprosjekt.

Hydrauliske beregninger i HEC-RAS er basert på bevaring av masse (kontinuitetslikning) og energi (energilikning) for normale elveprofiler, og bevaring av bevegelsesmengde (impulslikning) der det ligger hydrauliske anlegg som bru, kulvert osv. Disse likningene er beskrevet i programmets håndbok (HEC-RAS, 2010). For å kjøre vannlinjeberegning, må man ha informasjon om geometriske data som lengde- og tverrprofiler. Anlegg langs vassdraget som bru, kulvert, dike

og sluse må måles og det trengs informasjon på de profilene hvor vegetasjon og søppel påvirkning på strømmingene i elver og flomveier. I tillegg trenger man fordrøyningskapasitet i nedbørfeltet og informasjon om historiske flommer med vannføring, vannstand i elva og områder der det ble oversvømmelse. Det er viktig å kalibrere modellen.

Lengde- og tverrprofiler

Et lengdeprofil beskriver hvordan elva renner fra oppstrøms til nedstrøms ende. Måledata som representerer lengdeprofilen er koordinater (X, Y, Z) til bunnpunkter langs elvas senterlinje og avstand (L) mellom to punkter. Det er ikke nødvendig, men anbefales at de punktene måles i de samme stedene som tverrprofilene ligger.

Tverrprofiler måles vanligvis i de steder der elvas hydrauliske egenskaper endres betydelig, for eksempel elvas bredde, dybde, fall og der det er hydrauliske anlegg hvor strømningsforholdene endres betydelig. Figur 2 og 3 demonstrerer hvordan dataene ble målt i ulike typer tverrprofiler.



Figur 2. Forberede måledata for lengde- og tverrprofiler



Figur 3. Forberede måledata for tverrprofiler og anlegg

Manningsruhet

I tillegg til geometriske data er det også viktig å samle informasjon om omfang av vegetasjon, busker og trær, steiner, konstruksjonsavfall eller søppel som er langs elva. Manningsruhet bestemmes basert på litteratur og observasjoner (Tabell

2). Verdiene i Tabell 2 og andre hydrauliske parametre som kontraksjon og ekspansjonskoeffisient, og hydrauliske parametre for anlegg som bruer og kulvert bør kalibreres basert på målte vannføringer og flomvannstand i elva og historisk flominformasjon.

Tverrprofil typer	n_{min}	n_{normal}	n_{max}
Bygd kanal med betong eller sement	0,011-0,013	0,013-0,017	0,015-0,025
Bygd kanal med stein med eller uten mørtel	0,015-0,02	0,017-0,03	0,02-0,035
Naturlig elv	0,025-0,07	0,03-0,10	0,033-0,15
Flomveier	0,025-0,110	0,03-0,15	0,035-0,200

Tabell 2. Manningsruhet for naturlig elv og bygd kanal (Chow, 1959; HECRAS-reference manual, 2010)

Strømningsforhold og grensebetingelser for hydrauliske beregninger

I store flommer vil strømmingen i vassdraget bli dynamisk og de hydrauliske beregningene blir kompliserte. For å identifisere de høyeste vannlinjer for flommer med ulike gjentaksintervall ble flomvannlinjeberegninger beregnet under forutsetning av stasjonærstrømning.

Hydrauliske grensebetingelser ved oppstrøms ende er vanligvis tilsig til vassdraget. Som grensebetingelser i nedstrøms ende av vassdraget kan man bruke kjent vannstand eller hydraulisk fall av lengdeprofil. Modellen kan kjøres med underkritisk eller superkritisk strømningsforhold.

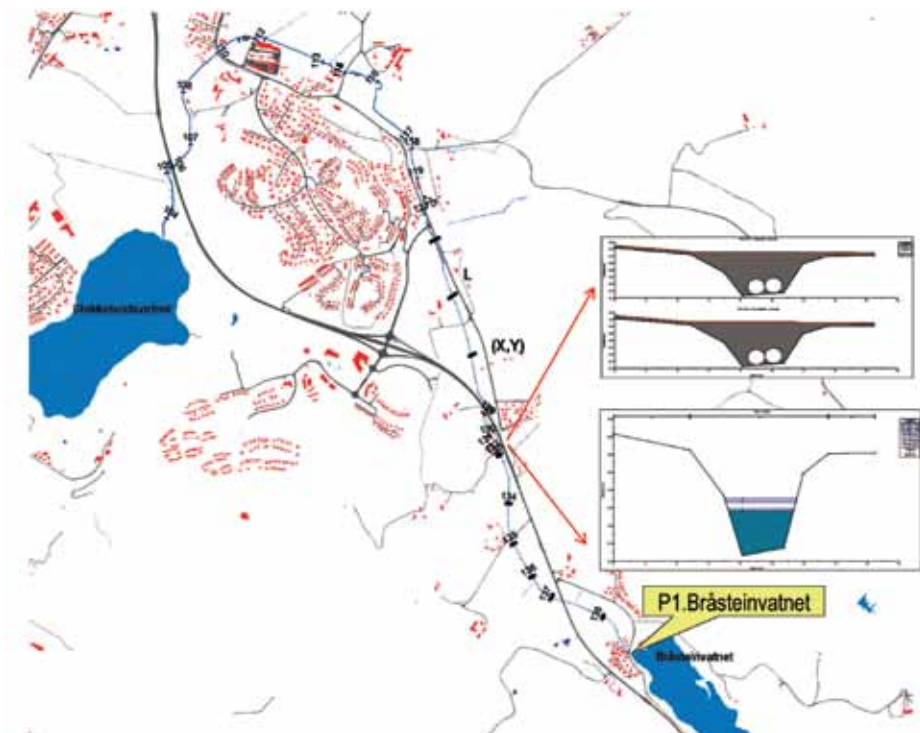
Beregninger av vannstand

Høylandsåna renner ut fra Bråsteinvatnet og munner ut i Stokkelandsvatnet. Storåna renner fra Stokkelandsvatnet og løper gjennom Sandvedparken, Sandnes sentrum og ut i Gandsfjorden. I tillegg til vassdragene gir to store vann, Bråsteinvatnet og Stokkelandsvatnet, store naturgitte fordrøyningsmuligheter i nedbørfeltene. På grunn av dette antar vi at de to vassdragene er hydraulisk uavhengig av hverandre. Flomvannlinjeberegningen for 200 års flom er utført separat for hvert av vassdragene. Det er samme metode og prosess for flomvannlinjeberegning for

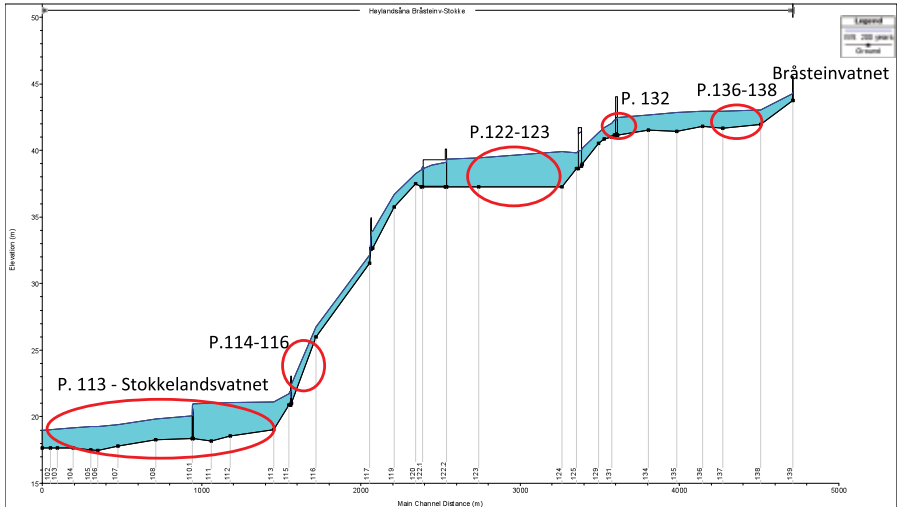
Høylandsåna og Storåna. Her er Høylandsåna vist som eksempel for å vise resultatene.

Flom vannlinjeberegning for Høylandsåna

Figur 4 viser Høylandsåna med måleprofiler fra Bråsteinvatnet til Stokkelandsvatnet. Basert på flomberegning i Tabell 1 ble flomvannlinje beregnet for Høylandsånavassdraget. Figur 5 viser beregnede vannlinjer for Høylandsåna. Identifiserte steder med høy flomrisiko for en 200 års flom er avmerket med sirkljer på figuren.



Figur 4. Høylandsåna med måleprofiler fra Bråsteinvatnet til Stokkelandsvatnet.



Figur 5. Beregnede vannlinjer for Høylandsåna og steder med høy flomrisiko for 200 års flom.

Konklusjon og forslag

Sandes kommune har lagt ned betydelig arbeid selv for å framskaffe best mulig grunnlag for SINTEFs beregninger. Kommunen vurderer at beregningene avdekker de kritiske punktene i vassdraget. Prosjektet gir en god oversikt på overordnet nivå og gir et godt grunnlag for kommunen i vurderingen av forebyggende tiltak. Problemområder som er avdekket må søkes løst lokalt i forbindelse med utbygging.

Som det framgår av rapporten knyttes det usikkerhet til beregningene. Det gjelder spesielt for nedbørdata som har for kort dataserier for flomfrekvensanalyse, og manglende historiske flomdata som vannføring og vannstand for kalibrering av hydraulisk modell. I tillegg burde måletverrprofiler forlenges der vannet går ut over elvekanten.

Ifølge NVEs flomsoneprosjekt bør kommunen også kartlegge lavpunkter

nær vassdraget. Dette er områder som ikke har direkte forbindelse med elva, f. eks. områder bak flomverk, kulverter m.v. Disse områdene vil ha annen sannsynlighet for oversvømmelse og må behandles særskilt. Disse områdene vil være spesielt utsatt ved intenst lokalt regn, ved stor flom i sidebekker eller ved gjentetting av kulverter.

Takk

Denne artikkelen er basert på et SINTEF-prosjekt for flom- og flomvannlinjeberegninger Sandnes. Vi vil takke Sandnes kommune for god tilrettelegging av arbeidet og MATRICULA AS som har utført målinger av profilene. Takk også Leif Sigurd Hafskjold som var SINTEFs prosjektleder og til Kolbjørn Engeland som har bidratt med flomfrekvensanalyse.

Referanser

- Chow, V.T. (1959). Open Channel Hydraulics. In French (1985). Open-Channel Hydraulics. McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, Civil Engineering Series.
- EU-FD (2007). Directives on the assessment and management of flood risks. The European Parliament and of the council of 23 October 2007.
- HEC-RAS (2010). Reference and user manual. Hydrological Engineering Center, U.S. Army Corps Enginners (<http://www.hec.usace.army.mil/>).
- Holvik, I. S. (2010). Impacts of Storm water runoff from climate change – Example study in Sandnes, Norway (MSc. Thesis). Dept. of Hydraulic and Environmental Engineering, NTNU.
- Jerstad S.A. (2008). Mangelfull flomutredning – Bjønnebåsen, Sandnes kommune. NVE brev, 21.10.2008.
- Milina, J., og Selseth, I. (2002). Byutvikling i Sandnes. Konsekvenser for hydrologiske forhold og vannføring i Høylandsåna-, Storåna- og Skjævelandsånassdraget. SINTEF-rapport nr. STF66 A02105.
- Midttømme G. H., Nøtsund Ø., Holmqvist E., Pettersson L.E. (2009). Retningslinjer for flomberegninger til. NVE Retningslinjer. Oppdatert versjon 2011:04.
- Nie, L., Hafskjold, L.S. (2008). Flomfrekvensanalyse og flomvannlinjeberegning for Bjønnebåsen boligområde i Sandnes kommune. SINTEF-rapport SBF IN F08311.
- Nie, L., Hafskjold, L.S., Selseth, I., Engeland, k. (2011). 200 års flomberegning for Høylandsåna- og Storånassdraget i Sandnes kommune. SINTEF-rapport SBF2011 F0016.
- NS-EN 752-4 (1998). Drain and sewer systems outside buildings - Part 4: Hydraulic design and environmental consideration. European Committee for Standardization. Norwegian-European standard.
- NVE (2008). Planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag. Retningslinjer, nr.1 2008.