

Aktsomhetskart for oversvømmelser ved bruk av maskinlæring: Klimatilpasningsprosjekt i Fredrikstad kommune

Av Werner Svellingen og Geir Torgersen

Werner Svellingen (Cand.scient.) er Ph.D-student ved NTNU og CTO 7Analytics AS.
Geir Torgersen (Ph.D) er førstemanuensis Høgskolen i Østfold og Spesialrådgiver 7Analytics AS.

Summary

Caution maps for flooding by machine learning. A case study on climate adaption in Fredrikstad municipality. A caution map for areas vulnerable to pluvial floods is developed in Fredrikstad as a collaboration between 7Analytics (7A) and the local municipality. As a climate adaption project, it is funded by Norwegian Environment Agency. Previously 7A has developed the InzureFlood model, which calculates the pluvial risk index for buildings (PFI_{bygg}) based on terrain and damage data from all over Norway. PFI_{bygg} is made by machine learning and algorithms for pattern recognition. In this project the surface area of Fredrikstad is divided into catchments, and PFI_{bygg} from InzureFlood is used to calculate the index for each catchment (PFI_{sone}). PFI_{sone} has been validated for real damage events in Fredrikstad and shows a positive correlation between high PFI_{sone} and catchments with multiple recorded flood events. The values of PFI_{sone} are further visualized in a caution map. A uniform color scale has been defined based on the values of PFI_{sone} . The map is dynamic and will be updated by changes in the data set, e.g. as a consequence of land development. The caution map can potentially be an important decision tool for the municipality in task that range from spatial planning to emergency work.

Sammendrag

Et aktsomhetskart for oversvømmelse over sårbare områder i Fredrikstad er utviklet i samarbeid mellom 7Analytics (7A) og kommunen. Prosjektet er støttet med klimatilpasningsmidler fra Miljødirektoratet. 7A har tidligere utviklet modellen InzureFlood som beregner pluvial flomrisikoindeks for bygninger (PFI_{bygg}), basert på terreng- og skadedata fra hele landet. PFI_{bygg} er utviklet ved bruk av maskinlæring og algoritmer for mønstergjenkjenning. I dette prosjektet er overflatearealet i Fredrikstad kommune inndelt i avrenningssoner, der PFI_{bygg} fra InzureFlood er anvendt til å beregne flomindeks innenfor hver avrenningszone (PFI_{sone}). PFI_{sone} er validert for faktiske skadehendelser i Fredrikstad og viser positiv korrelasjon mellom høy PFI_{sone} og soner med mange registrerte skader. PFI_{sone} -verdiene er videre visualisert i et aktsomhetskart. Det er definert en enhetlig fargeskala ut fra verdiene for PFI_{sone} . Kartet er dynamisk og oppdateres ved endringer i datasettet, f.eks. utbygging av nye områder. Aktsomhetskartet kan være viktig beslutningstøtte for kommunen i alt fra arealplanlegging til beredskapsarbeid.

Innledning

Bedre kunnskapsgrunnlag om naturskader og konsekvensene som følger av slike hendelser, er

viktig for offentlige beslutningstakere som arbeider med risiko- og sårbarhetsanalyse knyttet til klimaendringer (Thomassen & Hauge, 2022a). For å støtte dette arbeidet er det nylig gjennomført et prosjekt i Fredrikstad hvor en maskinlæringsmodell (ML-modell) er anvendt for å analysere store datamengder for å identifisere områder i kommunen som er sårbare for flom. Prosjektet har vært finansiert med klimatilpasningsmidler fra Miljødirektoratet og utført av 7Analytics (7A) i samarbeid med Fredrikstad kommune. 7A samarbeider også med forsikringsbransjen og har tidligere utviklet ML-modellen InzureFlood som analyserer bygningers pluviale flom indeks (PFI_{bygg}) (Torgersen & Svellingen, 2023). Prosjektet med å fremstille aktsomhetskart bygger videre på InzureFlood.

Målet med dette prosjektet har vært å etablere pluvial flomindeks for avrenningssoner (PFI_{sone}) i Fredrikstad og visualisere det i et aktsomhetskart. Kartet er basert på sammenlignbare kriterier for hele kommunen og identifiserer hvor risikoen for oversvømmelse fra styrtregn, såkalt pluvial flom, er størst. Det kan anvendes som beslutningsstøtte for prioritering av forebyggende tiltak og krisehåndtering. Aktsomhetskartet oppdateres kontinuerlig med nye datasett etter hvert som hendelser inntreffer og nye tiltak gjennomføres.

Fredrikstad har vært pilotkommune for prosjektet, men modellen kan også etableres for andre kommuner. Selv om modellen er utviklet for pluviale hendelser, kan den også være verdifull for å estimere risikoen uavhengig av flommens årsak. Tallverdiene som er beregnet, betegnes i artikkelen som Pluvial Flom Index (PFI). Det skiller mellom indeks for bygninger (PFI_{bygg}) og for avrenningssoner (PFI_{sone}), der sistnevnte brukes i aktsomhetskartet.

Det er særlig to forskningsspørsmål som ønskes besvart i artikkelen:

- Kan en ML-modell, basert på forsikringsregistrerte vannskader, terrengdata og arealdata for eiendommer over hele landet, brukes til å beregne flomindeks og utvikle aktsomhetskart for avrenningssoner i Fredrikstad?

- Vil validering fra faktiske flomrelaterte skader i Fredrikstad vise at oversvømmelser skjer hyppigere i soner med høy flomindeks?

Registrerte vannskader for validering av aktsomhetskartet

I prosjektet er datasett med bygningsskader fra faktiske og registrerte oversvømmelser og adressene til skadestedene brukt for å validere aktsomhetskartet.

En kilde til skadedata i Norge er Kunnskapsbanken. I 2022 ble Kunnskapsbankforskriften, som administreres av Direktoratet for Sivilt Beredskap (DSB) (Finans Norge, 2022), innført. Forskriften krever at forsikringsselskaper rapporterer vannskader til Kunnskapsbanken. Ordningen muliggjør at bl.a. at kommuner kan få tilgang til skadedata til bruk i det forebyggende arbeidet innen samfunnssikkerhet. Skadedata er viktig for å forbedre klimatilpasningsarbeidet i norske kommuner. At forsikringsselskapene deler slik informasjon med offentlige myndigheter, til tross for et innbyrdes konkurranseforhold, gjør Norge til et foregangsland på dette området (Hauge et al., 2018). Skadene er registrert og klassifisert i henhold til vannskaderegisteret (VASK) som administreres av Finans Norge (Finans Norge, 2024). Registrering skjer vanligvis i forbindelse med besiktigelse eller taksering av skaden av takstmann eller annen representant for forsikringsselskapet. Aktiv bruk av Kunnskapsbanken fra kommunene, kan også bidra til å forbedre både registeret og kvaliteten på tilgjengelige skadedata (Finans Norge, 2022).

Prosjektplanen var å utvikle en modell for å fremstille aktsomhetskart basert på registrerte skader i Fredrikstad hentet fra Kunnskapsbanken. Det viste seg imidlertid at skadedata kun var tilgjengelige for perioden 2014-18. Tilfeldigvis var det noen år uten store regnhendelser i Fredrikstad, sammenlignet f.eks. med 2008, 2012 og 2019. Planen ble derfor endret til å videreutvikle InzureFlood, som er en ML-modell som anvender skadedata fra hele landet. Tre forskjellige datasett med skaderegistreringer fra faktiske regnhendelser i Fredrikstad er brukt for å validere aktsomhetskartet.

Datakvalitet er identifisert som en hovedutfordring som hindrer effektiv bruk av skadedata (Brevik et al., 2015; Thomassen & Hauge, 2022b). En gjennomgang av både adresser og VASK-koder har bekreftet utfordringen. Skadedataene er hovedsakelig basert på manuell registrering, ofte som fritekst-felt uten standardiserte verdier og automatisk adressøsøk, f.eks. ved bruk av Kartverkets programmeringsgrensesnitt (api), som fører til inkonklusiv skadeklassifikasjon og/eller lokasjon. Prosjektet har utført omfattende analyser for å avdekke mulige feilkilder og utviklet en automatisert metode for feilretting av klassifikasjon av adresser. Koden er testet på datasettene fra Fredrikstad, og etter feilrettingen er et flertall av skadene koblet til en adresse i kommunen.

Dataene viser varierende metode for registrering av hendelsesdato, der tidspunktet kan både være når hendelsen skjedde, når den ble oppdaget, når skaderapporten ble laget eller når den ble forsikringsregistrert. Ulike måter å registrere dato på er bekreftet i dialog med forsikringsselskapene. Det ble derfor utviklet en algoritme som automatisk klassifiserer sannsynligheten for at vannskaden er knyttet til en pluvial hendelse etter at lokasjonsalgoritmen er brukt på datasettet.

Metode

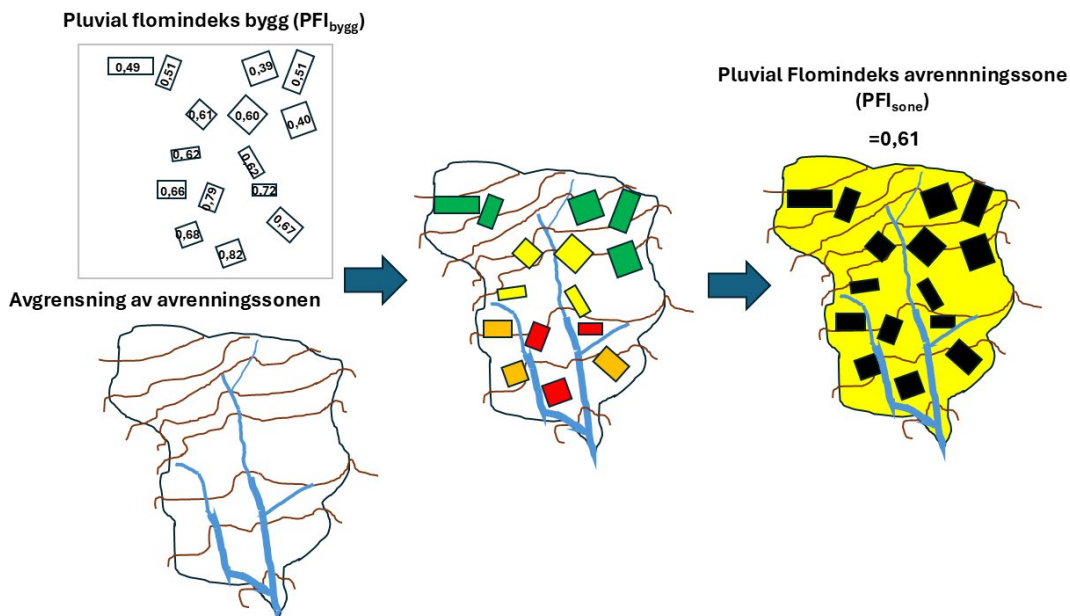
Ved store nedbørmengder er det særlig terrengformasjoner og overflatens arealbruk som bestemmer mengde og transport av overflatevann, og hvor vannet samles. Bygningens plassering kan kvantifiseres gjennom variabler som f.eks. terrenghelning, kurvatur, høyde, lokalisering i nedslagsfeltet og avstand til veier eller vannansamling, som alle kan ha betydning eiendommens spesifikke risiko for skade.

Digital høydemodell (DEM) er hentet fra Nasjonal detaljert høydemodell med en oppløsning på 1x1m (Kartverket, 2024). Den anvendes for hydrologiske beregninger, for bl.a. å definere avrenningslinjer og avgrense avrenningssoner. DEM-dataene brukes videre til å beregne verdier for skråning, kurvatur, høyde og andre variabler som inngår i PFI_{bygg} . For å øke

modellens nøyaktighet i å representere naturlige vannsystemer, er det nødvendig med spesifikke prosesseringsteknikker som bearbejder høydemodellen. Reprosessert DEM (cDEM) er utviklet for å representere naturlig vannstrøm på overflaten, f.eks. ved å legge til bygg eller åpne opp vannveier som er inkludert ved bruk av teknikker som “*stream-burning*,” som justerer høydemodellen der vannet ledes gjennom kulverter under infrastruktur som veier og jernbanelinjer (Lindsay, 2016). Dette bidrar til å forbedre modellens evne til å simulere vannbevegelser og deres interaksjon med landskapet. Det sikrer at avrenningslinjene som genereres, viser nøyaktig overflatevannets strømninger.

Endringer i arealbruk, slik som urban fortetting eller avskoging, har en vesentlig innvirkning på den hydrologiske syklusen f.eks. ved endringer i infiltrasjonshastighet eller overflatens volumkapasitet. I Norge benyttes Felles Kartdatabase-Arealressurskart i målestokk 1:5000 (FKB AR5) (GeoNorge, 2024) som en viktig kilde for informasjon om arealdekke. AR5 representerer et omfattende nasjonalt system for kartlegging av arealbruk. I studien er det utviklet en automatisert prosess for å integrere flere datasett, noe som har resultert i et høyoppløselig arealbruksklassifiseringssystem (*hrLanduse*) med 30 distinkte kategorier som representerer overflatens infiltrasjonsevne. Dette gir en mer nøyaktig representasjon av arealdekket og styrker det statistiske grunnlaget for beregning av PFI.

En avrenningssone er et avgrenset geografisk område hvor alt regnvann som faller innenfor sonens grenser, samles og ledes til et felles utløpspunkt, som oftest nederst i sonen. Inndelingen av Fredrikstad kommune i avrenningssoner er utført ved hjelp av algoritmer som benytter høydedata og tar hensyn til ønsket størrelse på hver avrenningssone. Metodikken sikrer at aktsomhetskartet reflekterer de hydrologiske forholdene i kommunen, noe som er essensielt for å kunne identifisere og vurdere flomrisiko på et detaljert nivå. Avrenningsfeltene bestemmes ved å analysere krysningspunktene mellom avrenningslinjene og defineres ut fra forbindelsen mellom disse



Figur 1. Skjematisk fremgangsmåte for å beregne PFI_{sone}

linjene. For utviklingen av aktsomhetskartet ble størrelsen på avrenningsfeltene valgt ut fra hydrologiske og topografiske kriterier som sikrer en hensiktsmessig inndeling av landskapet.

I Fredrikstad kommune er størrelsen på avrenningssonene beregnet ved å identifisere krysningspunkter mellom avrenningslinjer hvor oppstrøms areal overstiger 250 m². Basert på denne tilnærmingen, er hele kommunen inndelt i ca. 5 000 avrenningssoner, noe som muliggjør en detaljert analyse av lokale hydrologiske forhold og visualisere flomutsatte områder i en fornuftig målestokk. Måten aktsomhetskartene er utviklet på, er skjematisk fremstilt i figur 1.

Pluvial flomindeks - bygg (PFI_{bygg})

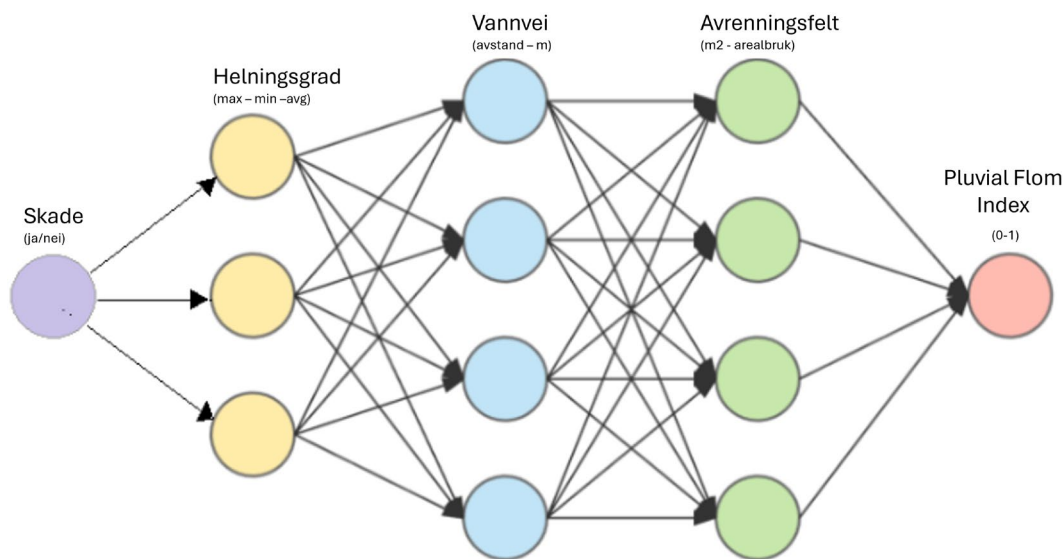
InzureFlood er en ML-modell som er bygget for å identifisere mønstre mellom variabler som karakteriserer bygningens lokasjon, sammenholdt med byggets historiske vannskader. Modellen er basert på over 250 unike og kvantifiserbare parametere for hver bygning og området rundt bygget. Variablene beskriver byggets plassering knyttet til terrengdata og arealbruk. InzureFlood-modellen er trent på data fra ca. 1,3 millioner bygninger, med og uten tidligere

oversvømmelsesskader fra hele Norge. Figur 2 viser strukturen som er brukt i InzureFlood-modellen for å beregne PFI_{bygg} .

InzureFlood-modellen anvender et Konvolusjonelt Nevralt Nettverk (CNN) som vist i figur 2. I nettverket brukes mønstergjenkjenningsskemaer som kobler alle parametere i modellen sammen. Figur 2 viser en konseptuell skisse av nettverket.

Modellen «trenes» med historiske skadedata kombinert med assosierte variabler som terreng- og arealparametere f.eks. helning (maksimal, minimal, gjennomsnittlig), vannveier (avstand og areal), og avrenningsfeltets størrelse og arealbruk. Inndataene fra skadehistorikk (ja/nei) går gjennom flere lag med nevroner som identifiserer mønstre og sammenhenger mellom variablene. Nettverket anvender avanserte mønstergjenkjenningsskemaer for å identifisere terrengkombinasjoner som kan indikere høy risiko, inkludert bygninger som ennå ikke har opplevd flomskader. Dette muliggjør estimering av PFI_{bygg} for oversvømmelse fra historiske skadedata og fysiske variabler.

En fordel med modellen er at den oppdateres ved tilgang til nye skadedata, noe som vil føre til



Figur 2. Konvolusjonelt Nevraltt Nettverk (CNN) som er brukt for å beregne PFI_{bygg}

en kontinuerlig forbedring og automatisk oppdatering av PFI_{bygg} . Utover tilgang til flere skadedata, vil modellen også oppdateres ved nye kartlag, f.eks. arealbruk og topografi.

PFI_{bygg} er beregnet uten å modellere for spesifikke gjentakintervaller for nedbør eller klimafremskrivninger. Dette innebærer at modellen gir vurdering av nåværende risiko basert på historiske data. Imidlertid kan den ytterligere utvikles ved å inkludere gjentakintervaller og / eller klimafremskrivningsmodeller for å vurdere fremtidige scenarier.

Pluvial flomindeks - avrenningssoner (PFI_{sone})

InzureFlood beregner PFI_{bygg} som et tall mellom 0 og 1. Pluvial flomindeks (PFI_{sone}) for en avrenningszone er basert på gjennomsnittsberegninger fra PFI_{bygg} . Derfor vil også utfallsrommet for sonverdiene være innenfor dette intervallet.

For en avrenningszone bestående av mange bygninger med høy PFI_{bygg} , kan konsekvensene være mange boligskader ved styrtregn. Flomindeksen, PFI_{sone} , beregnes ut fra gjennomsnittlige PFI_{bygg} -verdier i sonen og anvendt som grunnlag for aktsomhetskartet. PFI_{sone} er beregnet etter formelen:

$$PFI_{sone} = \frac{\sum_{i=1}^n PFI_{bygg,i}}{n} \quad (1)$$

PFI_{sone} er deretter gruppert, der liknende verdier antas å ha omtrent samme risiko for vannskader. Basert på trafikklysmetoden som angir farenivå er det i aktsomhetskartet brukt gul, oransje og rød for soner med hhv. middels, høy og svært høy sårbarhet ved pluviale hendelser.

Resultater og diskusjon

Identifisering av PFI_{sone} gjør det mulig å sammenlikne ML-modellens soner med observerte skadedata i kommunen.

Sammenligning av ML-modellen med registrerte vannskader

Verdier for PFI_{sone} i Fredrikstad er sammenliknet med tre datasett med registrerte skadehendelser r i kommunen. Formålet med dette har vært:

- Validere modellresultatene for å identifisere sammenhengen mellom avrenningssoner med høy risiko og mange registrerte vannskader.

- Kalibrere PFI_{soner} -verdier med registrerte skader for å definere fargeskala.

Tre skadedatasett er inkludert i prosjektet; et fra Kunnskapsbanken for perioden 2014-2018 og to fra en stor regnhendelse 01.09.19, registrert av Fredrikstad kommune. Hver av disse datasettene er klargjort ved bruk av utviklede algoritmer og sammenholdt med PFI_{soner} der skaden er registrert. For hvert datasett ble det beregnet gjennomsnittlig PFI_{soner} for avrenningssoner med 0,1,2 3, skader osv.

Innsjonen med aktsomhetskart er å vise områder hvor det er særlig viktig å utvise forsiktighet på grunn av spesifikke flomrisikoer eller naturfarer og brukes ofte som verktøy i arealplanlegging, utbygging, og beredskap for å sikre at tiltak blir gjennomført for å minimere skader. Antall bygninger innenfor avrenningssonene varierer. Soner uten bygninger har naturlig nok ingen registrerte bygningskader eller sannsynlighet for å få det. Sannsynligheten for skader i soner med få hus er dessuten mindre enn i soner med flere bygninger. Det er derfor definert en nedre terskelverdi for antall bygninger avrenningssonen må inneholde for å inngå i valideringen og visualisering i aktsomhetskartet. Ved bruk av terskelverdi unngår man dessuten også problematikken rundt identifisering av enkeltbygninger som er særlig eksponert for oversvømmelse. Definert terskelverdi i prosjektet er satt til ≥ 50 bygninger.

Tabell 1. Resultater fra datasett 1:

Skader per sone*	Gjennomsnittlig flomindeks (PFI_{soner})
0	0,584
1-2	0,587
≥ 3	0,606

*I utvalget har 106 soner 1 eller 2 skader. 12 soner har 3 eller flere skader

Tabell 2. Resultater fra datasett 2:

Skader per sone*	Gjennomsnittlig flomindeks (PFI_{soner})
0	0,574
1-2	0,582
≥ 3	0,634

*I utvalget har 80 soner 1 eller 2 skader. 51 soner har 3 eller flere skader

Datasett 1: (Fra Kunnskapsbanken 2014-18):

Datasettet inneholder 180 verifiserte og georefererte skader over en femårsperiode.

PFI_{soner} varierte fra i gjennomsnitt fra 0,584 for soner uten skader til 0,606 for soner med tre eller flere skader. For de 12 sonene som er registrert med 3 eller flere skader, varierte indeksen mellom 0,472 og 0,699.

Datasett 2: (innrapporterte til kommunen fra regnhendelsen 01.09.19)

Datasettet inneholder 481 skader, alle fra samme regnhendelse. Skadene var ikke var kodet iht. VASK slik som datasett 1, men meldt inn til kommunen som oversvømmelseskade etter en bestemt regnhendelse.

Gjennomsnittlig PFI_{soner} varierte fra 0,574 for soner uten skader til 0,634 for soner med tre eller flere skader. For de 51 sonene som er registrert med 3 eller flere skader, varierte indeksen mellom 0,468 og 0,767.

Datasett 3: (skader på kommunale bygg under regnhendelsen 01.09.19)

Datasettet omfatter 17 skader registrert på kommunale bygninger og fra samme hendelse som i datasett 2.

For soner med 2 skader var PFI_{soner} hhv. 0,684 og 0,746. Datasettet har det laveste antall skader, men tendensen er den samme som i datasett 1 og 2.

Tabell 3. Resultater fra datasett 3 brukt i valideringen

Skader per sone*	Gjennomsnittlig flomindeks (PFI _{sone})
0	0,584
1	0,595
2	0,715

*1 utvalget har 13 soner 1 skade. 2 soner har 2 skader hver

Tabell 4. Kategorisering og fargeskala for sårbarhet i avrenningssonene

Fargebruk i aktsomhetskartet	Pluvial flomindeks PFI _{sone}	Sårbarhet
(ingen)	< 0,6	lav
	0,6-0,65	middels
	0,65-0,70	høy
	> 0,70	svært høy

Som skissen i figur 1 illustrerer, kan det være store variasjoner i PFI_{bygg} innenfor en avrennings-sone. Gjennomsnittsbetraktninger som inkluderer mange bygninger, vil utjevne forskjellene. For avrenningssoner i Fredrikstad med 50 eller flere bygninger varierer PFI_{sone} fra 0,38 til 0,77. Gruppering av PFI_{sone} basert på antall skader i sonen, gir en utjevning, noe som kan forklare den relativt lille verdivasjonen i tabell 1-3.

Formålet med sammenlikningen var å undersøke sammenhengen mellom skader og PFI_{sone} verdier, som vist i tabell 1-3. For alle datasettene en det en positiv korrelasjon mellom antall registrerte skader og gjennomsnittlig PFI_{sone}.

Fastsettelse av risikonivå i avrenningssonene

Et annet formål med valideringen var å identifisere PFI_{sone}-verdier for bruk i fargeskala. Ved å gruppere PFI_{sone} sammen med fargeskala, kan resultatene enkelt visualiseres og forklares til brukere av aktsomhetskartet. Ut fra verdiene i tabell 1-3 er skalaen definert som vist i tabell 4. For at aktsomhetskartet skal fremheve sårbare avrenningssoner og for lettere å se bakgrunns-kartet, er områder med lav sårbarhet (PFI_{sone} ≤ 0,599) ikke markert i kartet.

Begrepsbruken for sårbarhet er i tråd med rammeverket fra Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap (DSB, 2019).

Aktsomhetskart for ulike områder

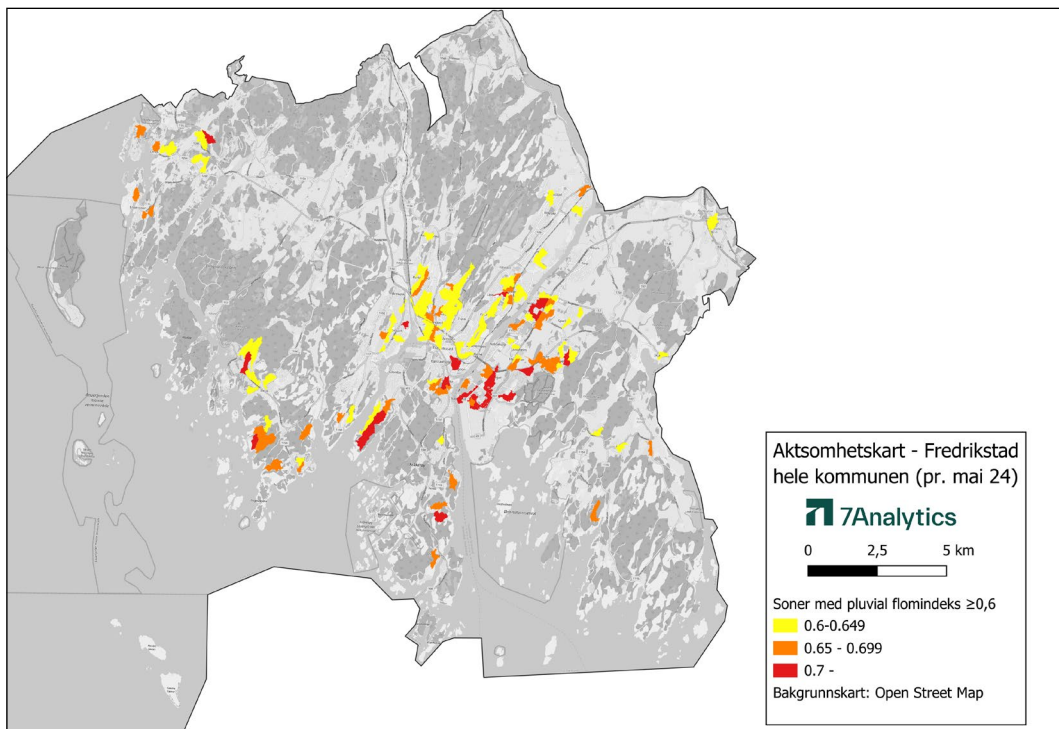
Aktsomhetskart for Fredrikstad er visualisert ved bruk av kartverktøyet QGIS for ulike områder og i varierende målestokk (Figur 3-5). De viser avrenningssoner ut fra sårbarhet for hhv. hele kommunen, sentrum og omegn og sentrum øst.

Aktsomhetskartet gir en visuell fremstilling av soner med lav, middels, høy og svært høy sårbarhet, noe som gir et godt beslutningsgrunnlag til videre bruk i kommunen både for planlegging og i beredskapssituasjoner.

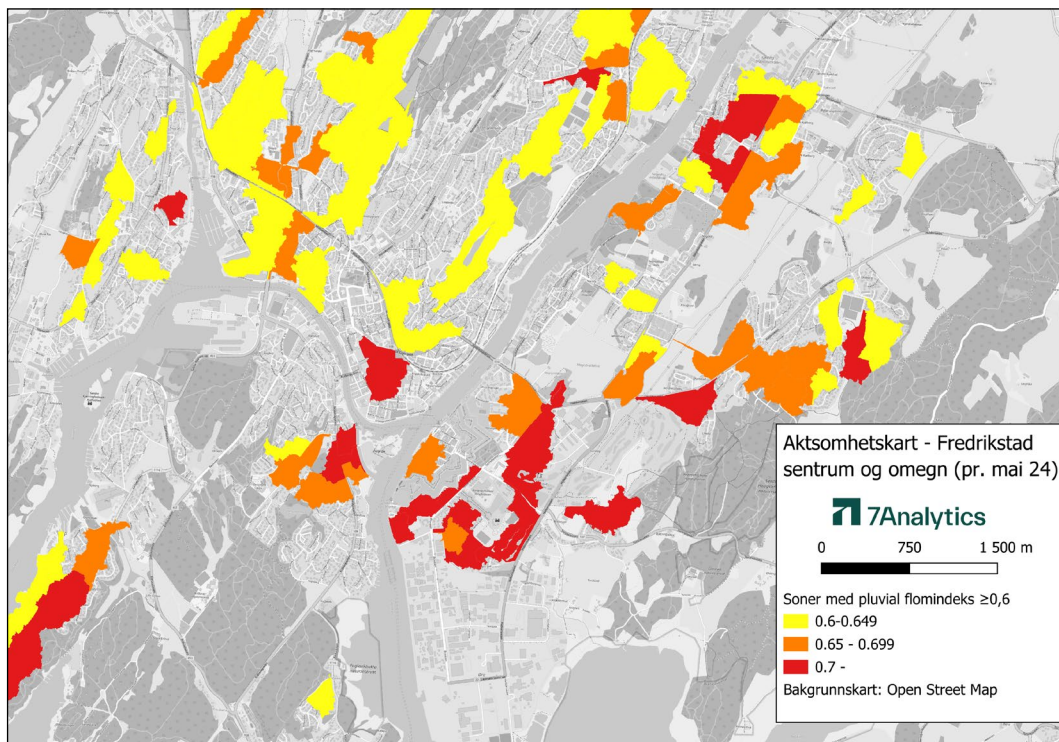
Vurderinger av aktsomhetskartet

Hovedformålet med prosjektet har vært å etablere et aktsomhetskart for pluviale hendelser, slik at sårbare områder kan visualiseres i et kart der både skalering og visning kan tilpasses brukerens egne behov. Figurene 3-5 representerer eksempler på hvordan soner med høyere risiko for oversvømmelse kan skaleres og fremstilles, og det er naturlig at aktsomhetskartet kombineres med andre relevante kartlag i et interaktivt kartverktøy.

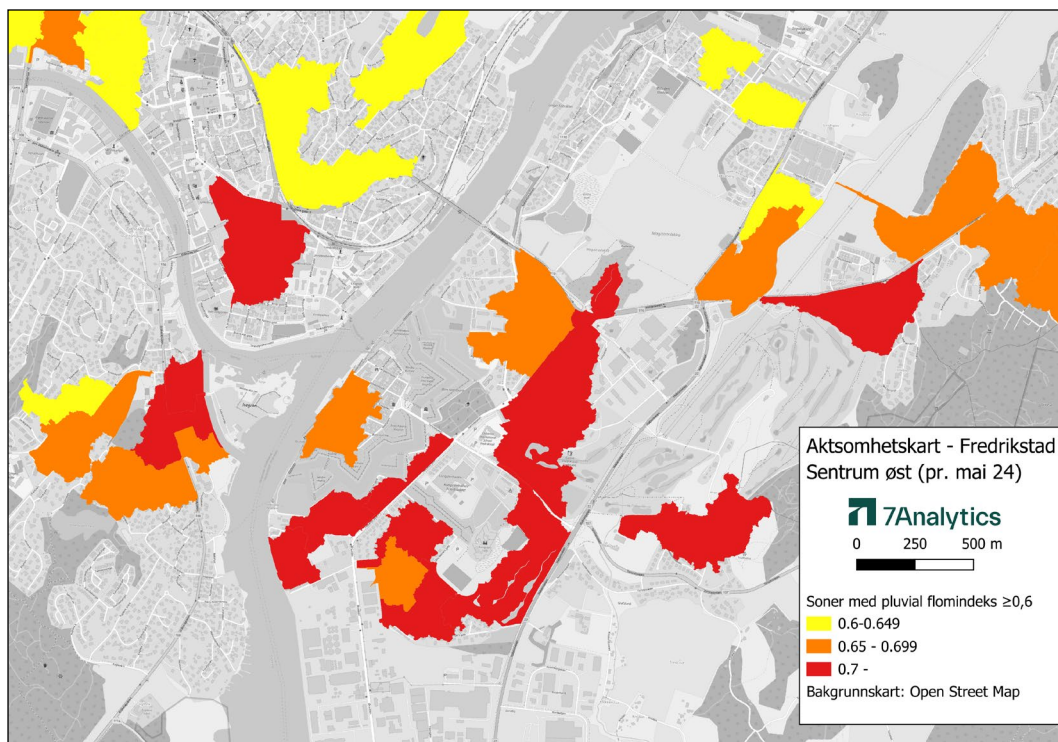
Gjennom prosjektet som leder til aktsomhetskartet har det vært gjort flere vurderinger og valg, som er nevnt i fire punkter nedenfor:



Figur 3. Aktsomhetskart Fredrikstad – hele kommunen



Figur 4. Aktsomhetskart Fredrikstad – sentrum og omegn



Figur 5. Aktsomhetskart Fredrikstad – sentrum øst

Arealstørrelse for avrenningssoner

Størrelsen på avrenningsområdet som brukes i aktsomhetskartet, er en avveining mellom data-tilgang og brukervennlighet, men kan justeres.

- PFI_{soner} basert på små avrenningsområder gir en presis gjengivelse av gjennomsnittlige verdier for PFI_{bygg} , men kan være begrenset av datatilgang. Små soner gjør PFI_{soner} -verdien sårbare for endringer eller for støy i data-kildene, f.eks. feilrapporteringer eller ufullstendige data. Samtidig kan små felt være nyttige for operasjonalisering av forebyggende og skadereduserende tiltak.
- Ved bruk av store avrenningsområder for beregning av PFI_{soner} , er det sannsynlig at detaljer maskeres ved bruk av gjennomsnittsverdier med fare for at lokale sårbare områder overses. Det gjør det vanskeligere å identifisere utsatte områder, slik at tiltak blir mindre målrettede og aktsomhetskartet mindre brukervennlige. På den en annen side vil store avrenningssoner maskere

PFI_{bygg} -verdien slik at enkeltbygninger ikke kan identifiseres.

En balansert tilnærming innebærer å definere soner som er store nok til å gi tilstrekkelig data-mengde for pålitelige analyser, men små nok til å fange opp lokale variasjoner og spesifikke risikoer. Tilnærmingen sikrer at analysene både er detaljerte nok til å være nyttige og generelle nok til å være anvendelige i praktisk planlegging og tiltak. Valg av sonestørrelse bør også hensynta datatilgjengelighet og -oppløsning, i tillegg til vedlikeholdskostnader knyttet til system og oppdatering av data. Sonestørrelsen bør justeres basert på formålet med aktsomhetskartet, slik at beste praksis for risikoanalyse og avbøtende tiltak kan gjennomføres effektivt.

Bygninger i avrenningssonen

Gjennomsnittsberegningen for PFI_{soner} utføres for avrenningssoner av en viss størrelse (for prosjektet ≥ 50 bygninger). Dette fører til at

områder med liten bebyggelse utelates fra aktsomhetskartet, uavhengig av soneverdi. I tillegg vil et ikke vektet gjennomsnitt føre til at PFI_{sone} verdien ikke fanger opp enkelt bygg eller grupper av bygg med høy PFI_{bygg} -verdi, da disse vil utjevnes av dem med lav PFI_{bygg} -verdi i samme sone. Reduksjon av kravet i modellen til antall bygg i hver sone, er en mulighet for beregning av flere avrenningsfelt med PFI_{sone} . Et annet alternativ kan være å legge til vektning til PFI_{bygg} -verdiene (f.eks. bygningsareal, definere terskelverdier etc.) for beregning av PFI_{sone} .

Andre forhold for avrenningssonene

Aktsomhetskartet viser ikke hvordan PFI_{bygg} er distribuert innenfor sonen. I prosjektet ble det besluttet at hver sone kun skal ha én verdi, da dette gjør fremstillingen mer operasjonell og brukervennlig for Fredrikstad kommune.

Størrelsen på oppstrøms areal er en parameter som har stor betydning for hvilke områder som er utsatt for oversvømmelse (bl.a. Feng et al., 2021; Torgersen et al., 2017). Dette fremkommer ikke direkte av aktsomhetskartet. Innenfor en sone er det derfor grunn til å anta at bygninger øverst i sonen er mindre utsatt, og urbanisering bidrar med økte overvannsmengder til bygg nedstrøms.

ML-modellen har ikke vektlagt spesifikke konsekvenser som kan påvirke samfunnstabiliteten, f.eks. offentlige bygg (skoler, sykehjem) eller kritisk infrastruktur (hovedveier, jernbanelinjer og kraftforsyning). Ved bruk av aktsomhetskartet og når prioriteringer skal gjøres, er det også naturlig at disse konsekvensene er en del av vurderingsgrunnlaget.

En avrenningszone med høy PFI_{sone} bør undersøkes nærmere slik at situasjonsforståelsen er god. Aktsomhetskartet kan fungere som guide til hvor tiltak bør prioriteres eller hvor spesifikke krav kan gis for å redusere PFI_{sone} verdien. Et aktsomhetskart kan gjøre det enklere å begrunne hvorfor lokale overvannstiltak er viktig også utenfor selve oversvømmelsesområdet.

Utvalg og inndeling av valideringsdatasettet

InzureFlood-modellen er utviklet ved hjelp av bygningsinformasjon og skadedata fra pluviale hendelser fra hele Norge. Modellen ble tatt i bruk før prosjektet med aktsomhetskart ble iverksatt. Det ble forsøkt utviklet en ny ML-modell basert på skadedata fra Fredrikstad i prosjektet, men testing og validering viser at selv for en kommune med relativt mange skader er registreringen for få til at en god ML-modell kan etableres. Prosjektet besluttet derfor å anvende PFI_{bygg} -verdier fra InzureFlood og skadedata til validering og kalibrering av PFI_{sone} .

Datasettene fra Fredrikstad som er brukt for validering av modellen, viser positiv korrelasjon mellom antall registrerte skader i sonen og forhøyet PFI_{sone} verdi (tabell 1-3). Datasett 1 består av skadeadresser fra flere år, mens de to andre datasettene er knyttet til en bestemt regnhendelse. Som en følge av det, er det første datasettet valgt ut fra at skadene indikerer oversvømmelser ut fra kodingen i vannskaderegistret, mens de to andre er fra en kjent regnhendelse. Datasett 1 hadde få enkelt datoer da det skjedde mange skadehendelser. Flere unike datoer med kun én oversvømmelsesskade kan indikere feilregistrering og at den egentlige årsaken til skaden skyldes annet enn nedbør. Registreringer av skader i datasett 2 og 3 har ikke den samme usikkerheten, siden det er skader registrert på samme dag og med en kjent regnhendelse.

Datasett 3 omfatter vannskader utelukkende på kommunale bygninger som ikke er registrert gjennom forsikrings-selskap. InzureFlood-modellen er utviklet ved bruk av forsikringsregistrerte vannskader på private bygninger over hele landet. Den positive korrelasjonen i datasett 3 er påfallende, da det hadde vært grunn til å anta at offentlige bygg er av høyere sikkerhetsklasse. En alternativ forståelse av disse dataene er at offentlige bygg er sentrumsnære, og at de er plassert nederst i avrenningsfelt med høy urbaniseringsgrad, noe som øker faren for skader ved pluviale hendelser. Dette er ikke undersøkt nærmere i prosjektet.

Konklusjoner

Aktsomhetskartet visualiserer PFI_{soner} i Fredrikstad kommune og muliggjør sammenlikning av områder. Det kan:

- *Gi økt bevissthet om lokalt forebyggende flomarbeid:* Aktsomhetskartet visualiserer en kompleks problemstilling på en oversiktlig måte, noe som kan bidra til økt oppmerksomhet og bevissthet om lokale flomforebyggende tiltak. Det kan tjene som et diskusjonsgrunnlag for beslutningstakere og andre aktører som arbeider med klimatilpasning.
- *Utgjøre et beslutningsgrunnlag for differensierte krav til overvannshåndtering:* Kartet kan bidra til å innføre strengere krav til lokal overvannshåndtering i sårbare områder og tilstøtende soner. Dette gjør det mulig å gi tilpassede og differensierte krav til overvannstiltak basert på risiko og sårbarhet.
- *Brukes til tidlig risikovurdering i utbyggingsområder:* Aktsomhetskartet kan brukes i forbindelse med arealplaner, reguleringsplaner og byggesaker for å identifisere mulige oversvømmelsesproblemer ved utbygging, både for nye boliger og eksisterende bebyggelse nedstrøms.
- *Brukes til rangering av forebyggende tiltak i urbane områder:* Kartet fremhever sårbare områder, noe som gjør det mulig for fagpersonell å prioritere tiltak der de har størst samfunnsøkonomisk nytte. Dette gir en systematisk tilnærming til flomforebygging i tettbygde strøk.
- *Brukes i beredskapsplaner og til flomvarsling:* Aktsomhetskartet kan gi verdifull informasjon om flomutsatte områder. Dette kan forbedre beredskapen ved å informere innbyggere om behov for å sikre materielle verdier og i verste fall om behov for evakuering. Videre kan kartet gi nødetater bedre oversikt over hvor man kan forvente de største utfordringene.

Prosjektet viser at ML-modeller kan brukes til å utvikle aktsomhetskart. Valideringen med faktiske skadedata fra Fredrikstad viser at over-

svømmelser forekommer hyppigere i soner med høy flomindeks og bekrefter modellens egnethet. Resultatene viser dessuten at datadrevne tilnærminger kan være et effektivt alternativ til tradisjonelle hydrauliske modeller og uten behov for omfattende kalibreringer og simuleringer. Dette er i tråd med (Zolghadr-Asli et al., 2024) som antyder at vi står overfor et paradigmeskifte til en mer datasentrert modellutvikling innen vann- og miljøfagene. Denne måten å kartlegge sårbare områder for flom kan være et alternativ til andre beregningsmetoder, som f. eks. metode som er beskrevet i veileder fra Direktoratet for Sivilt Beredskap er (DSB, 2017).

Modellen som ligger til grunn for aktsomhetskartet er dynamisk. Oppdatering og forbedring av inputdata, f.eks. endringer i terrengmodell, arealbruk eller nye skadedata, vil forbedre ML-modellen både lokalt og nasjonalt og aktsomhetskartet vil kontinuerlig kunne oppdateres. For ytterligere å øke kartets anvendelighet, bør fremtidig arbeid fokusere på å finjustere modellen for å redusere potensialet for feilklassifisering av skadedata og kalibrering av sårbarhetsskalaen.

Raske og store klimaendringer skaper usikkerhet for beslutningstakere. Klimatilpasning krever store investeringer og kan føre til nye typer samarbeid. Aktsomhetskartet er et eksempel som viser hvordan kommuner, forsikringsbransjen og bygningseiere alle bidrar med data for å redusere usikkerheten. Ved bearbeidelse og analyse av dataene reduseres denne usikkerheten, situasjonsforståelsen kan forbedres og de mest samfunnsøkonomiske tiltakene kan prioriteres. Aktsomhetskartet representerer dagens situasjon i Fredrikstad. Det kan forbedres ved tilgang til nye datasett, slik at også situasjonsforståelsen oppdateres i takt med faktiske endringer i området.

Takk til Fredrikstad kommune, Teknisk drift for godt samarbeid i prosjektet. Takk også til Miljødirektoratet som har bidratt med finansiering av prosjektet via klimatilpasningstilskudd.

Referanser

- Brevik, R., Aall, C., & Rød, J. K. (2015). *Pilotprosjekt om testing av skadedata frå forsikringsbransjen for vurdering av klimasårbarheit*. https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/vf-rapport-7-2014-testing-av-skadedata.pdf
- DSB. (2017). *Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging*. Retrieved from https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterieill/veiledere/samfunnssikkerhet_i_kommunens-arealplanlegging_metode-for-risiko_og_saarbarhetsanalyse.pdf
- DSB. (2019). *Risikoanalyse på samfunnsnivå*. Retrieved from https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/metode_og_prosess_ved_utarbeidelsen_av_aks.pdf
- Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106(1), 613-627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>
- Finans Norge. (2022). *DSB og Finans Norge fortsetter samarbeidet*. <https://www.finansnorge.no/artikler/2022/q2/dsb-og-finans-norge-fortsetter-samarbeidet/>
- Finans Norge. (2024). *VASK - Vannskadestatistikk*. <https://vask.finansnorge.no/OmKoder.aspx>
- GeoNorge. (2024). *FKB-AR5*. <https://register.geonorge.no/det-offentlige-kartgrunnlaget/fkb-ar5/166382b4-82d6-4ea9-a68e-6fd0c87bf788>
- Hauge, Å., Flyen, C., Venås, C., Aall, C., Kokkonen, A., & Ebeltoft, M. (2018). *Attitudes in Norwegian insurance companies towards sharing loss data Public-private cooperation for improved climate adaptation*. Kartverket. (2024). *Nasjonal Detaljert Høydemodell*. <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/nasjonal-detaljert-hoydemodell>
- Lindsay, J. B. (2016). The practice of DEM stream burning revisited. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(5), 658-668. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.3888>
- Thomassen, M. K., & Hauge, Å. L. (2022a). Forsikringsdata kan styrke arbeidet med klimatilpasning. *Kommunalteknikk*, 3/2022.
- Thomassen, M. K., & Hauge, Å. L. (2022b). *Insurance loss data for improved climate change adaptation. Conditions for data sharing and utilization* (KLIMA 2050, Issue. https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmli/bitstream/handle/11250/2999434/klima2050_Report%2B34.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Torgersen, G., Rød, J. K., Kvaal, K., Bjerkholt, J. T., & Lindholm, O. G. (2017). Evaluating Flood Exposure for Properties in Urban Areas Using a Multivariate Modelling Technique. *Water*, 9(5), 318. <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/5/318>
- Torgersen, G., & Svellingen, W. (2023). Mer ekstremt vær – teknologi forebygger skader. *Klimarapport 2023*. <https://www.finansnorge.no/siteassets/statistikk-og-analyse/klimarapport/finans-norge-klimarapport-2022-enkelt sider.pdf>
- Zolghadr-Asli, B., Ferdowsi, A., & Savić, D. (2024). A call for a fundamental shift from model-centric to data-centric approaches in hydroinformatics. *Cambridge Prisms: Water*, 2, e7, Article e7. <https://doi.org/10.1017/wat.2024.5>