Aurland kommune

Reguleringsplan Flåm sentrum

Konsekvenser for flom

Oppdragsnr.: **5160650** Dokumentnr.: **01** Versjon: **B01** Dato: **2021-03-29**

Norconsult

Oppdragsgiver:	Aurland kommune
Oppdragsgivers kontaktperson:	Anja Marken
Rådgiver:	Norconsult Sandvika
Oppdragsleder:	Johannes Henrik Myrmel
Fagansvarlig:	Carolina Frias Uribe
Andre nøkkelpersoner:	Einar Markhus

B01	2021-03-29	For gjennomgang hos oppdragsgiver	C. F. Uribe	E. Markhus	J. Myrmel
Versjon	**Dato**	**Beskrivelse**	**Utarbeidet**	**Fagkontrollert**	**Godkjent**

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

I forbindelse med utarbeidelse av ny reguleringsplan for Flåm sentrum er det behov for vurdering av konsekvenser med hensyn til flom. Deler av området som inngår i reguleringsplanen er utsatt for flom, skred eller stormflo. Det er planlagt fortetning av flere områder i Flåm sentrum samt endringer på noen veier.

Vestlandet ble rammet av en stor flomhendelse 27. – 29. oktober 2014. Flommen forårsaket skader på bolighus, veier og broer i Flåm. I etterkant av flommen har NVE utført en rekke sikringstiltak i vassdraget.

Multiconsult har i 2019 utført en flomsonekartlegging for Flåmselvi der modellen tar hensyn til endringer i elvas løp som følge av flom og av sikringstiltakene. Det er satt opp en helt ny modell mellom utløpet av Leinafoss kraftverk og frem til elvas utløp i fjorden. Norconsult har brukt denne modellen til å vurdere konsekvenser med hensyn til flom av ny utbygging i Flåm sentrum foreslått i ny reguleringsplan.

Ny reguleringsplan foreslår en utbedring av vegnettet, parkeringsanleggene, plassene og grøntområdene, samt åpning for inntil 15.000 m^2, der det kan bygges, t.d. hotell, bevertning, servicefunksjoner knyttet til aktiviteten i området, forretninger og leiligheter. I tillegg åpner planen for ombygging/utviding av havnearealet for bedring av driftsituasjon med mulighet for landstrømanlegg. De fleste av de planlagte tiltakene er innenfor sikkerhetsklasse F2, dvs. de bør være sikret mot en 200-års flom (inkludert klimapåslag).

Av de planlagte tiltakene er fortetning og bygging av nye bygg, det som kan ha størst konsekvens for flom. I modellen er byggene representert med et høyt Manningstall (friksjon). For vurdering av konsekvensene med hensyn til flom pga. ny utbygging, er de foreslåtte arealene lagt til som bygning i modellen, dvs. med et høyt Manningstall. I første omgang er plassering av bygningsmassene ikke optimalisert i forhold til strømningsforholdene. Dette er utført etter de første resultatene (optimalisering og avbøtende tiltak). Både dagens situasjon og de planlagte utbyggingene er simulert. Resultatene er analysert med hensyn til endringer i flomsituasjon/ strømningsforhold, hovedsakelig endringer i vanndybder og hastigheter.

Beregningene viser at tiltakene foreslått i planen vil føre til vesentlig ulempe iht. § 7-2 i TEK17. I samsvar med kommunen ble det avtalt å vurdere avbøtende tiltak.

Avbøtende tiltak er stort sett fjerning av til/nybygg og optimalisere utforming av utbygging i området BAA4. Det er vurdert 6 alternativer:

- Optimalisering: Fjerning av alle ny-/tilbygg unntatt bygg på områder BAA1, BAA2, BAA3, BAA4 (optimaliseres), BA3 (hotell), BKB2 (utenfor flomsone) og BKB3, og optimalisering av til-/nybygg i området BAA4. Ev. fjerne BKB3 hvis det blir betydelig påvirkning av flomsituasjonen.
- Alt A: Optimalisering som ovenfor, men med fjerning av ny utbygging i BAA3
- Alt B: Optimalisering som ovenfor, men med fjerning av ny utbygging i BAA1 og BAA2
- Alt C. Optimalisering som ovenfor, men med fjerning av ny utbygging i BAA1, BAA2 og BAA3
- Alt D: To optimaliseringer av bygningsmasser på området BAA4 og BA3, samt fjerning av ny utbygging i BAA2 og BAA3.

Konklusjoner

Det er behov for en betydelig reduksjon av bygningsmasser, i forhold til opprinnelig planlagt, for å komme frem til en situasjon der flomsituasjonen ved 200-års flom og 40 % klimapåslag ikke blir forverret for tredje part. Vi er kommet frem til et utbyggingsforslag som forårsaker ingen eller mindre enn 5 cm økning av vannstanden ved en 200-års flom inkludert klimapåslag. Hvilken økning av vanndybder som kan betraktes som akseptabelt bør diskuteres med NVE.

Ved å trekke fra planlagt bygningsmasser ut fra flomutsatt område på BA3, får man ingen endringer i strømningsforholdene og forverring av flomsituasjon for tredjepart. Dette gir en utbyggingspotensial BYA på ca. 550 m^2.

Utbygging i området BKB3 vil forårsake bare lokale vannstandsøkninger. Nye bygg her må sikres mot flom.

Ved utbygging i flomutsatt område, bør det avklares om adkomst til bygget under en flomsituasjon er nødvendig og hvordan man skal løse dette.

Det kan være aktuelt å vurdere flomsituasjoner med andre gjentaksintervall for å undersøke endringer i strømningsforhold ved mindre flommer samt vurdering av vannstandsnivåer ved 200-års høyvannstand i fjorden.

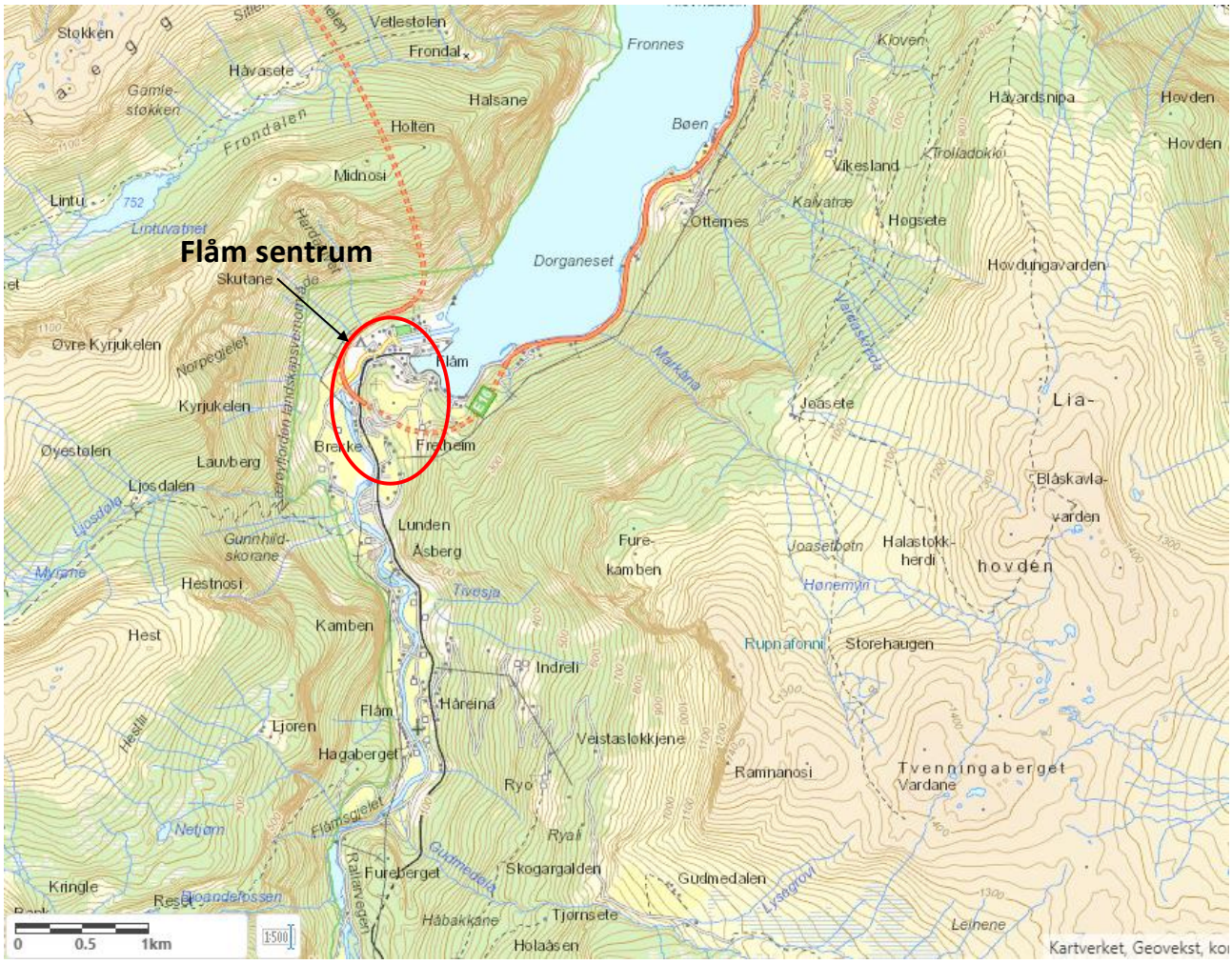
Det kan være aktuelt å legge nye bygninger på søyler i flomutsatt omrade. Effekten av søylene bør vurderes nærmere.

Innhold

1 Bakgrunn 6
1.1 Historikk 6
1.1.1 Utfylling i sjøen 6
1.1.2 Flom i oktober 2014 7
2 Utførte undersøkelser i området 8
2.1 Oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi 8
2.2 Flomsonekartlegging 9
2.3 Vurdering av erosjonsfare 11
3 Forslag til reguleringsplan 12
4 Beregninger og resultater 19
4.1 Endringer i strømningsforhold 19
4.2 Tiltak for å redusere konsekvenser av ny utbygging 22
4.3 Avbøtende tiltak 22
4.3.1 Beskrivelse av avbøtende tiltak 23
4.3.2 Endringer i strømningsforhold 25
5 Konklusjoner og kommentarer 29
6 Referanser 30
Vedlegg 31
1 Vurderte utbygginger 32
2 Vannstandstigning 42
3 Hastighetsendringer 52

1 Bakgrunn

I forbindelse med utarbeidelse av ny reguleringsplan for Flåm sentrum er det behov for vurdering av konsekvenser med hensyn til flom. Deler av området som inngår i reguleringsplanen er utsatt for flom, skred eller stormflo. Figur 1 viser en oversikt over prosjektområdet og Figur 6 viser ca. plassering hvor det er planlagt endringer i arealformål. Det er planlagt fortetning av flere områder i Flåm sentrum samt endringer på noen veier.



Figur 1 Oversikt over prosjektområde

1.1 Historikk

1.1.1 Utfylling i sjøen

Som vist i Figur 2 er området ved utløpet av Flåmselvi i fjorden fylt ut med masser fra utbygging av Gudvangatunnelen. Utfyllingsområdet er tegnet skjønnsmessig basert på ortofoto fra 1971. Elva har vært

kanalisert. Bildet fra 1971 viser også at det er en del massetransport i Flåmselvi, og massene er blitt avlagret ved utløpet (stort sett i området som er fylt ut).

Figur 2 Ortofoto Aurland i 1971 og 2019 (kilde: Norge i Bilder)

1.1.2 Flom i oktober 2014

Vestlandet ble rammet av en stor flomhendelse 27. – 29. oktober 2014. Flommen skyldtes kraftig nedbør over en tredagersperiode, totalt 200 – 300 mm nedbør over store områder. Skadeomfanget ble svært stort med innrapporterte skader på mer enn 1000 eiendommer i tillegg til omfattende skader på infrastruktur (1).

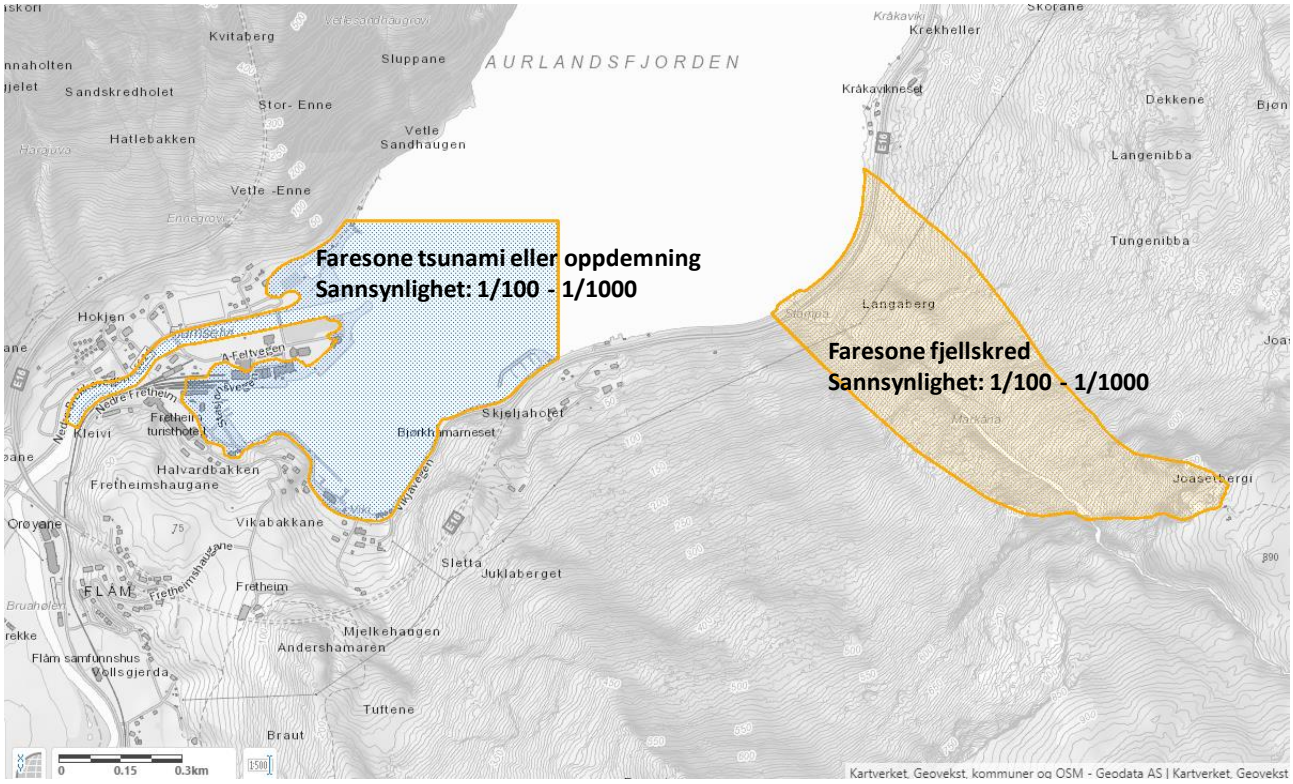
I Flåm ble 13 bolighus totalskadd. I alt ble fem hus tatt av elva, mens åtte andre ble totalskadet. En driftsbygning og flere mindre uthus ble totalskadet. Veien i Flåmsdalen ble totalskadet på flere strekninger og flere andre veistrekninger ble vasket vekk. Det gikk hardt utover flere broer. Broen ved Flåm skule ble tatt av flommen, broen ved Haugen ble totalskadet, mens veien ved broen ved Flåm kirke ble skadet. Det samme var tilfelle med flere andre gangbroer. Flåmsbanen ble stengt en tid. Det var ustabile masser og fare for utglidning ved Flåm kyrkje. Flåm skule var også truet siden muren ble gravet vekk av flommen (1).

2 Utførte undersøkelser i området

2.1 Oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi

NGI har i 2017 utført vurderinger av fjellskred fra Joasetbergi (en del av fjellpartiet Stampa) og medfølgende flodbølge ved Flåm (Figur 3). Vurderingene er presentert i rapporten «Aurland kommune - oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi. Beregninger for et volum på 280 000 m^3» (2).

Årlig sannsynlighet for skred fra Joasetbergi er estimert til over 1/1000. Det vil si at den tilhørende faresonen for skredet og flodbølgene ikke oppfyller kravet til sikkerhetsklassene S2 og S3 i TEK17, §-7-3. Når en har beredskap og overvåking som sikrer persontrygghet, kan en fravike dette kravet for faresoner knytt til flodbølger (TEK17, § 7-4) (3).



Figur 3 Faresone fjellskred (kilde: NVE Atlas)

I TEK17 er det i § 7-4 gitt unntak fra forbudet mot utbygging i fareområde, dvs. områder som er utsatt for sekundærverknadene av fjellskred. Det er tillat for bygging dersom det er etablert et forsvarlig system for overvåking, varsling, beredskap og evakuering.

Videre følger det av § 7-4 i TEK17 at forutsetninger for å tillate utbygging, at konsekvensene av bygge-restriksjonene skal være alvorlige, at arealet ikke kan erstattes (alternativ lokalisering er ikke aktuell), fysiske tiltak/sikring er vurdert, samt at utbygginga/arealbruken skal være avklart i overordna plan.

Vurderinger om unntak av forbud mot utbygging i faresone er vurdert i notatet «Tryggleik for skred-. Unntak for flodbølgje som følgje av fjellskred frå Joasetbergi» (4). Planforslaget bygger på at en har et forsvarlig system for overvåking, varsling, beredskap og evakuering for å hindre tap av menneskeliv. I Aurland kommune er det etablert system (4).

Flåm er et knutepunkt der utviklings-/områdereguleringsplanen skal ivareta at stedet allerede er et viktig knutepunkt for ulike kategorier turisttrafikk med skip på Nærøyfjorden og tog på Flåmsbana, bil og buss langs E16 og sykkel på Rallarvegen (4).

Utbyggingspotensialet i planen er avgrenset. Formålet med planen er å legge bedre til rette for en mer effektiv overgang mellom de ulike reisemidler båt/bane/buss samt ivareta bedre forhold for aktivitetene og utfluktene til/fra Flåm, samt videreutvikle servicetilbudet for de reisende mens de er på land (4).

2.2 Flomsonekartlegging

Multiconsult har i 2019 utført en flomsonekartlegging for Flåmselvi (5). Det er tidligere blitt gjennomført flomsonekartlegging av Norconsult i 2016 (6). Flåm ble hardt rammet av oktober-flommen i 2014, og i etterkant av flommen har NVE utført en rekke sikringstiltak i vassdraget. Den nye flomsonekartleggingen tar hensyn til endringer i elvas løp som følge av flom og av sikringstiltakene. Det er satt opp en helt ny modell mellom utløpet av Leinafoss kraftverk og frem til elvas utløp i fjorden.

Flomberegning for Flåmselvi ble utført i 2015 av NVE (7). Flomverdier er her oppgitt for Brekke bru. For flom ved utløpet i fjorden er verdiene arealskalert basert på feltareal. Benyttetede flomverdier er vist i Tabell 1.

Tabell 1 Flomverdier hentet fra (7) og gjengitt i (5).

Sted	Q20 (m^3/s)	Q200 (m^3/s)	Q200 + 40 % (m^3/s)
Brekke bru	210	290	400
Utløp i fjorden	220	306	422

Nedstrøms grensebetingelse i modellen er havnivå i Aurlandsfjorden. Valg av nedstrøms grensebetingelse har stor betydning for vannstanden i det nederste partiet av elva. Det tas hensyn til stormflo og til effekten av havnivåstigning og landheving.

For flomsonekartlegging, skal høyvann med 1 års gjentaksintervall brukes som nedre grensebetingelse ved utløp i hav. For klimaframskrivninger skal nedre grensebetingelse i sjø settes lik 1 års stormflo i år 2100. I samråd med anbefalinger av myndighetene, er det valgt å bruke 95-percentil for havnivåstigning ved RCP8.5 i 2081-2100. Havnivåstigningen i år 2100 er beregnet av Statens kartverk (sehavnivå.no) til +0,60 m. Tabell 2 viser de benyttede nedstrøms grensebetingelsene i (5).

Tabell 2 Valg av nedstrøms grensebetingelser, fra (5).

Scenario	Havnivå 1-års stormflo, NN2000 (moh.)	Havnivåstigning (m)	Grensebetingelse, NN2000 (moh.)
Q20	1,12	0,0	1,12
Q200	1,12	0,0	1,12
Q200 + 40 %	1,12	0,60	1,72

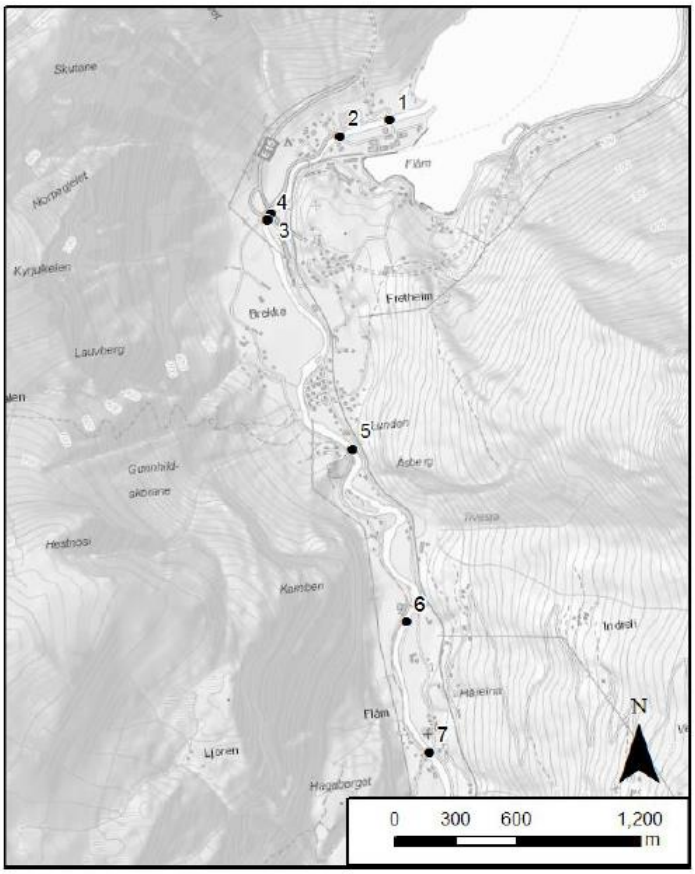
Sjøvannstanden med klimaframskrivning til år 2100 for fareklasse F2 er 2,04 moh. (NN2000), ifølge Statens kartverk (sehavninvå.no).

Det er syv bruer på strekningen. Bruene er listet opp fra nedstrøms og oppover elva. Nøkkeldata for bruene er hentet fra NVE sin HEC-RAS-modell og fra Norconsults flomsonekartlegging (6) og kontrollert opp mot en

digital terrengmodell. For Skulebrui er nøkkeldata hentet fra Multiconsult sine prosjekteringsdokumenter. En liste av bruene er vist i Tabell 3 og plasseringen av disse er vist i Figur 4.

Tabell 3 Bruer over Flåmselvi nedstrøms Leinafoss kraftverk, fra (5)

Nr.	Navn	Underkant dekke (moh.)	Overkant dekke (moh.)
1	Bru Nedre Brekkeveg	Antatt 2,0	2,6
2	Bru A-Feltvegen	2,7	4,0
3	E16	Ca. 10,0	Ca. 11,0
4	Nedre Brekke bru (Fv 245)	3,45	5,35
5	Øvre Brekke bru (Haugen bru)	Antatt 12,5	13,5
6	Skulebrui	21,16	21,5
7	Flåm bru	26,18	27,40



Figur 4 Bruer på strekningen mellom Leinafoss kraftverk og Aurlandsfjorden

Multiconsult har benyttet en hydraulisk 2D-modell i programvaren HEC-RAS 5.0.5, som er utviklet av US Army Corps of Engineers (8). For kontroll og beregning av den hydrauliske kapasiteten til bruene er det i tillegg satt opp en 1D-modell i samme programvare og med samme grunnlag.

Flåmselvi, samt flomslettene nærmest elva (50 m på hver side av elva), er scannet med grønn laser av Terratec den 11. april 2018. Grønn laser trenger gjennom vannoverflaten, og gir dermed en god terrengmodell også av elvebunnen. Terratec har i tillegg gjort supplerende målinger med ekkolodd og manuell oppmåling i områder der laseren ikke har gitt tilstrekkelig gode resultater. For enkelte flomsletter vil det være oversvømmelse også på utsiden av området som er scannet av Terratec. For dette området er det brukt en terrengmodell fra laserscanning i 2014 (hentet fra hoydedata.no). Det er god overensstemmelse mellom de to terrengmodellene bortsett fra på et jorde nord for Brekke gård. Her viste det seg å være avvik på opp til 1 meter. Dette området er uten bebyggelse og avviket har svært liten betydning for oversvømmelse oppstrøms eller nedstrøms. Det er valgt å jevne ut overgangen mellom de to modellene. Den benyttede terrengmodellen har en oppløsning på 1x1 m.

I Multiconsults rapport (5) er det anbefalt en sikkerhetsmargin på 30 cm på de utarbeidede flomsonene.

For opplysninger om kalibrering og detaljer av modellen henvises til flomsonekartleggingsrapport (5).

2.3 Vurdering av erosjonsfare

NGI har i 2016 utført en vurdering av erosjonsfare langs Flåmselvi fra Leinafossen og ned til sjøen (9). Områdene vurderes i forhold til effekt på elvesidene på grunn av erosjon, massetransport eller stor avlagring av masse. Hensikten med prosjektet er å angi trygg byggegrunn.

Langs Flåmselvi er det både areal som gir oversvømmelse med lav vannhastighet og areal som ikke er direkte utsatt for flom, men som kan undergraves ved erosjon. Disse to arealene påvirker hverandre: Snevres flomareal inn, øker vannhastigheten, og dermed erosjonspotensialet. Dette er særlig tydelig ved tosidig forbygning av ei elv. Det er viktig at elva har rom til å vide seg ut ved store flommer (9).

For å få et innblikk i hastighetsfordelingen i elva, har modellverktøyet HEC RAS, 5.01 - 2D blitt benyttet. Grunnlaget for terrengmodellen er laserdata tatt opp 30. mars 2016. Flyfoto fra samme dag viser lav vannføring. Modellen gir god representasjon av elveløpet med bunn gjennom hele undersøkelsesområdet, til E16 i nord. I nederste del kan det være at sjøvannstanden påvirker kvaliteten av dataene. Bruer er ikke lagt inn i modellen, kun bunntopografi. Hensikten med hastighetsstudiet er å se mønster og nivå for strømningen slik at en grovt kan bedømme erosjonspotensiale (9).

Nedenfor Leina kraftstasjon eroderte flommen i 2014 kraftig i glasifluviale avsetninger på begge sider av elva og store mengder stein, sand og grus ble ført ut i elva på kort tid og har trolig medvirket til at flommen ble pulserende. Dagens elveslette er dominert av resente elvesedimenter. Det er kun ved Haugen – Brekke bru, boligområdet Lundeåkeren og ved Leina kraftstasjon og 300 m nedover fra kraftstasjonen en har terrasser med glasifluvial opprinnelse. Erosjon under hendelsen høsten 2014 illustrerte at terrassene består av sandige og grusige materiale. Dette er sedimenter som er svært letteroderbare og transporterbare på grunn av lavt innhold av finmateriale (leire og silt) og dermed lite kohesjon i massene (9).

Det henvises til rapporten (9) for en beskrivelse av vassdraget samt en serie foto med observasjoner og vurderinger gjort under befaring. Det er også lagt inn kommentarer og noen anbefalinger som gjelder sikringstiltakene.

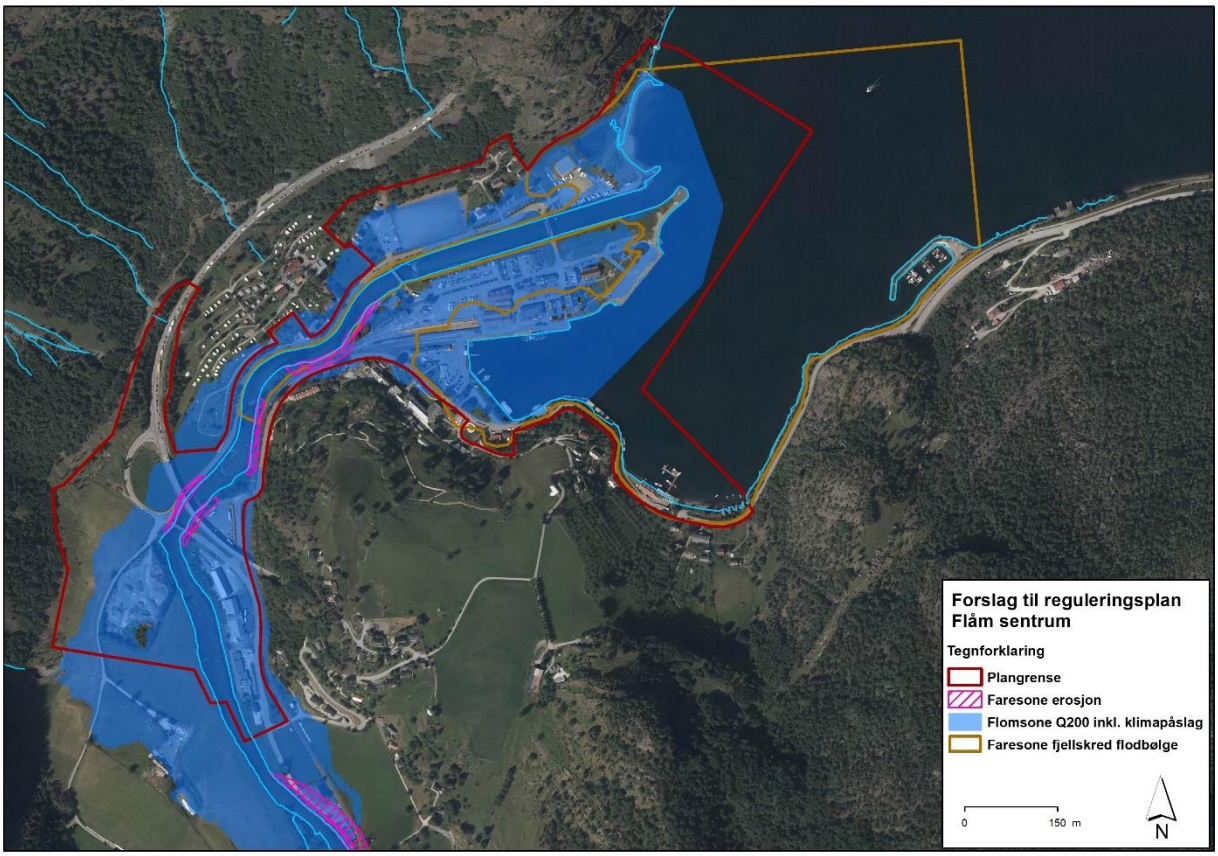
Områdene med fare for erosjon er avmerket på kart og også tilgjengelig som digitale filer. I dette prosjektet er også tema «viktig flomareal» avmerket. Dette er areal som skal kunne ta opp flom, og der heving av grunnen eller utbygging kan få uønskede konsekvenser.

3 Forslag til reguleringsplan

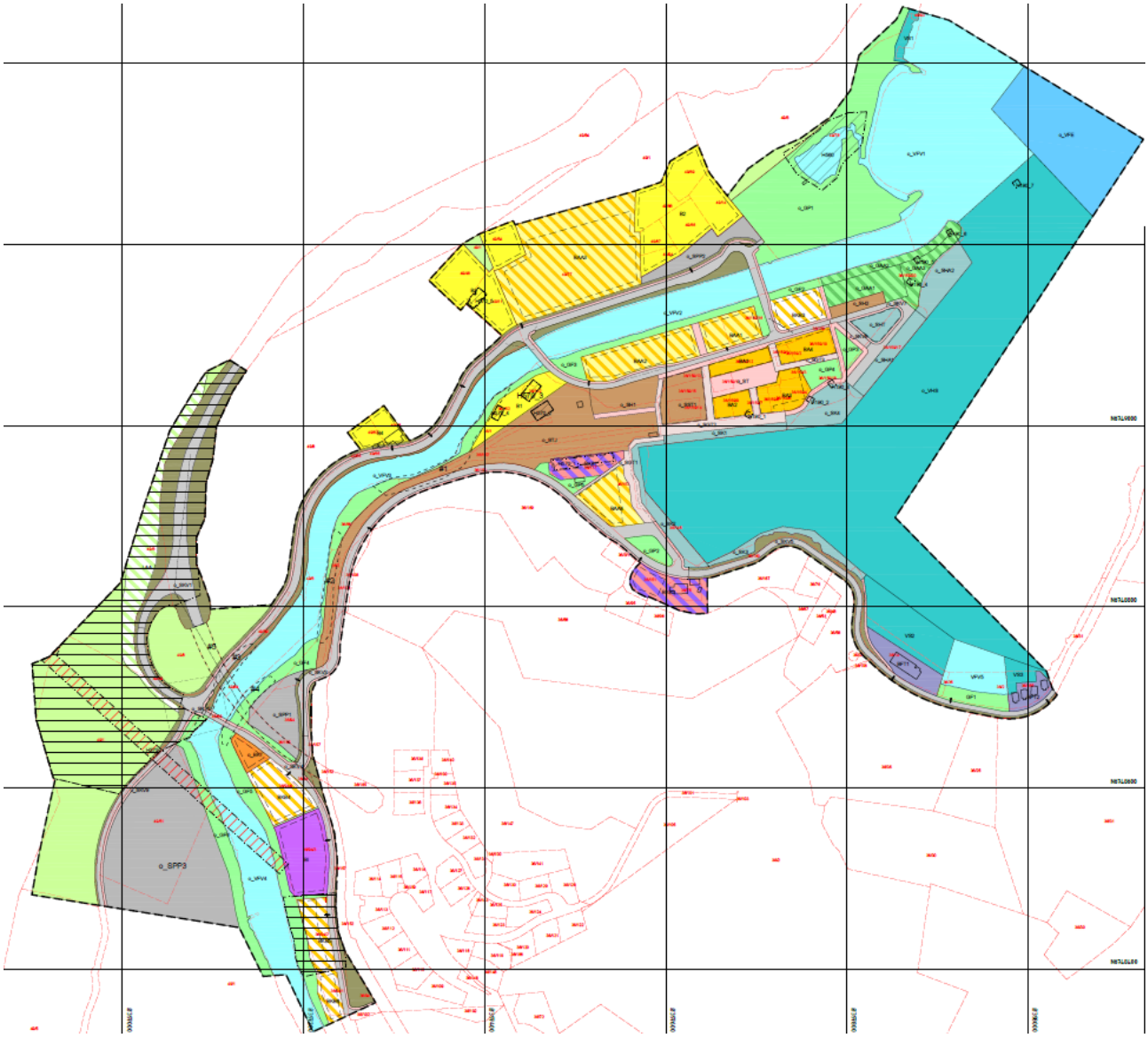
Figur 5 viser området som inngår i den nye reguleringsplanen i Flåm sentrum, samt faresoner presentert i kapittel 2. Figur 6 viser de forskjellige sonene i reguleringsplanen.

Rapporten «Områdereguleringsplan for Flåm – planprogram» (10) beskriver i detalj dagens situasjon og de foreslåtte tiltakene. Generelt kan man nevne at i dagens situasjon er det etablert ankomst, parkeringsanlegg, jernbane med jernbanestasjon og cruisehavn på det relevante området. Planen legger ikke opp til vesentlig økning av verken kapasitetene på jernbanen (Flåmsbana) og cruisehavna, men forbedring av servicetilbudet for gjestene samt kvalitativ heving av uterom og samband. Alternativ lokalisering er ikke aktuell (10).

Forslag i planen inkluderer utbedring av vegnettet, parkeringsanleggene, plassene og grøntområdene, samt åpning for inntil 15.000 m^2, der det kan bygges, t.d. hotell, bevertning, servicefunksjoner knytta til aktiviteten i området, forretninger og leiligheter. I tillegg åpner planen for ombygging/utviding av havnearealet for bedring av driftsituasjon med mulighet for landstrømanlegg (10). De fleste av de planlagte tiltakene er innenfor sikkerhetsklasse F2, dvs. de bør være sikret mot en 200-års flom (inkludert klimapåslag).



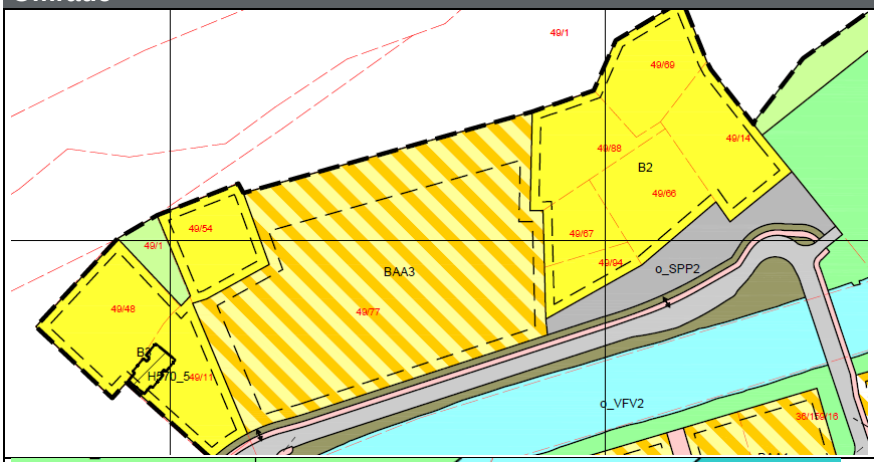
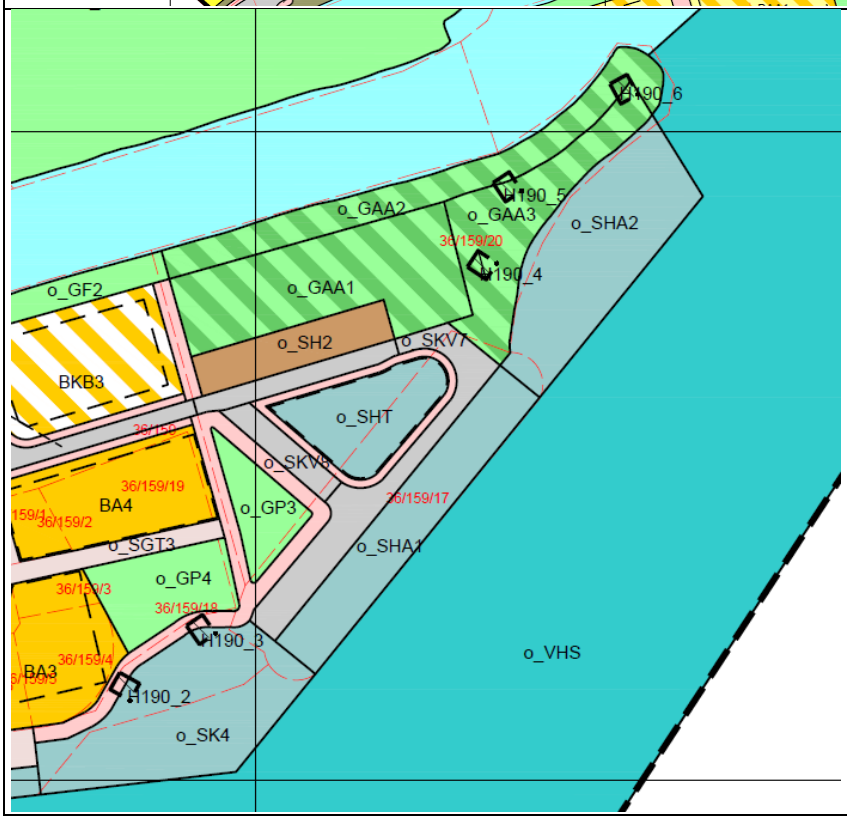
Figur 5 Oversikt over faresoner og plangrense

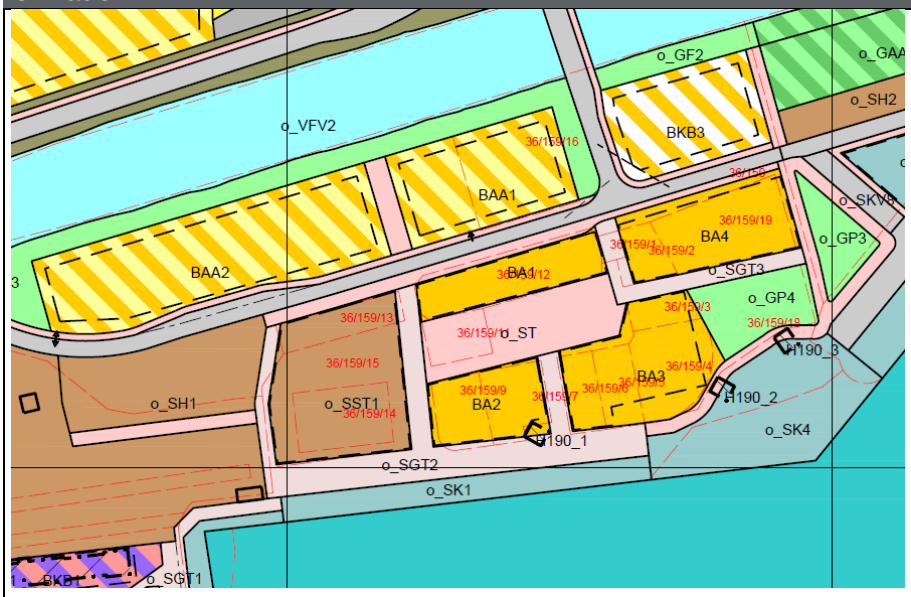
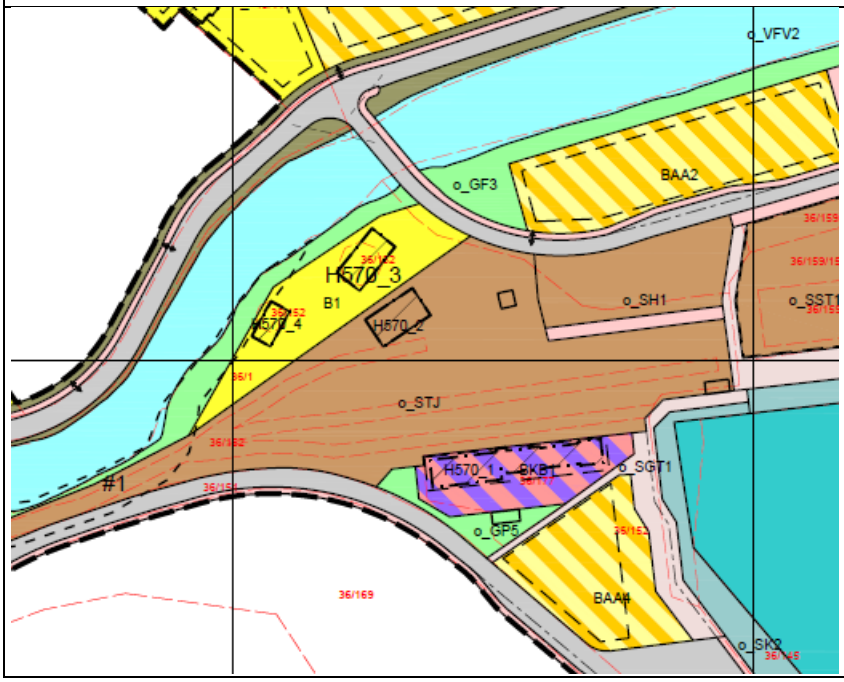


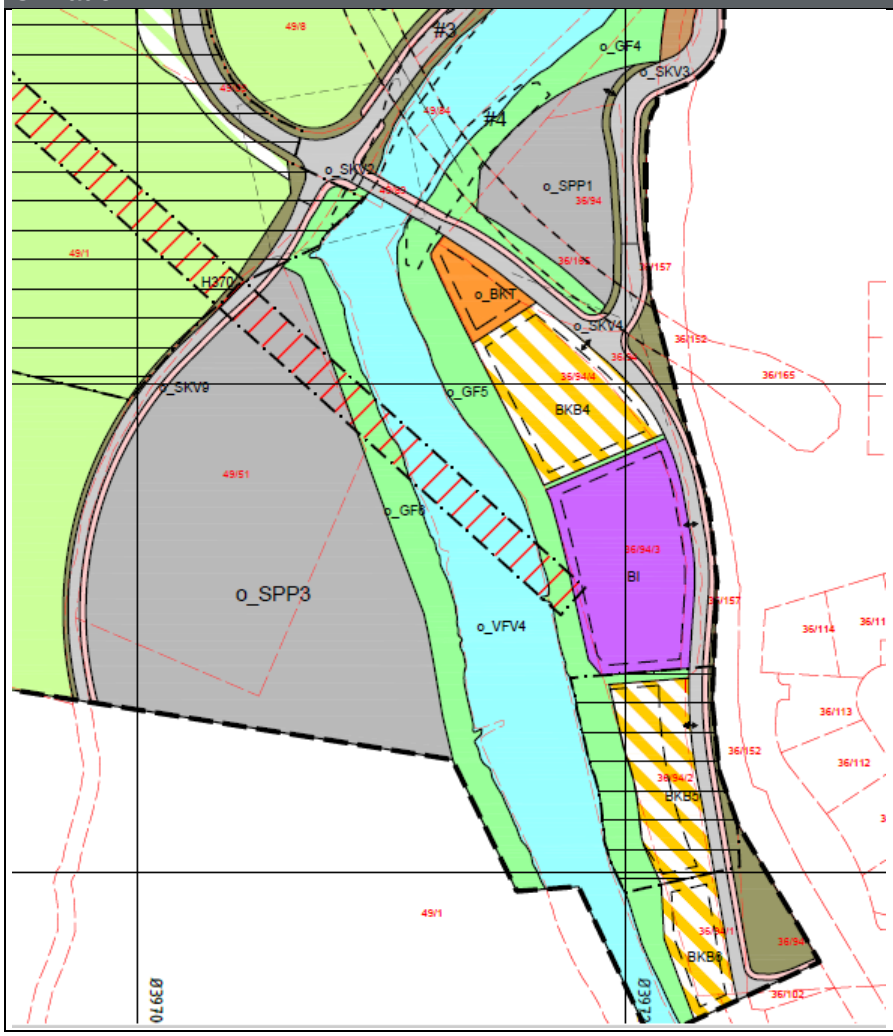
Figur 6 Reguleringsplan – arealbruk (tegningsnummer: 5160650 datert 15/06/2020)

Av de planlagte tiltakene, er fortetning og bygging av nye bygg, det som kan ha størst konsekvens for flom. Områdene hvor dette gjelder er beskrevet i Tabell 4 nedenfor. Nåværende og fremtidig bebygd areal (BYA) i m^2 er vist i Tabell 5.

Tabell 4 Reguleringsområder og beskrivelse av tiltak

Område	Tiltak
	**B2:** Planlagt skredsikring. Tiltak lokalisert delvis utenfor området. En skisse er vist i Figur 7. **BAA3:** Åpner for bygging. Parkeringsplasser, sikkerhetsklasse F2.
	**O_SHA2:** Utvide kaia for å modernisere kai og etablere løsning for landsstrøm. Strømanlegg vil ligge på **GAA3.** **O_SK4:** Utvidingsareal i forhold til kaia.

Område	Tiltak
	**GP4 og BA3** blir slått sammen til et område. Man vil åpne for fortetning av bygningsmasser, utbyggingspotensiale. **BKB3:** Produksjonsanlegg og salg av lokale produkter. Utnytter energi av avløpsanlegg for produksjon. Drivhus på ca. 600 m^2 med salg av produkter (sikkerhetsklasse F2). **BAA1, BAA2 og BAA4:** Nærings- parkeringsanlegg med mye nytt BYA. **O_ST:** På sørsiden blir litt fortetning. Grad av utnytting. Små utvidelser og kanskje flere etasjer. **BAA2:** Åpner for bygging. I dag er det parkeringsplass. **BA1, BA2, BA3 og BA4** har til sammen ca. 2300 m^2 mer BYA (Tabell 5).
	**H570_1-BKB1:** Små utvidelse av bygningsmasser (tilbygg). **BAA4:** Nye bygningsmasser. Kombinert parkering og næring (flomutsatt område). **#1:** Erosjonsfare sone. Under 2014-flom, vannet kom ut her og tok ny vei og kom ut parallellt med jernbanelinje ved o_SGT1. Det er allerede gjort tiltak. Flomsonen laget av Multiconsult skal være oppdatert.

Område	Tiltak
	**BKB4 og BKB6:** ønsker åpnet for bygging. **BI:** Ferdig utbygd. **BKB5:** Regulert bygd ut. Byggene står på søyler og vann kan gå under selve byggene. **O_SPP3:** Parkeringsareal på bakken. Arealet blir redusert noe. Avgrense området noe og parkering på bakkeplan. Deler av området er skredutsatt, så det er begrensinger. På dette området er vanndybder ved en 200-års flom + 40 % klimapåslag større enn 2 m og hastigheter litt over 1 m/s på enkelte steder (men hovedsakelig under 1 m/s).

Tabell 5 Formål, område, bebygd areal (BYA) som inngår i reguleringsplan (10)

		Nåværende							Fremtidig					
Formål	Område	Areal plan	Areal Innanfor byggegrense	BYA	%-BYA Plantomt u/parkering		Høgde gesims	Gesims Terreng	Gesims Overkat golv	Møne	%-BYA	BYA	BRA	Grader
Byggningar og anlegg														
- Bygningar og anlegg	BA1	1074	981	570	53 %		3,5	9			90/90	900		22-35
	BA2	1052	957	765	73 %		7	9			90/90	900		22-35
	BA3	3125	2741	1065	34 %		8	9			90/85	2800		22-35
	BA4	1746	1502	870	50 %		5	9			90/85	1000		22-35
- Bustader	B1			-				7,5	7,5	10,5			350	22-35
	B2			-				6,5	5,5	8,5			350	22-35
	B3			-				3,5	6,5	9,5			350	22-35
	B4			-				6,5	6,5	8,5			350	22-35
- Fritids og turistformål	BFT1	2175		450	20 %		4	7			25	500		
	BFT2	1226		300	25 %		6	7			25	300		
- Industri	BI	4286	3283	1700	40 %		6	9			40	1700		22-45
- Kommunaltekniske anlegg	BKT	888	439	50				?			5	50		
	BKB3	1884	1325	0				9			35	600		27-35
	BKB4	3067	2227	760	25 %		5	9			60/60	1800		27-35
	BKB5	2239	1246	1700	76 %		3	9			60/75	1700		27-35
	BKB6	1248	700	120	10 %		3,5	9			60/50	700		27-35
- Næring/tenesteyting	BKB1	1764	896	620	35 %		4,5	9			60/50	800	600	22-35
	BKB2	2823	646	150	5 %		3	9			60/20	600		22-35
- Nærings-/parkeringsanlegg	BAA1	2246	1534	500	22 %		3,5	7,5	7,5	10,5	55	1250	~~1500~~	22-35
	BAA2	4240	3120	0				7,5	7,5	10,5	80/60	2500	8500	22-35
	BAA4	2688	1533	200	7,5 %			7,5	7,5	10,5	80/50	1350	350	22-35
Samferdsleanlegg														
- Stasjons-/terminalbygg	SST	2638	2536	1900	72 %		5,5	9			80/75	2000		27-35
- Hamneterminal	SHT	1121	1051	415	37 %		7,0	9			80/75	800		22-35
- Parkeing-/idrettsanelgg	SAA	15148	10481	0				10,5	10,5	13,5	50/50	7000	12000	0-35

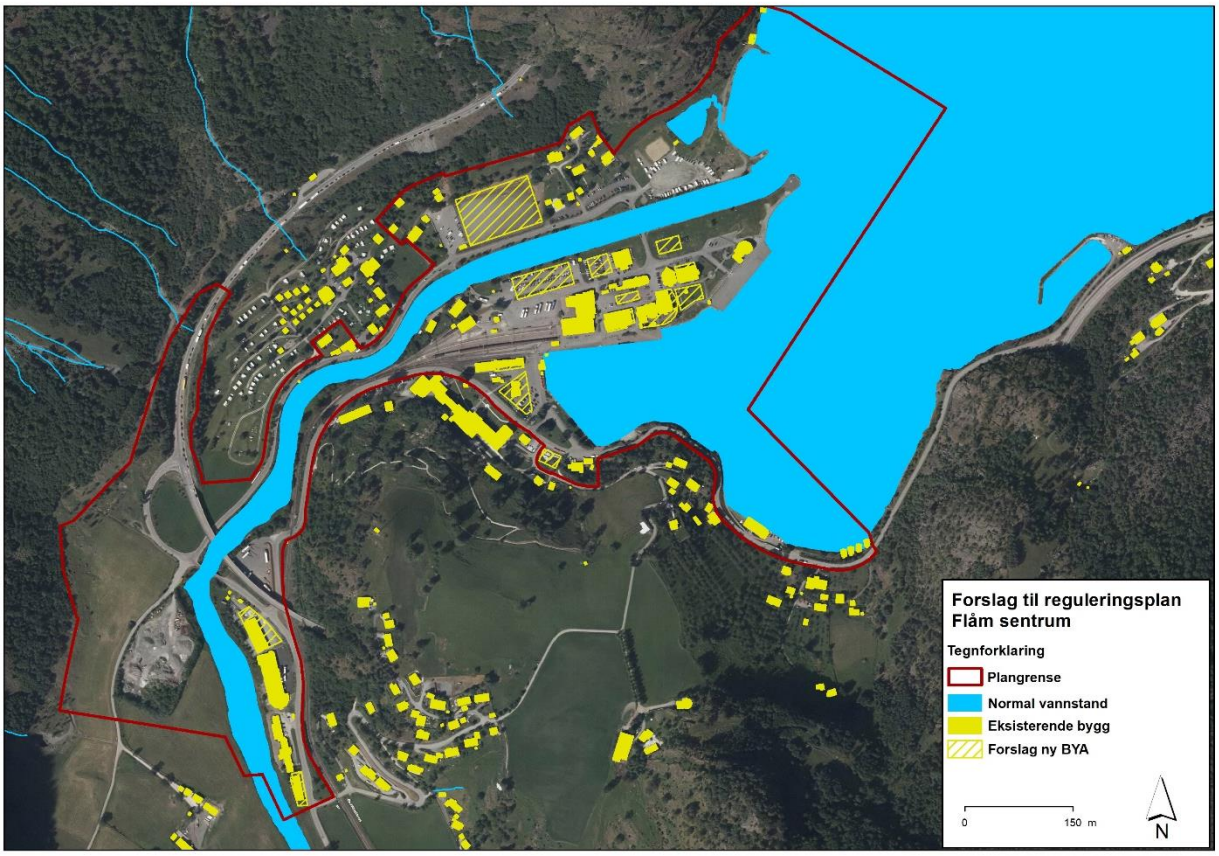
Figur 7 Skisse av skredsikring ved område B2.

Figur 8 Bygg som er bygd på søyler i område BKB5

4 Beregninger og resultater

NVE har gjort tilgjengelig den hydrauliske modellen utarbeidet av Multiconsult i forbindelse med flomsonekartleggingen beskrevet i kapittel 2.2. I modellen er byggene representert med et høyt Manningstall. For vurdering av konsekvensene med hensyn til flom av ny utbygging, er de foreslåtte arealene lagt til som bygning i modellen, dvs. med et høyt Manningstall. Figur 9 viser eksisterende bygg og forslag til nytt BYA i Flåm sentrum basert på arealene vist i Tabell 5. I første omgang er plassering av bygningsmassene ikke optimalisert i forhold til strømningsforholdene. Dette er utført etter de første resultatene.

Modellen er kjørt med HEC-RAS versjon 5.0.6. Det er simulert både dagens situasjon og med de planlagte utbyggingene. Resultater er analyser med hensyn til endringer i flomsituasjon/ strømningsforhold, hovedsakelig endringer i vanndybder og hastigheter.



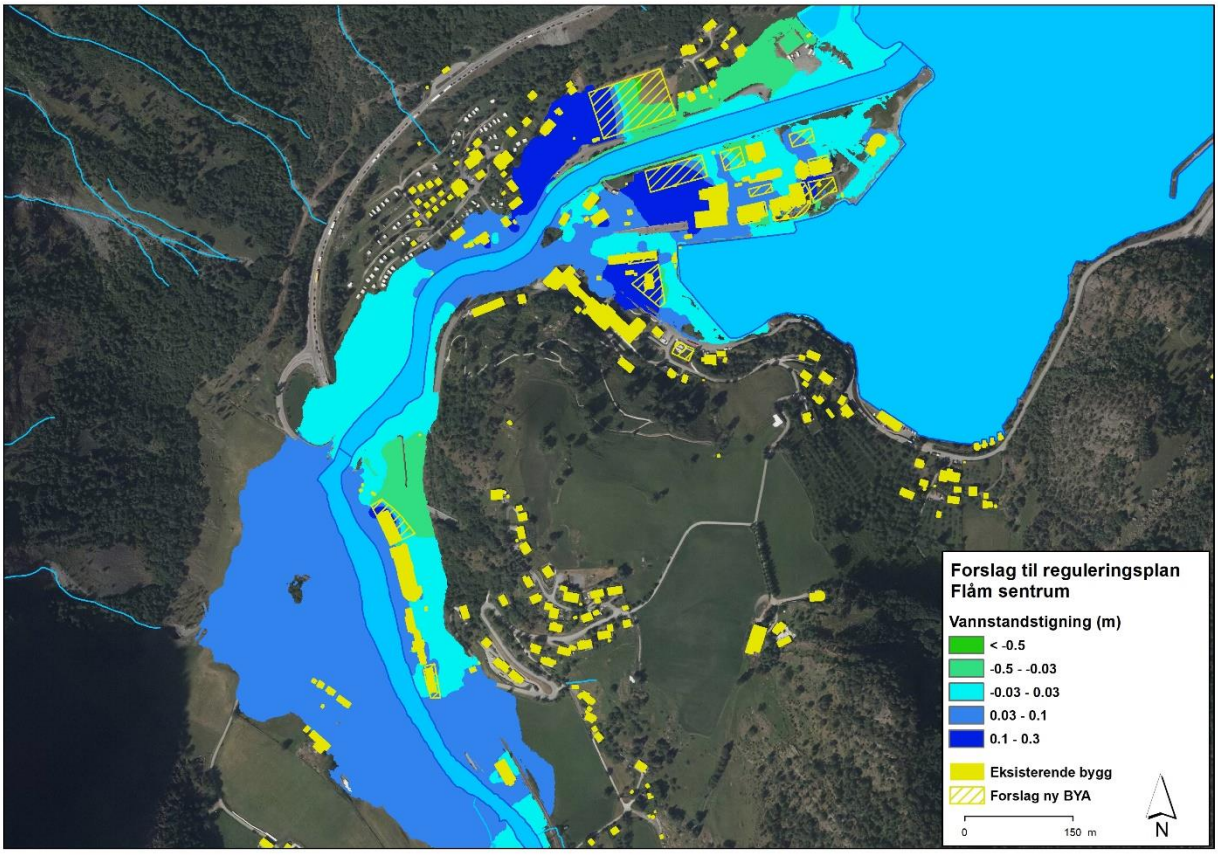
Figur 9 Eksisterende bygg og forslag til ny BYA i Flåm sentrum

4.1 Endringer i strømningsforhold

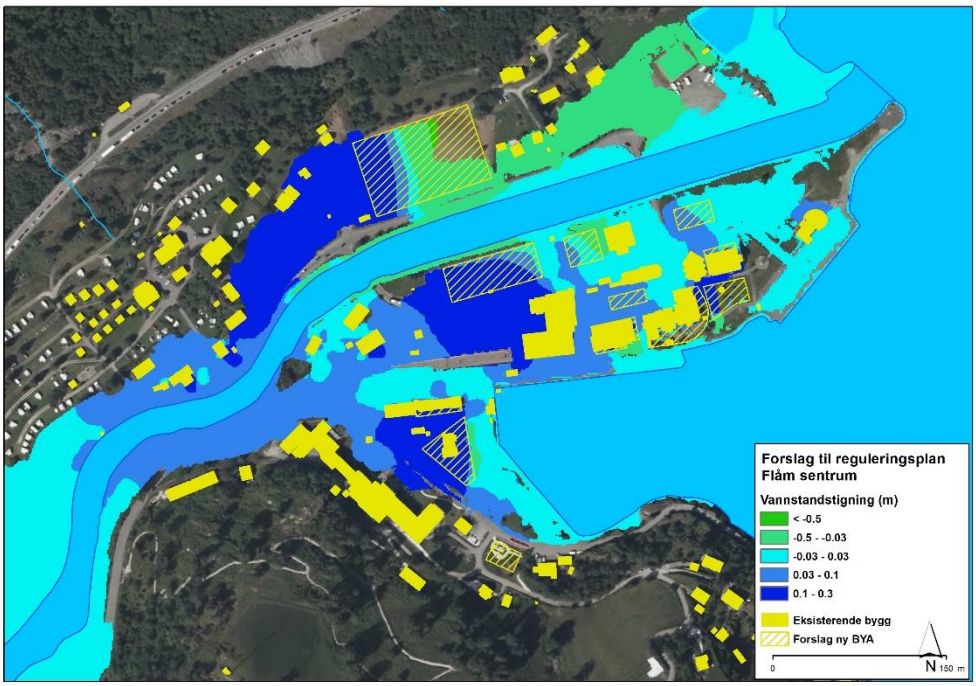
Det vurderes en 200-års flomsituasjon (inkludert klimapåslag) med forslag til nytt BYA og deretter beregnes endringer i vannstander og hastigheter i forhold til dagens situasjon.

Figur 10 og Figur 11 viser endringer i vannstand og Figur 12 viser endringer i hastigheter som følge av de nye bygningsmassene. Siden byggene er representert med et høyt Manningstall (n = 10), vil kun en liten mengde vann renne gjennom disse, dvs. at vannstrømmen presses ut i områder uten bygg, og derfor kan

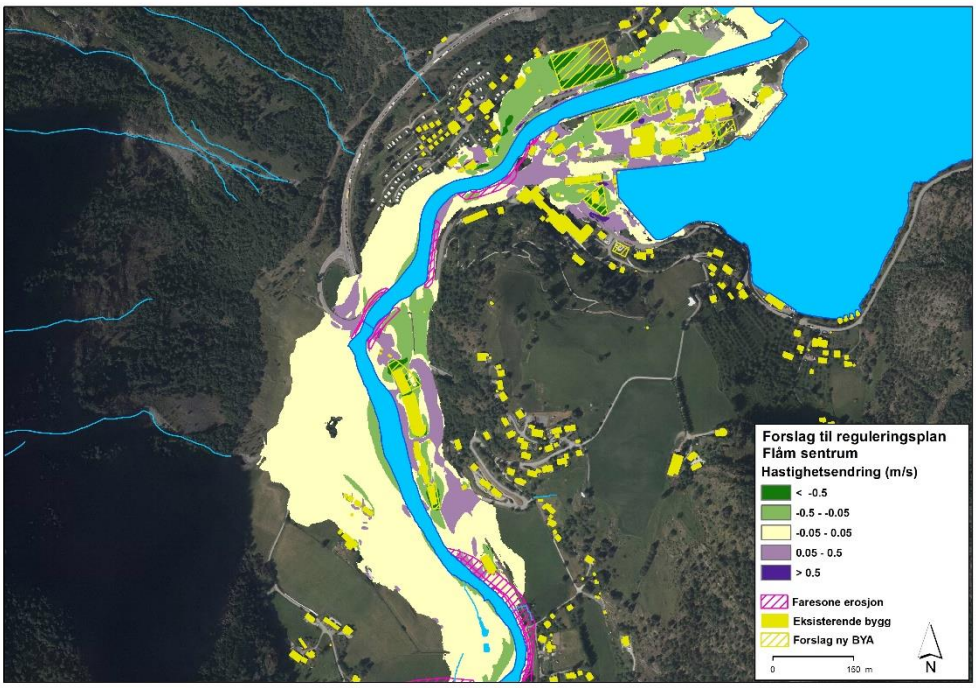
det beregnes en økning av vannstander pga. nye bygg. På samme måte, får man en reduksjon av hastighetene på arealet hvor de nye byggene er plassert.



Figur 10 Vannstandsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA



Figur 11 Vannstandsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA, detalj Flåm sentrum



Figur 12 Hastighetsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA

Det merkes store vannstandsendringer på følgende steder:

- Oppstrøms det nye parkeringsanlegget BAA3 nord for Flåmselvi
- Vest og sør for det nye næringsbygget i området BAA2
- Oppstrøms området BAA4 (kombinert parkering og næringsbygg)

I tillegg vil man få opp til 0,4 m/s hastighetsøkning i selve elven og over 0,5 m/s på enkelte steder på flomslettene (Flåm sentrum). Det er beregnet hastighetsøkning i elveløpet på noen strekninger med fare for erosjon.

I kapittel 4.2 er det presentert noen tiltak for å redusere konsekvenser av ny utbygging og i kapittel 4.3 er det presentert vurderinger av avbøtende tiltak avtalt med Aurland kommune.

4.2 Tiltak for å redusere konsekvenser av ny utbygging

Følgende tiltak er drøftet med Aurland kommune:

- Redusere nye bygningsareal og optimalisere plassering
- Plassering av bygninger på søyler slik at vann kan strømme under disse
- Mudre elvebunnen (ned og til sidene)
- Bygge flomvoller langs elven
- Bygge en flomtunnel

Tiltakene som er aktuelle for videre vurdering er redusering av bygningsareal, optimalisere plassering av nye bygg og plassering av nye bygninger på søyler. Mudring og bygging av flomvoll langs elven er uaktuelt da det er ikke ønskelig å gjøre noe som påvirker elva pga. fisk i vassdraget. Flomtunnel har vært diskutert før, men det er en dyr løsning.

4.3 Avbøtende tiltak

I forbindelse med utarbeidelse av ny reguleringsplan for Flåm sentrum er det vurdert konsekvenser med hensyn til flom av ny bygningsmasse i flomutsatt område. Beregningene viser at tiltakene foreslått i planen vil føre til vesentlig ulempe iht. § 7-2 i TEK17 (11), og tiltak må vurderes. De første resultatene ble gjennomgått med kommunen i møtet den 1. februar 2021 og det ble avtalt å vurdere avbøtende tiltak.

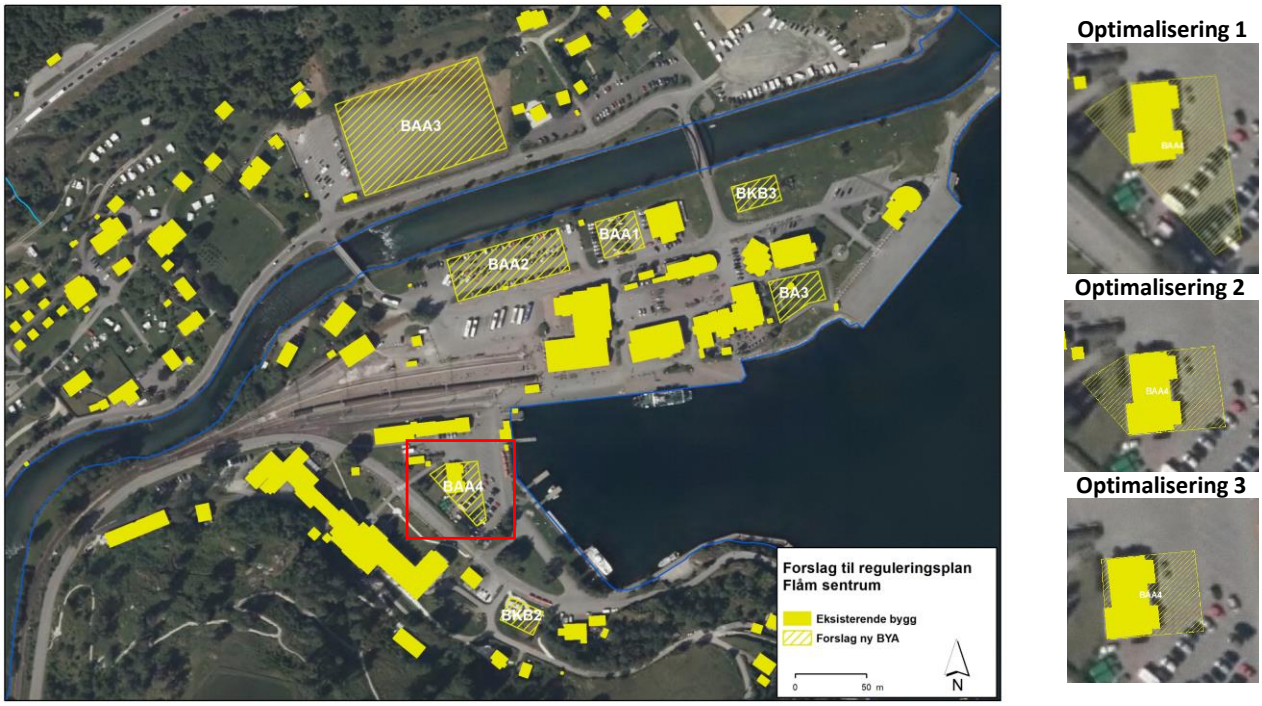
Avbøtende tiltakene er stort sett fjerning av til/nybygg og optimalisere utforming av utbygging i området BAA4. Det er vurdert 6 alternativer:

- Optimalisering: Fjerning av alle ny-/tilbygg unntatt bygg på områder BAA1, BAA2, BAA3, BAA4 (optimaliseres), BA3 (hotell), BKB2 (utenfor flomsone) og BKB3, og optimalisering av til-/nybygg i området BAA4. Ev. fjerne BKB3 hvis det blir betydelig påvirkning av flomsituasjonen.
- Alt A: Optimalisering som ovenfor, men med fjerning av ny utbygging i BAA3
- Alt B: Optimalisering som ovenfor, men med fjerning av ny utbygging i BAA1 og BAA2
- Alt C. Optimalisering som ovenfor, men med fjerning av ny utbygging i BAA1, BAA2 og BAA3
- Alt D: To optimaliseringer av bygningsmasser på området BAA4 og BA3 og fjerning av ny utbygging i BAA2 og BAA3.

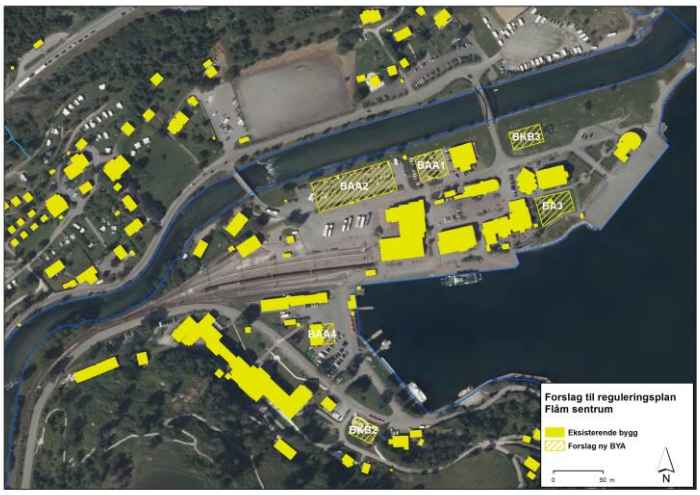
For vurdering av konsekvensene med hensyn til flom pga. ny utbygging, er de foreslåtte arealene lagt til som bygning i modellen, dvs. med et høyt Manningstall, likt som i (5).

4.3.1 Beskrivelse av avbøtende tiltak

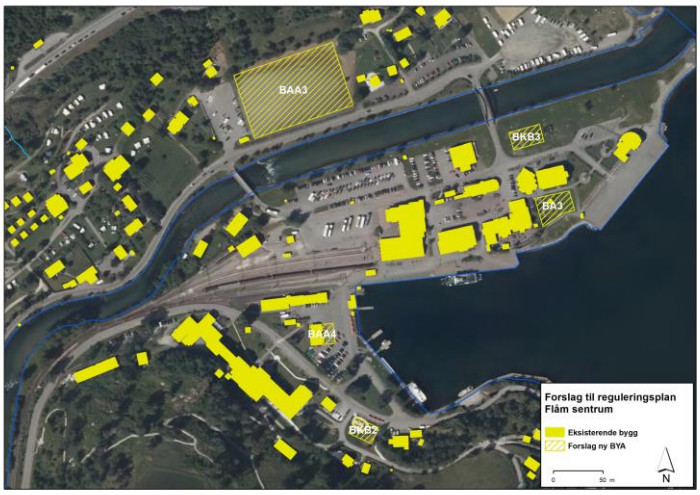
Figur 13 viser eksisterende bygg og forslag til ny BYA i Flåm sentrum etter fjerning av flere ny-/tilbygg, samt tre utforminger for å optimalisere størrelse og plassering av nye bygg i området BAA4. Byggeareal på BAA4 med optimalisering 1, 2 og 3 er henholdsvis 940 m², 590 m² og 480 m² (inkludert eksisterende bygg). Figur 14 viser optimaliserte bygg BAA4 samt alternativ A, B og C (fjerning av bygg).



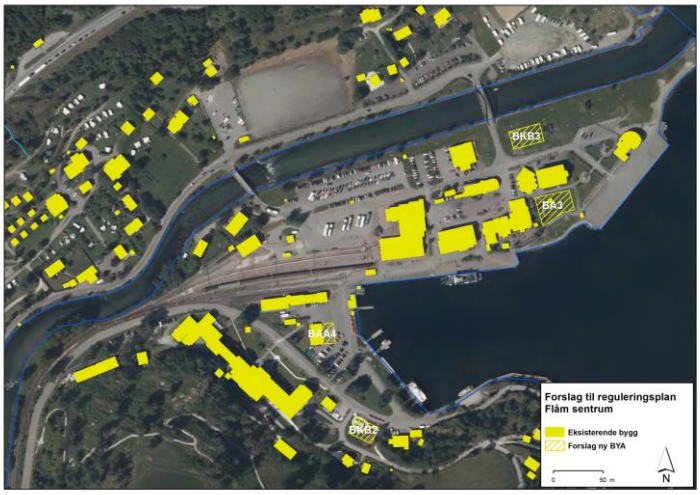
Figur 13 Vurderte utbygginger i Flåm sentrum samt optimalisering av bygg i område BAA4



Optimalisering og Alternativ A



Optimalisering og Alternativ B



Optimalisering og Alternativ C

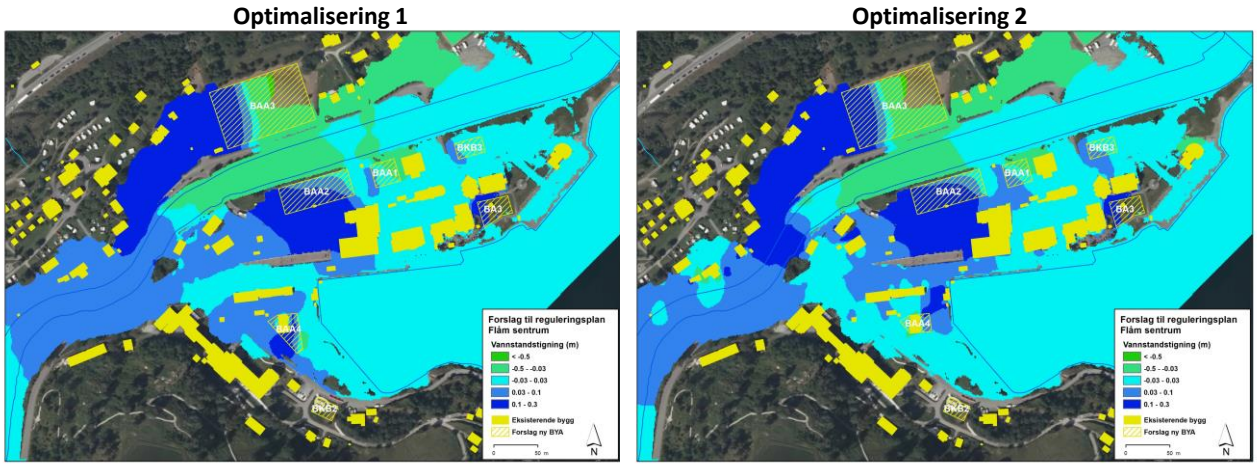
Figur 14 Vurderte utbygginger i Flåm sentrum med optimalisering av bygg i område BAA4 og alternativ A, B og C

4.3.2 Endringer i strømningsforhold

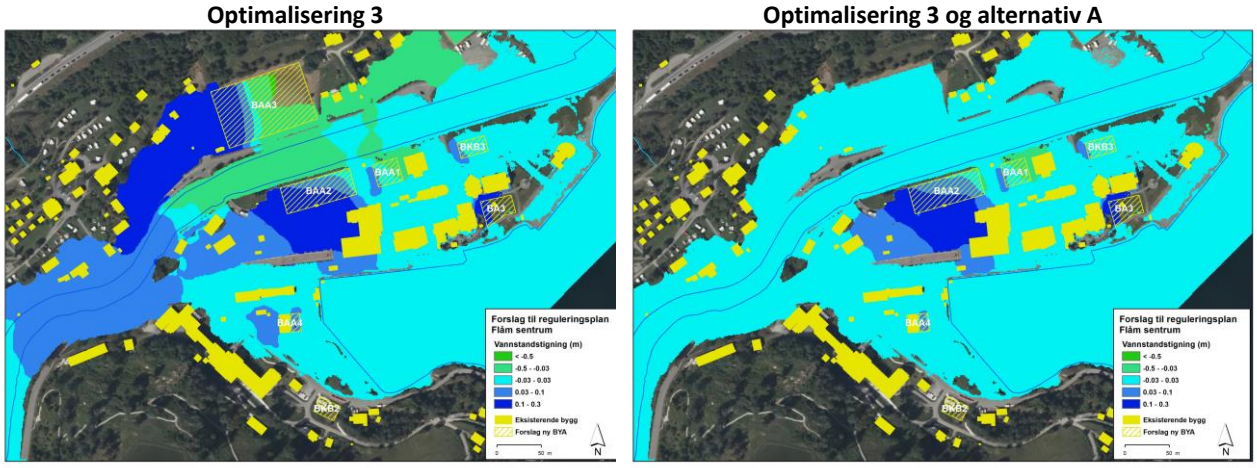
Det vurderes en 200-års flomsituasjon (inkludert klimapåslag) med forslag til nytt BYA for de forskjellige alternativene og deretter beregnes endringer i vannstander og hastigheter i forhold til dagens situasjon.

Figur 15 til Figur 18 viser endringer i vannstander som følge av de nye bygningsmassene. Endringer i hastigheter som følge av ny-/tilbygg er vist i vedlegg 3.

Siden byggene er representert med et høyt Manningstall (n = 10), vil kun en liten mengde vann renne gjennom disse, dvs. at vannstrømmen presses ut i områder uten bygg, og derfor kan det beregnes en økning av vannstander pga. nye bygg. På samme måte, får man en reduksjon av hastighetene på arealet hvor de nye byggene er plassert.

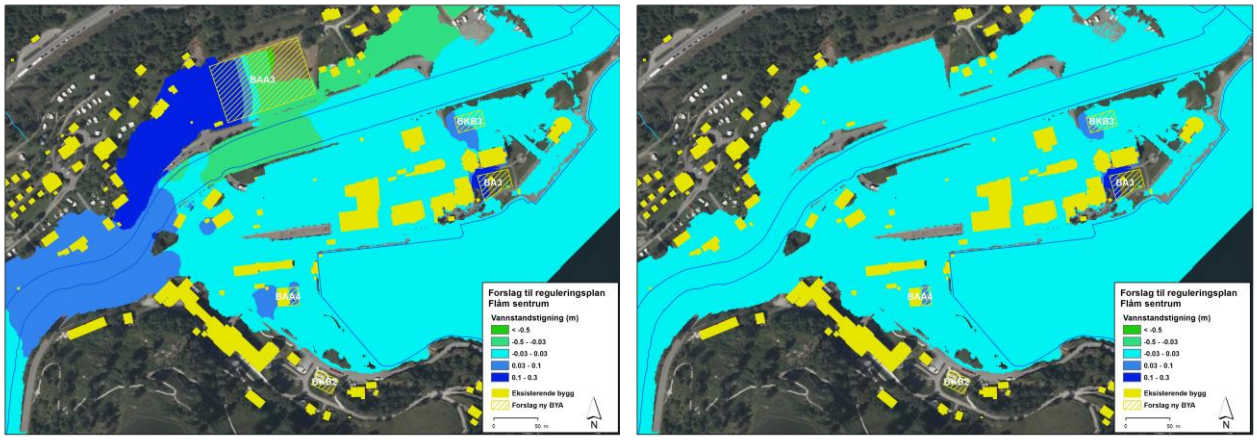


Figur 15 Vannstandsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA med optimalisering 1 og 2



Figur 16 Vannstandsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA med optimalisering 3 uten og med alternativ A

Optimalisering 3 og alternativ B **Optimalisering 3 og alternativ C**



Figur 17 Vannstandsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA med optimalisering 3 og med alternativ B og C

En analyse av de resulterende vannstandsendringene belyser følgende:

- Nye bygningsmasser i området BAA3 nord for Flåmselvi har en betydelig påvirkning på strømningsforholdene i en flomsituasjon og vil forårsake oppstuvning på et relativt stort område. Flere bolighus på nordre side av elven vil få en økning av flomnivå med over 10 cm.
- Nytt næringsbygg i området BAA2 har også en betydelig påvirkning av strømningsforholdene, og vil forårsake opptil 4 cm økning i vannivå i byggene vest for område BAA2 og litt over 10 cm økning i bygget sør for området BAA2.
- For parkering og næring i området BAA4, vil en økning av bygningsmassene mot fjorden ha lite eller ingen påvirkning på strømningsforhold for tredjepart. Nytt bygg bør bygges for å tåle flom. I tillegg bør det avklares om adkomst til bygget under en flomsituasjon er nødvendig og hvordan man skal løse dette.
- Nytt hotell på område BA3 forårsaker en økning av vanndybder på mellom 6 og 16 cm i byggene rundt.

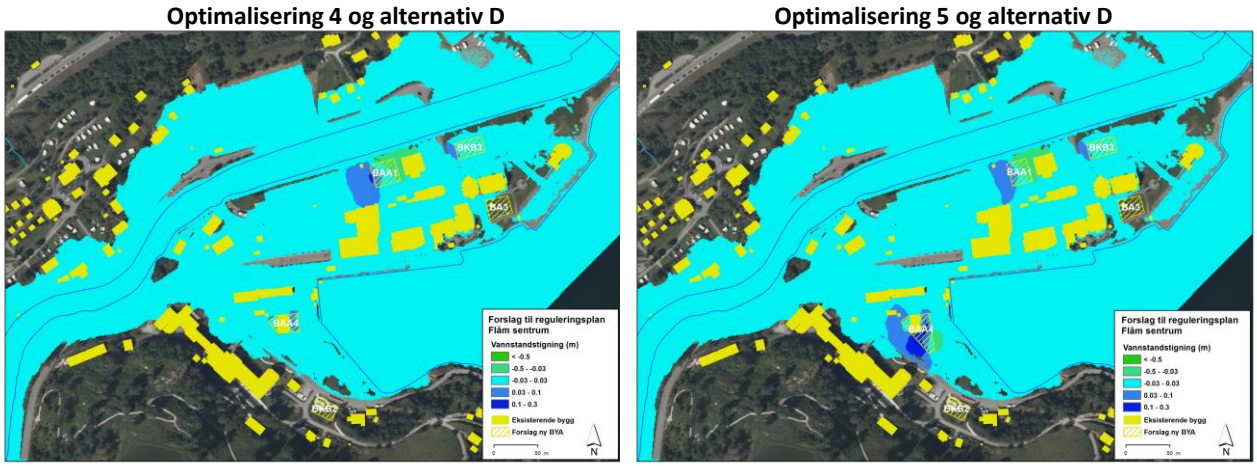
Etter analysen av resultatene er det prøvd en ny optimalisering av ny/tilbygg:

- Optimalisering 4 alternativ D: bygningsareal på BAA4 er økt til optimalisering 2 i Figur 13, samt at bygningsmassene på BA3 er trukket fra det flomutsatte området. I tillegg, er BAA2 fjernet for å vurdere effekten av å bare ha utbygging på BAA1.
- Optimalisering 5 alternativ D: Bygningsmassene på område BAA1 er redusert noe, mens bygningsmassene på BAA4 er økt til optimalisering 1 i Figur 13. Bygningsmassene på BA3 er trukket fra det flomutsatte området.

Figur 18 viser endringer i vannstander som følge av de nye bygningsmassene for de nye optimaliseringene. Hastighetsendringer er vist i vedlegg 3.

Optimalisering 4 alternativ D: Ved å trekke fra bygningsmasser ut fra flomutsatt område på BA3, får man ingen endringer i strømningsforholdene og forverring av flomsituasjon for tredjepart. Dette gir et utbyggingspotensial BYA på ca. 550 m^2. Nybygg på BAA1 vil forårsake ca. 4 cm øking av vanndybder for bygget som ligger sørvest for BAA1. Tilbygg på BAA4 forårsaker bare lokale vannstandsøkninger.

Optimalisering 5 alternativ D: Ved å trekke fra bygningsmasser ut fra flomutsatt område på BA3, får man ingen endringer i strømningsforholdene og forverring av flomsituasjon for tredje part. Dette gir et utbyggingspotensial BYA på ca. 550 m^2. En reduksjon av bygningsmasser på område BAA1 vil redusere omfanget av vannstandsøkning for tredjepart (ca. 3 cm på hjørne til bygget i sørvest). En økning av bygningsmasser på område BAA4 vil medføre vannstandsøkninger for tredjepart (opptil 4 cm ved et lite bygg nordvest for området BAA4).

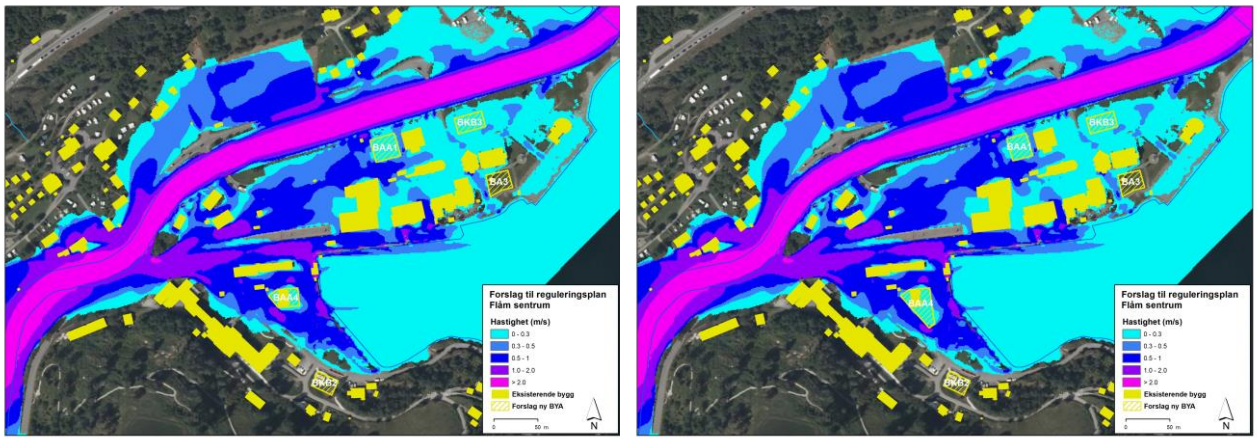


Figur 18 Vannstandsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA med optimalisering 4 og 5 og med alternativ D

Det kan være aktuelt å legge nye bygninger i flomutsatt område på BAA2 og BAA3 på søyler. Effekten av søylene er ikke vurdert i detalj i denne rapporten, men det henvises til de beregnede vannhastighetene på disse områdene samt en vurdering av endringer av vannstander antatt økt friksjon i området med søyler. For å simulere økt friksjon er Gauckler-Mannings koeffisient økt fra 0,05 til 0,1 s/m$^{1/3}$, som vanligvis brukes for tett skog. Dette vil være en konservativ tilnærming i og med at det ikke er greiner på søylene, slik det vil være i en skog.

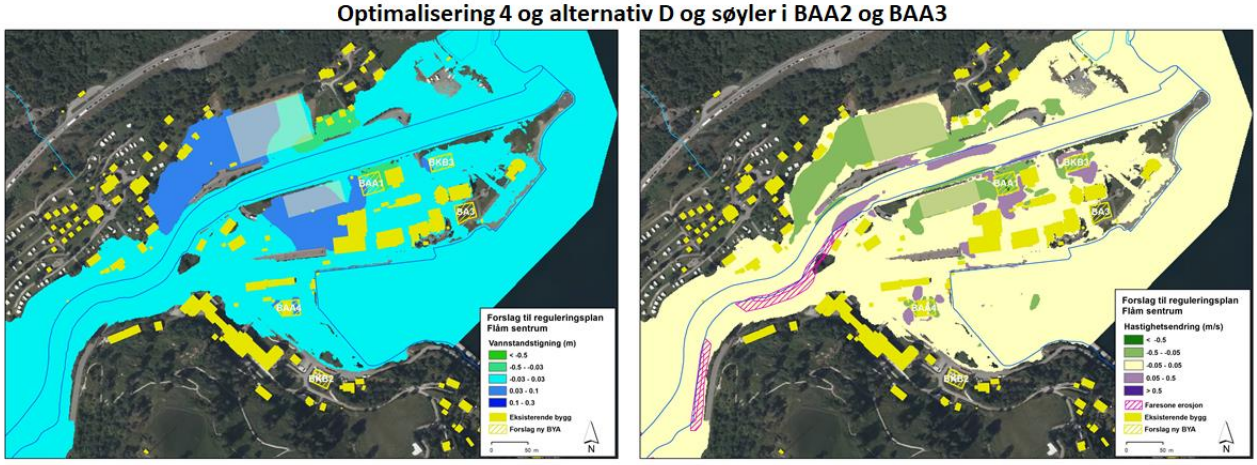
Hastighetene for alternativ D og optimalisering 4 og 5 er vist i Figur 19. Begge alternativene har omtrent like hastighetsmønster. Hastigheter i område BAA3 er på mellom 0,4 og 0,8 m/s. Hastigheter i område BAA2 er på mellom 0,25 og 0,6 m/s. Falltap og oppstuvning er avhengig av antall søyler, størrelse, utforming av disse og hastigheter. Forutsatt en Gauckler-Manning koeffisient (n) på 0,1 s/m$^{1/3}$, vil man få ca. 4 cm vannstandsøkning på bygget sør for området BAA2 og opptil ca. 6 cm på bolighusene vest for området BAA3. Bolighuset øst for området BAA3 vil få en reduksjon av vanndybder på ca. 4 cm.

Optimalisering 4 og alternativ D **Optimalisering 5 og alternativ D**



Figur 19 Hastigheter ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA med optimalisering 4 og 5 og med alternativ D

Optimalisering 4 og alternativ D og søyler i BAA2 og BAA3



Figur 20 Vannstand- og hastighetsendringer ved Q200 + 40% klimapåslag etter nytt BYA med optimalisering 4 og med alternativ D, samt søyler i område BAA2 og BAA3

5 Konklusjoner og kommentarer

Det er behov for en betydelig reduksjon av bygningsmasser for å komme frem til en situasjon der flomsituasjonen ved 200-års flom og 40 % klimapåslag ikke blir forverret for tredje part. Vi er kommet frem til utbyggingsforslag som forårsaker ingen eller mindre enn 5 cm økning av vannstand ved en 200-års flom inkludert klimapåslag. Hvilken økning av vanndybder kan betraktes som akseptabelt bør diskuteres med NVE.

Ved å trekke fra bygningsmasser ut fra flomutsatt område på BA3, får man ingen endringer i strømningsforholdene og forverring av flomsituasjon for tredjepart. Dette gir en utbyggingspotensial BYA på ca. 550 m^2.

Utbygging i området BKB3 vil forårsake bare lokale vannstandsøkninger. Bygget må sikres mot flom.

Ved utbygging i flomutsatt område, bør det avklares om adkomst til bygget under en flomsituasjon er nødvendig og hvordan man skal løse dette.

Det kan være aktuelt å vurdere flomsituasjoner med andre gjentaksintervall for å undersøke endringer i strømningsforhold ved mindre flommer samt vurdering av vannstandsnivåer ved 200-års høyvannstand i fjorden.

Det kan være aktuelt å legge nye bygninger på søyler i flomutsatt omrade. Effekten av søylene bør vurderes nærmere.

6 Referanser

1. **NVE, 2016.** *Flommen på Vestlandet oktober 2014.*

2. **NGI, 2017.** *Aurland kommune - oppskylling av flodbølger etter skred fra Joasetbergi. Beregninger for et volum på 280 000 m3.*

3. **NVE.** Flaum og skred. *Joasetbergi.* [Internett] NVE. [Sitert: 11 12 2020.] https://www.nve.no/flaum-og-skred/fjellskredovervaking/kontinuerlig-overvakede-fjellpartier/joasetbergi/.

4. **Norconsult, 2020.** *Tryggleik for skred - Unntak for flodbølgje som følgje av fjellskred frå Josetbergi.*

5. **Multiconsult, 2019.** *Flomsonekartlegging for Flåmselvi.*

6. **Norconsult, 2016.** *Flomsonekart i Flåm.* Oppdragsnummer 5161024.

7. **NVE, 2015.** *Flomberegning for Flåmselvi ved Brekke bru (072.2Z).*

8. **US Army Corps of Engineers, 2016.** *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual.*

9. **NGI, 2016.** *Erosjonsvurdering. Faresone for erosjon Flåmselvi. Foreløpig.*

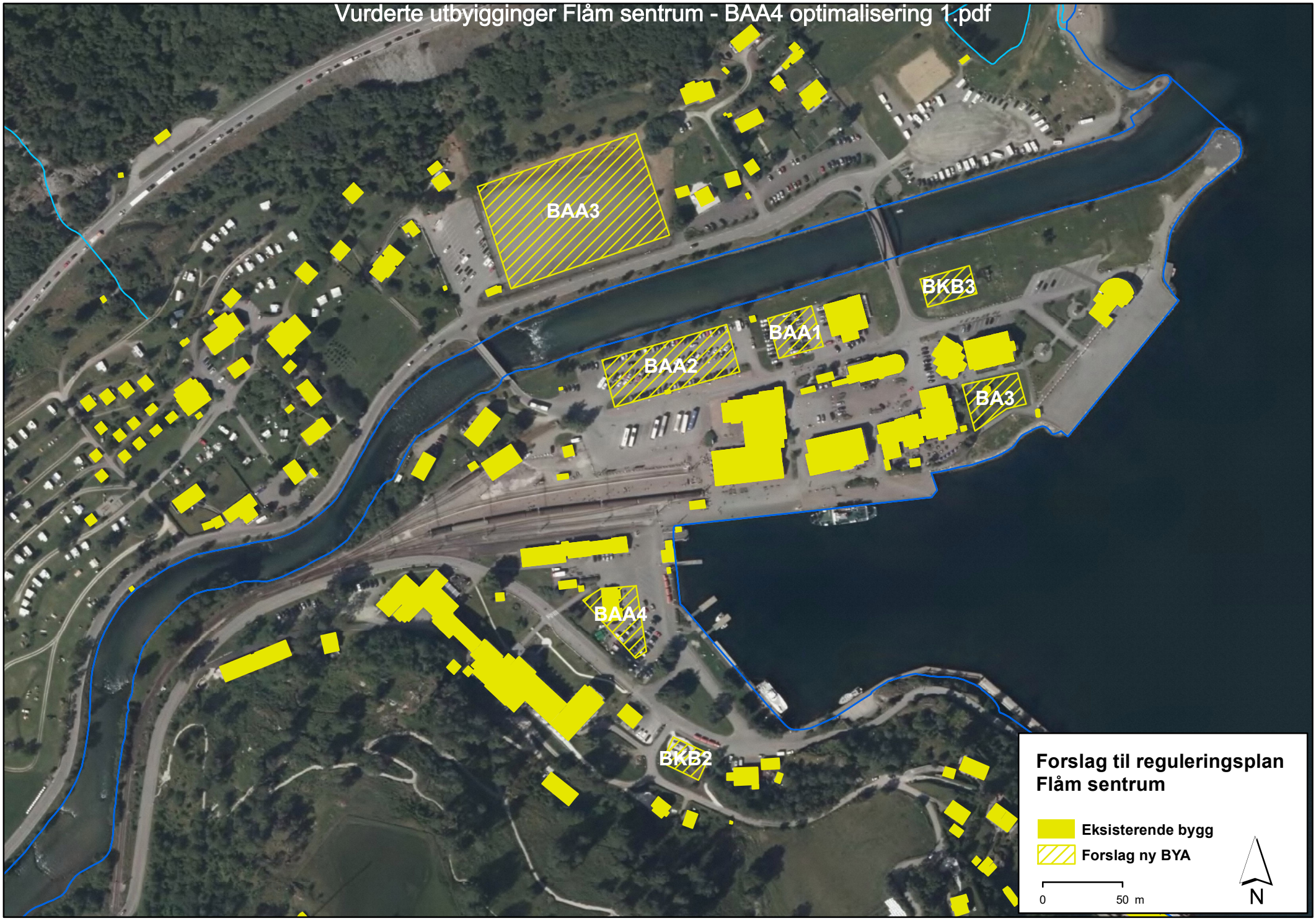
10. **Norconsult, 2018.** *Områdereguleringsplan for Flåm - planprogram (foreløpig).*

11. **Direktoratet for Byggkvalitet, 2017.** Byggteknisk forskrift med vedlegg. *DIBK.* [Internett] 2017. [Sitert: 23 02 2021.] https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/.

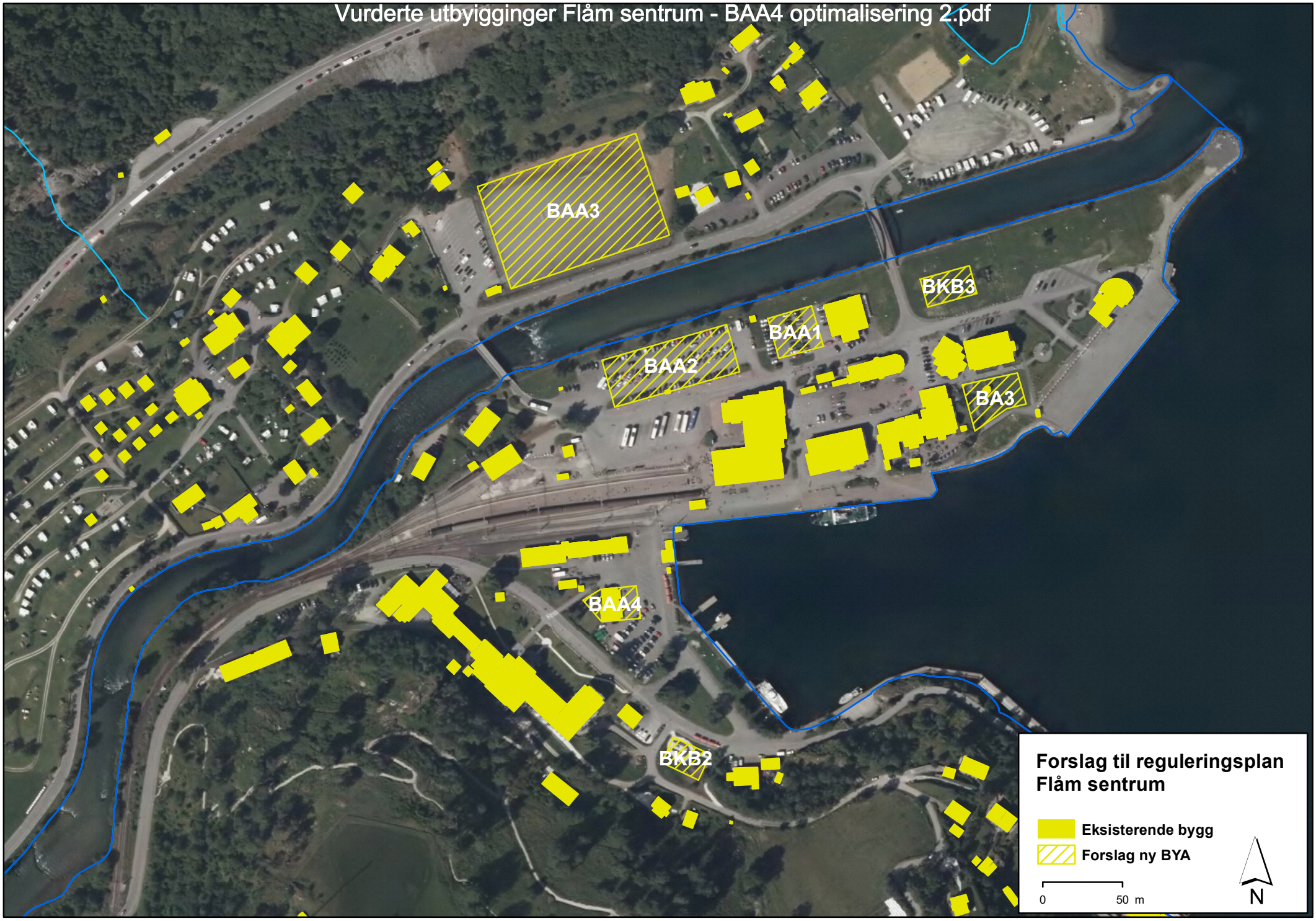
Vedlegg

1 Vurderte utbygginger

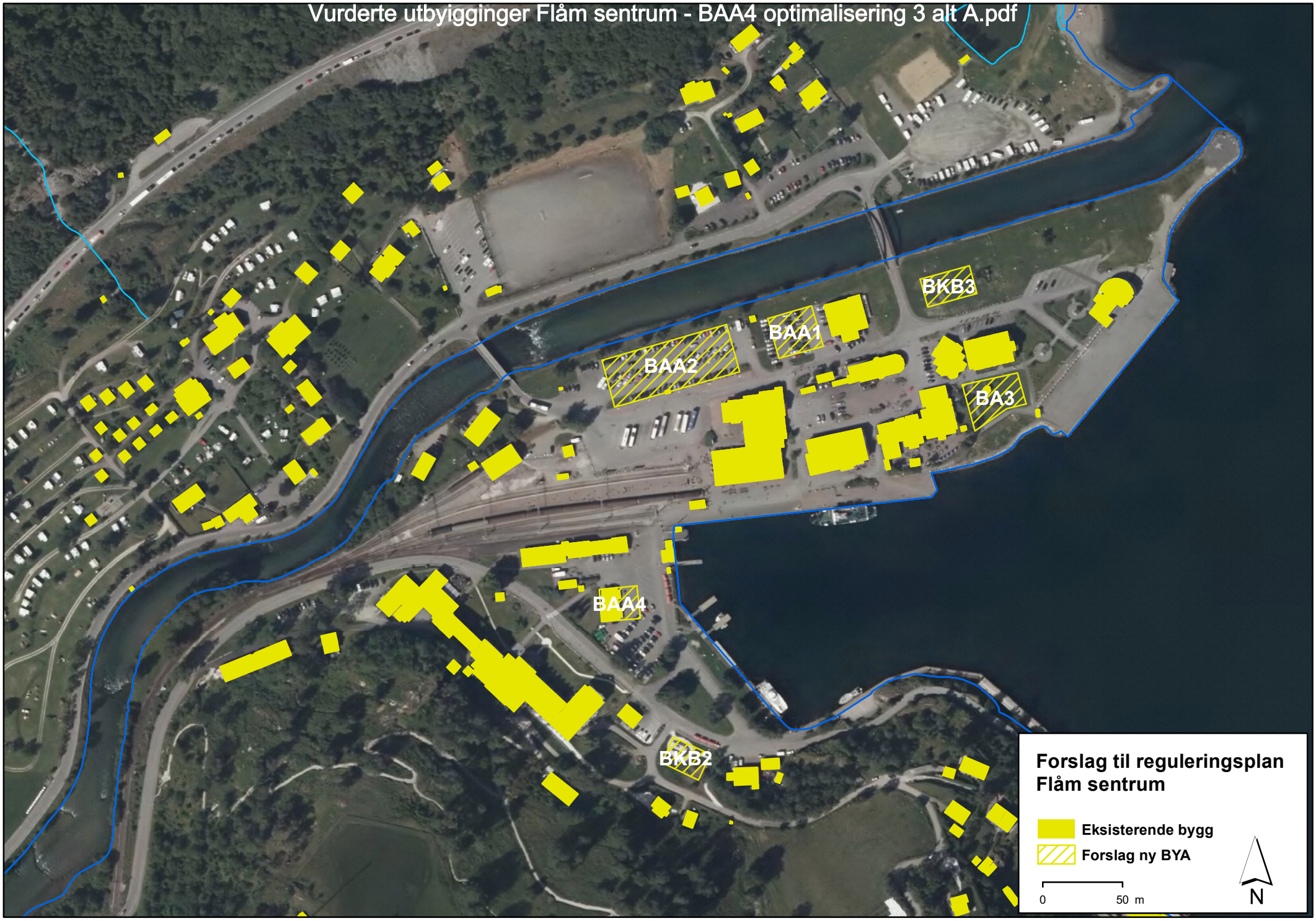
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - BAA4 optimalisering 1.pdf



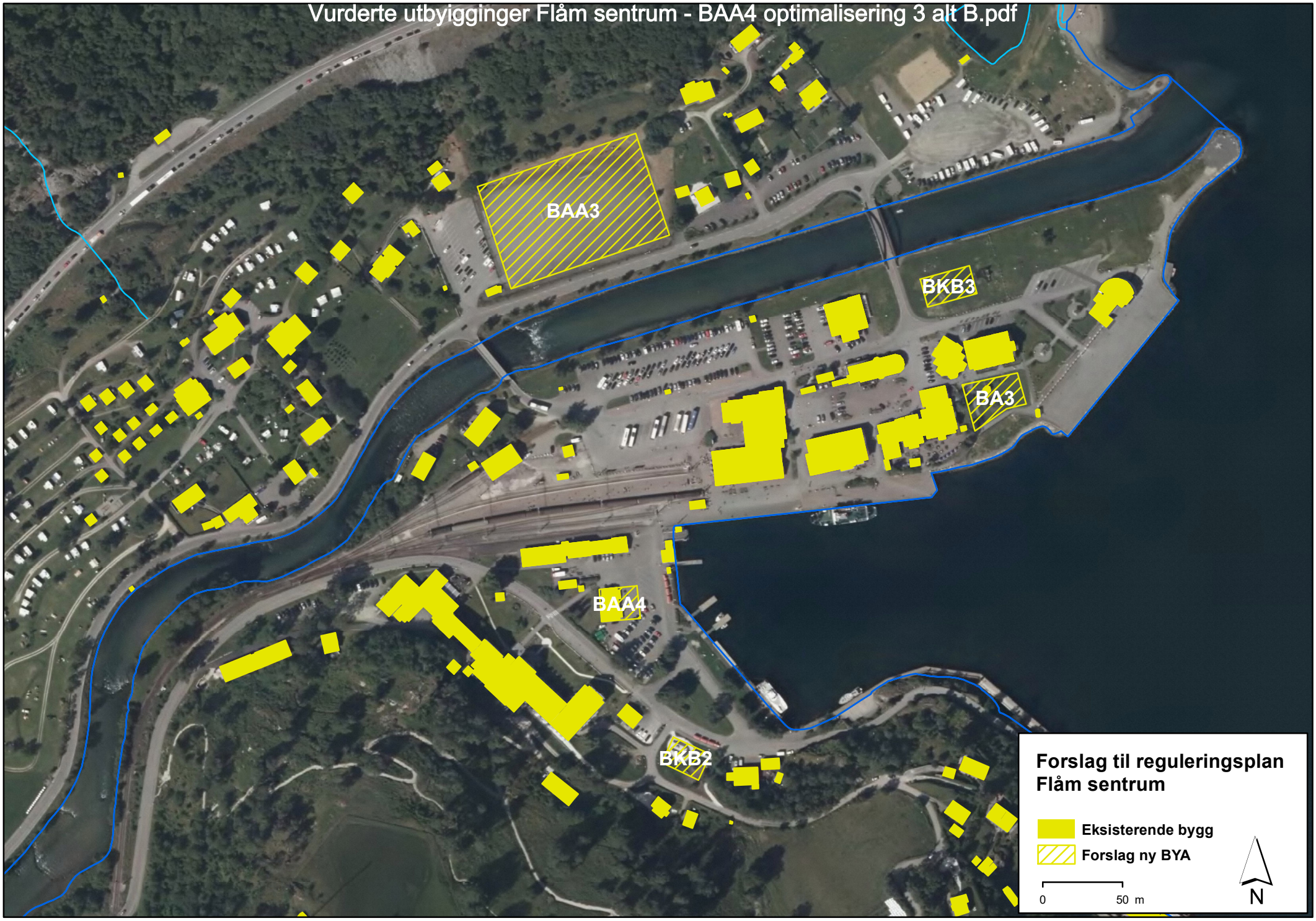
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - BAA4 optimalisering 2.pdf



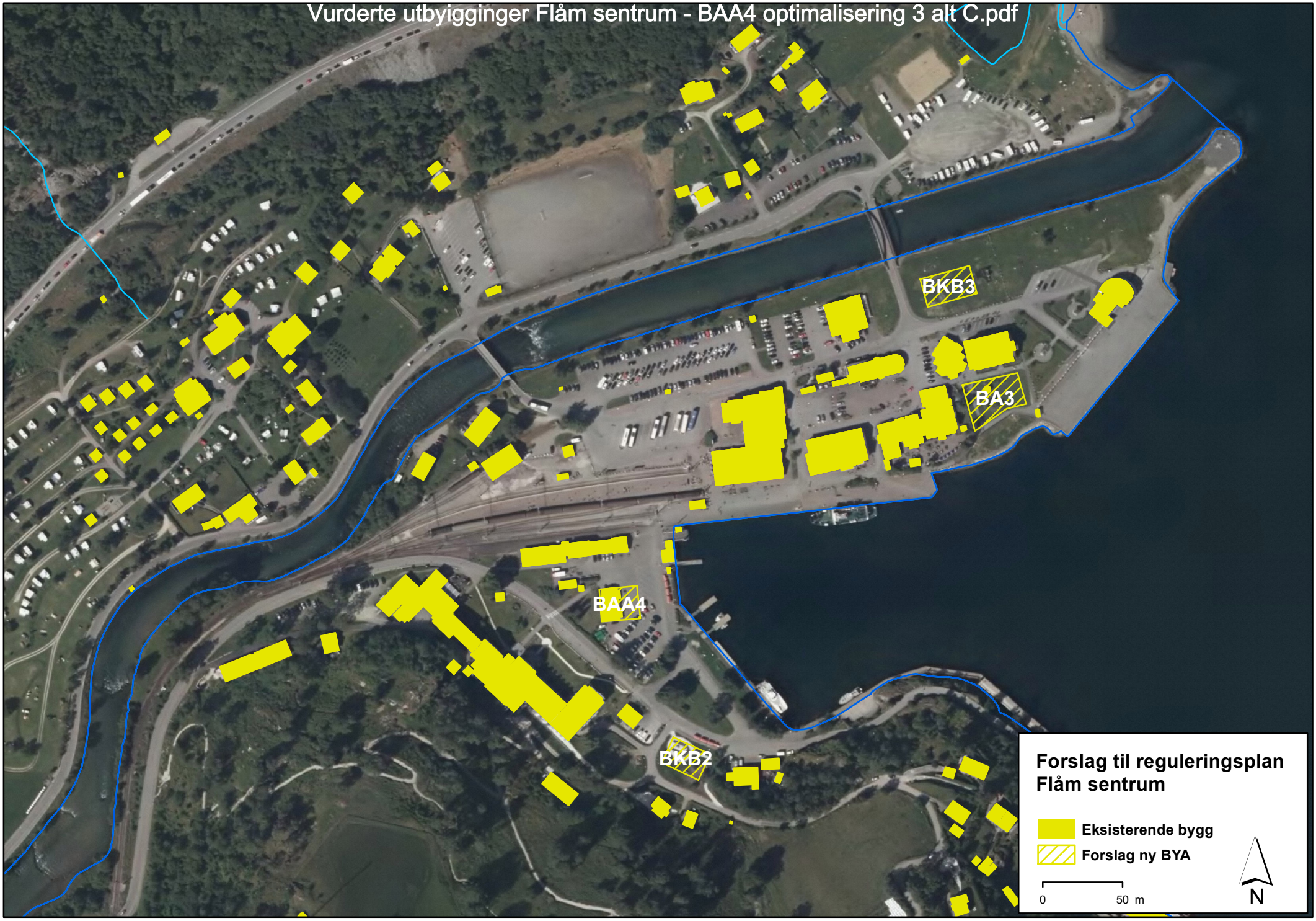
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - BAA4 optimalisering 3 alt A.pdf



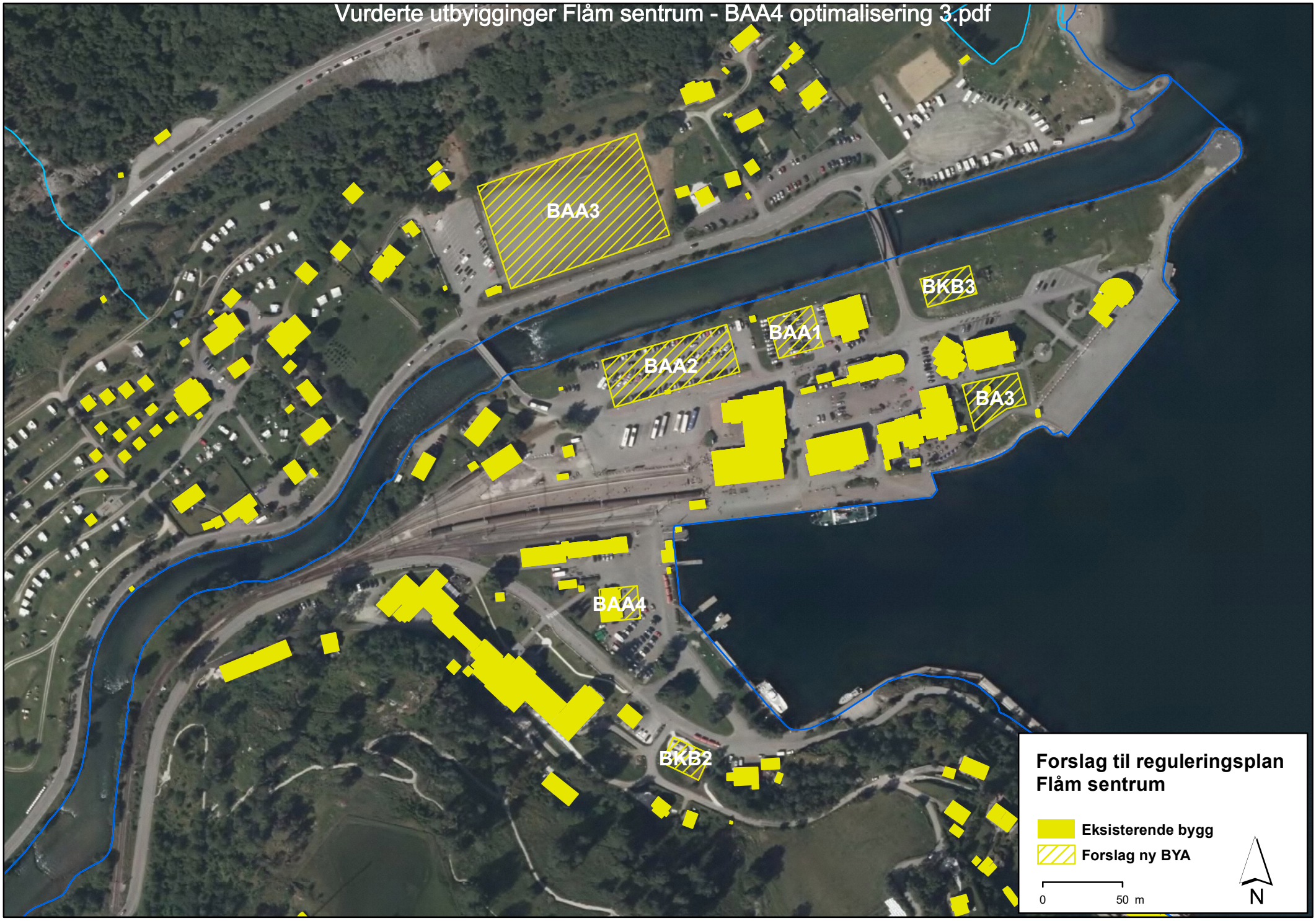
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - BAA4 optimalisering 3 alt B.pdf



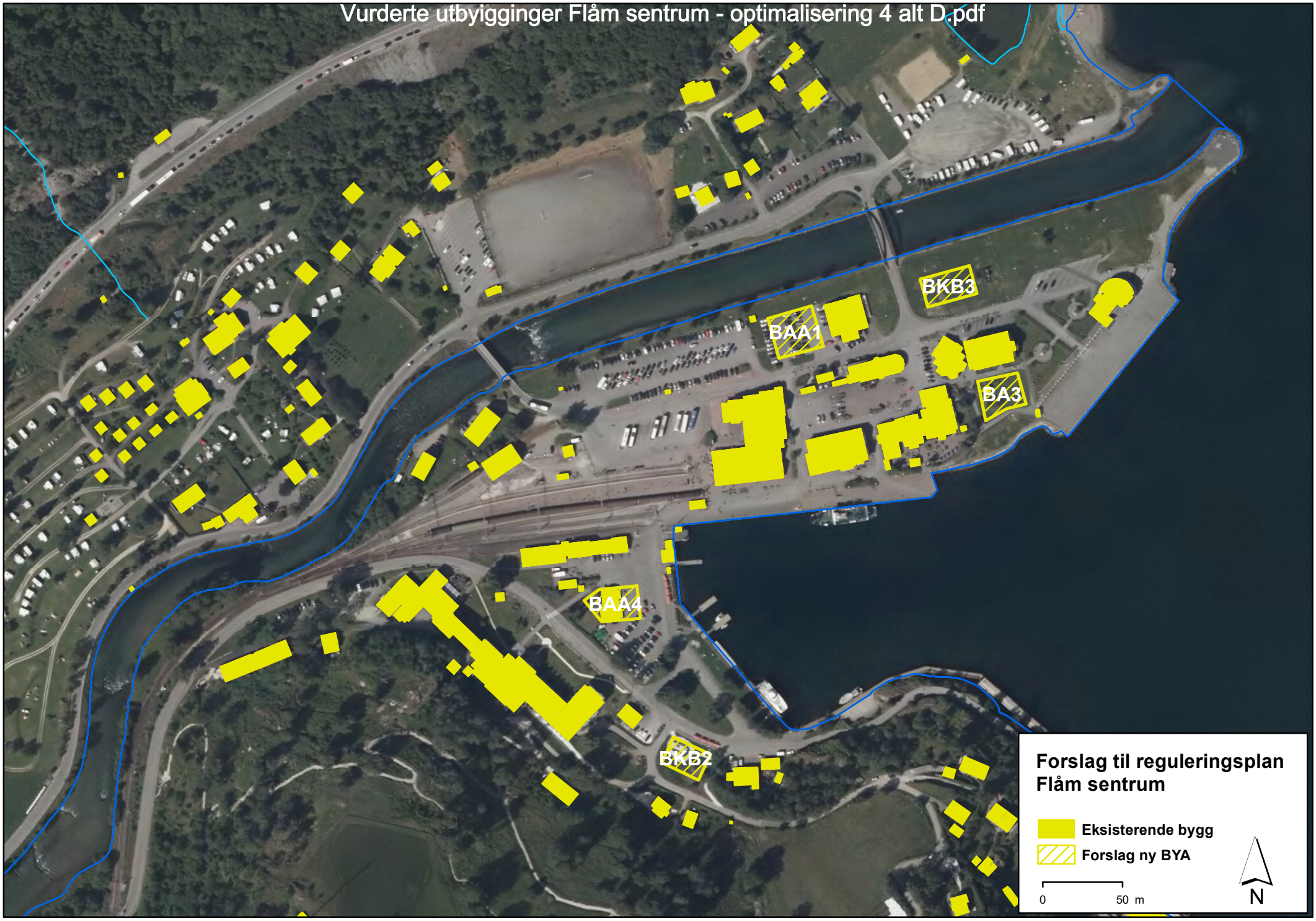
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - BAA4 optimalisering 3 alt C.pdf



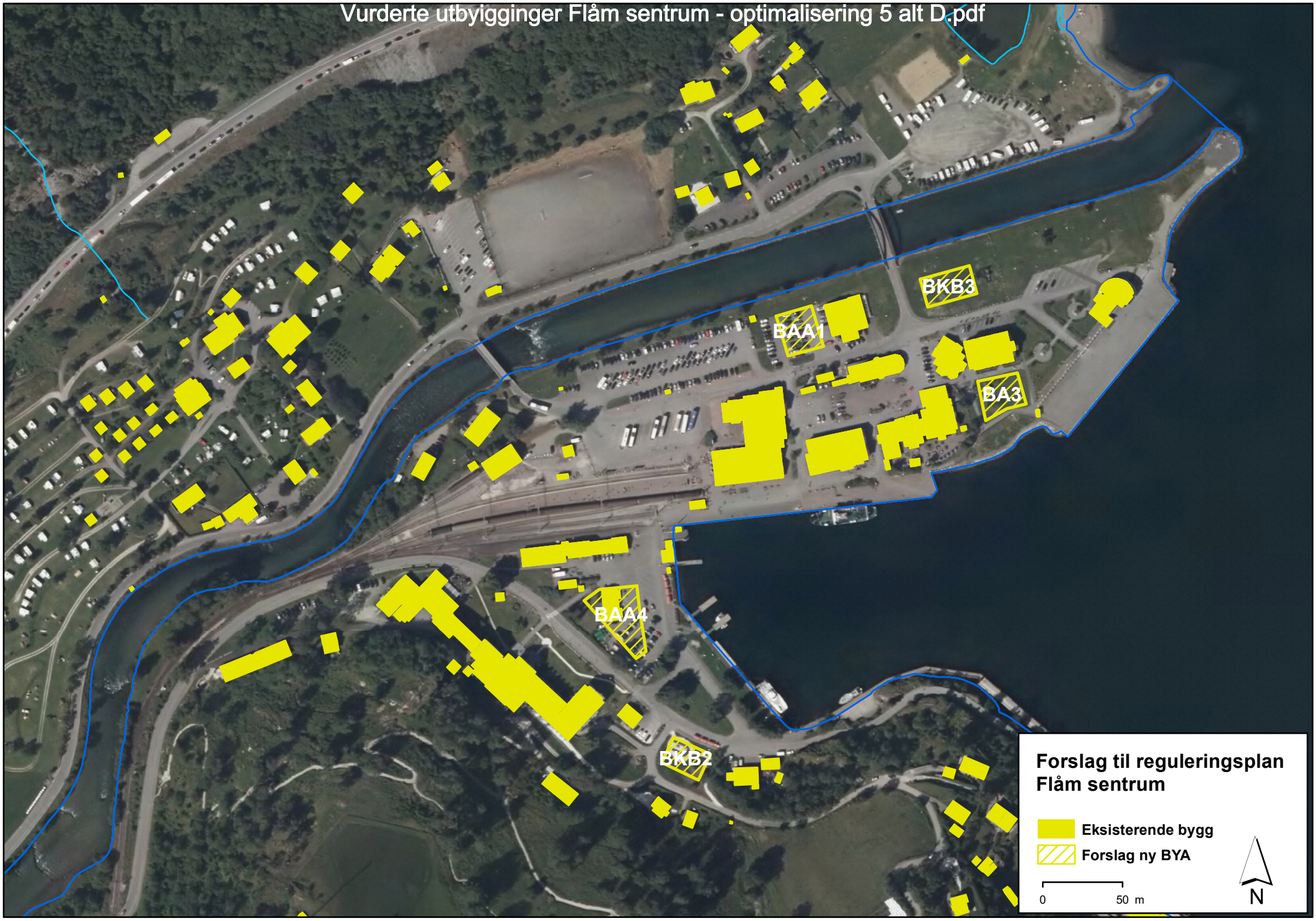
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - BAA4 optimalisering 3.pdf



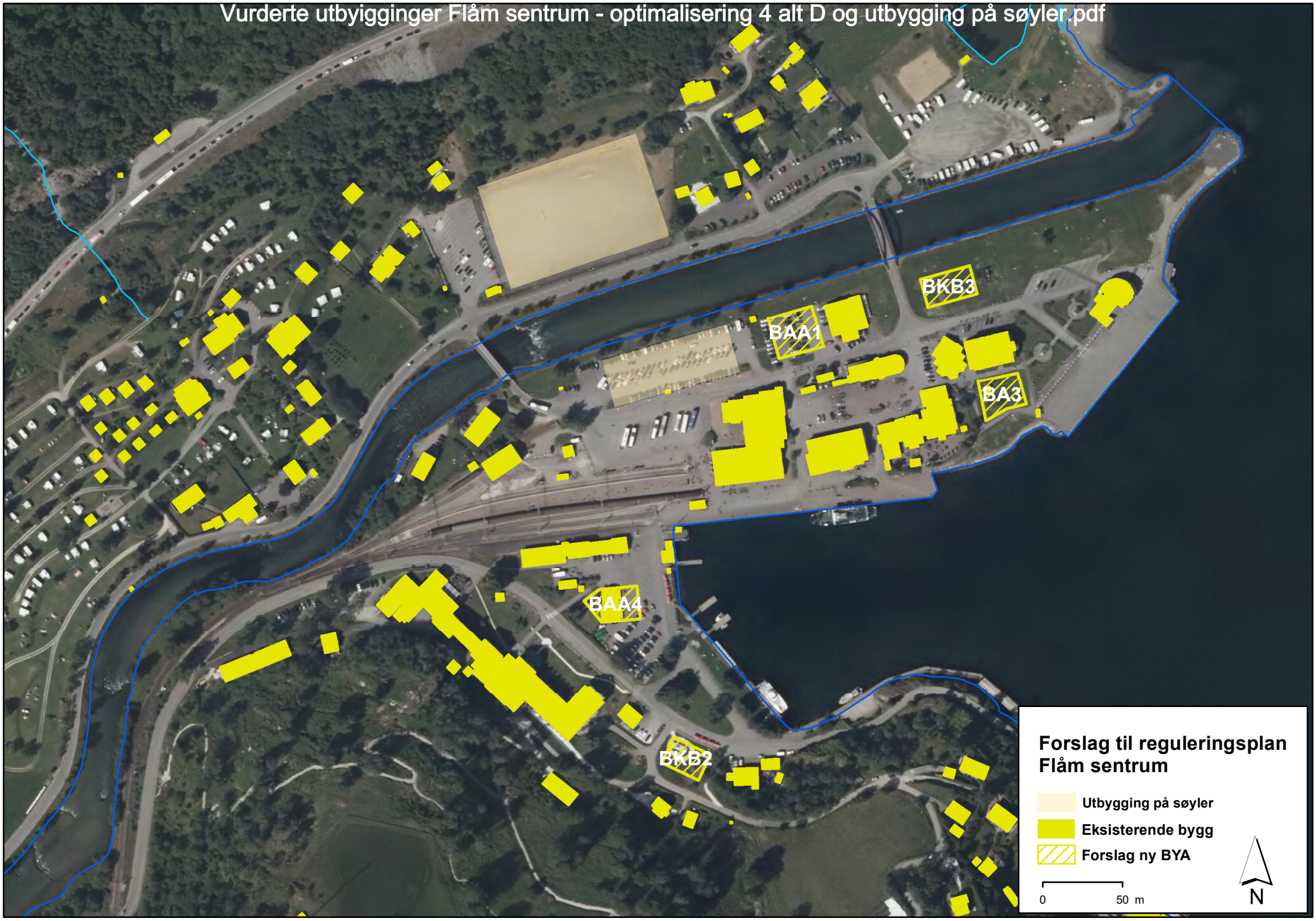
Vurderte utbyggingar Flåm sentrum - optimalisering 4 alt D.pdf



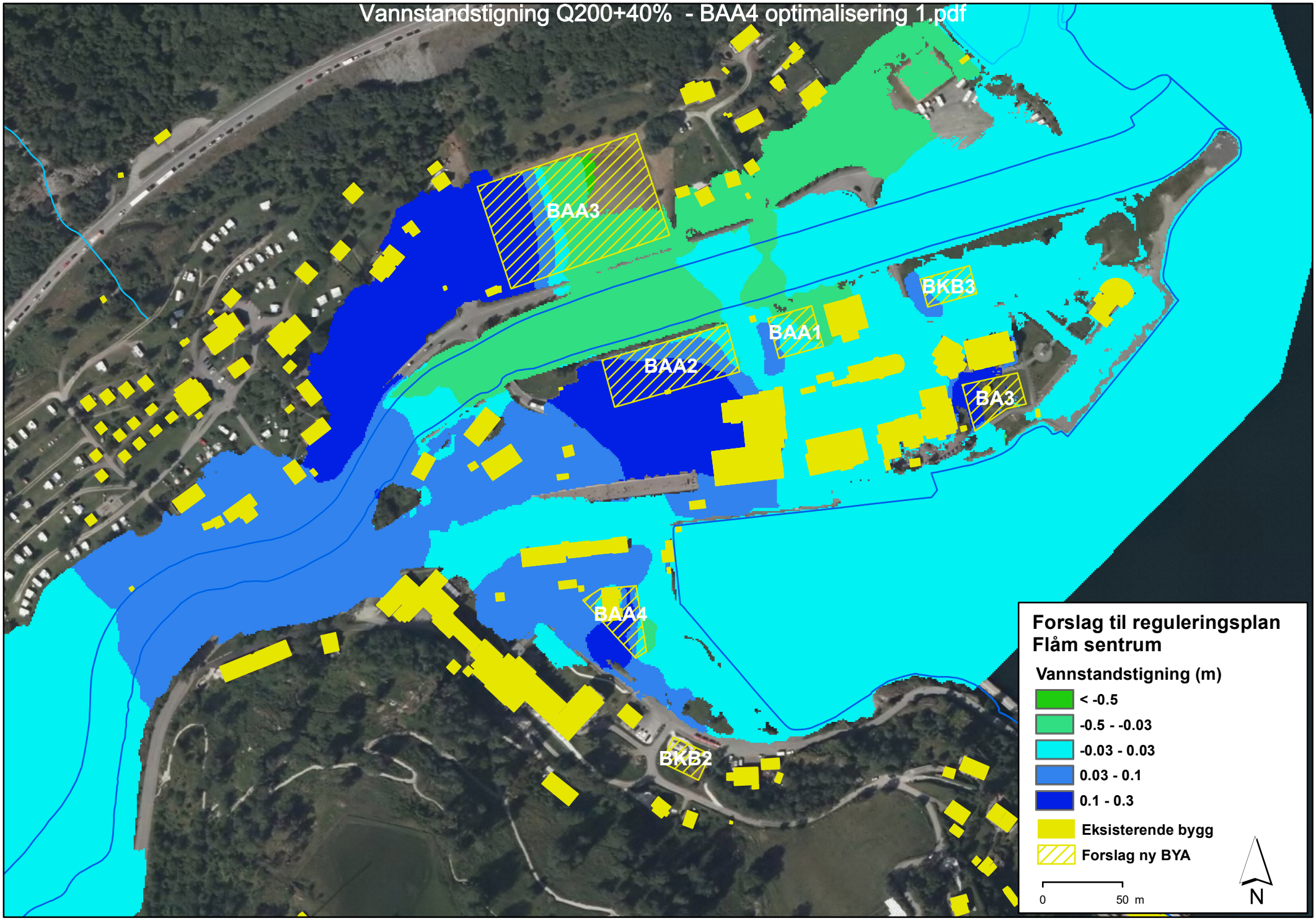
Vurderte utbyggingar Flåm sentrum - optimalisering 5 alt D.pdf

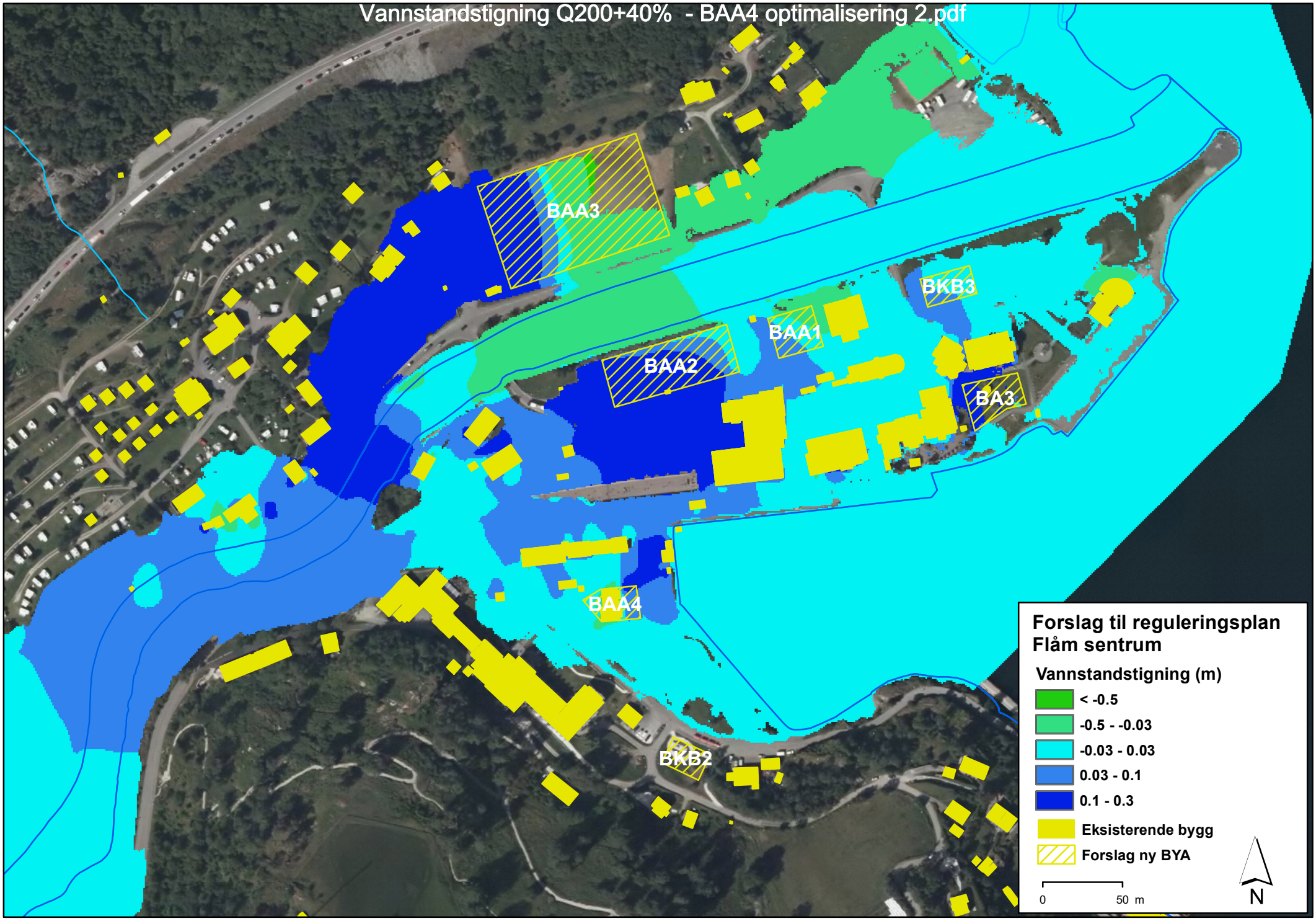


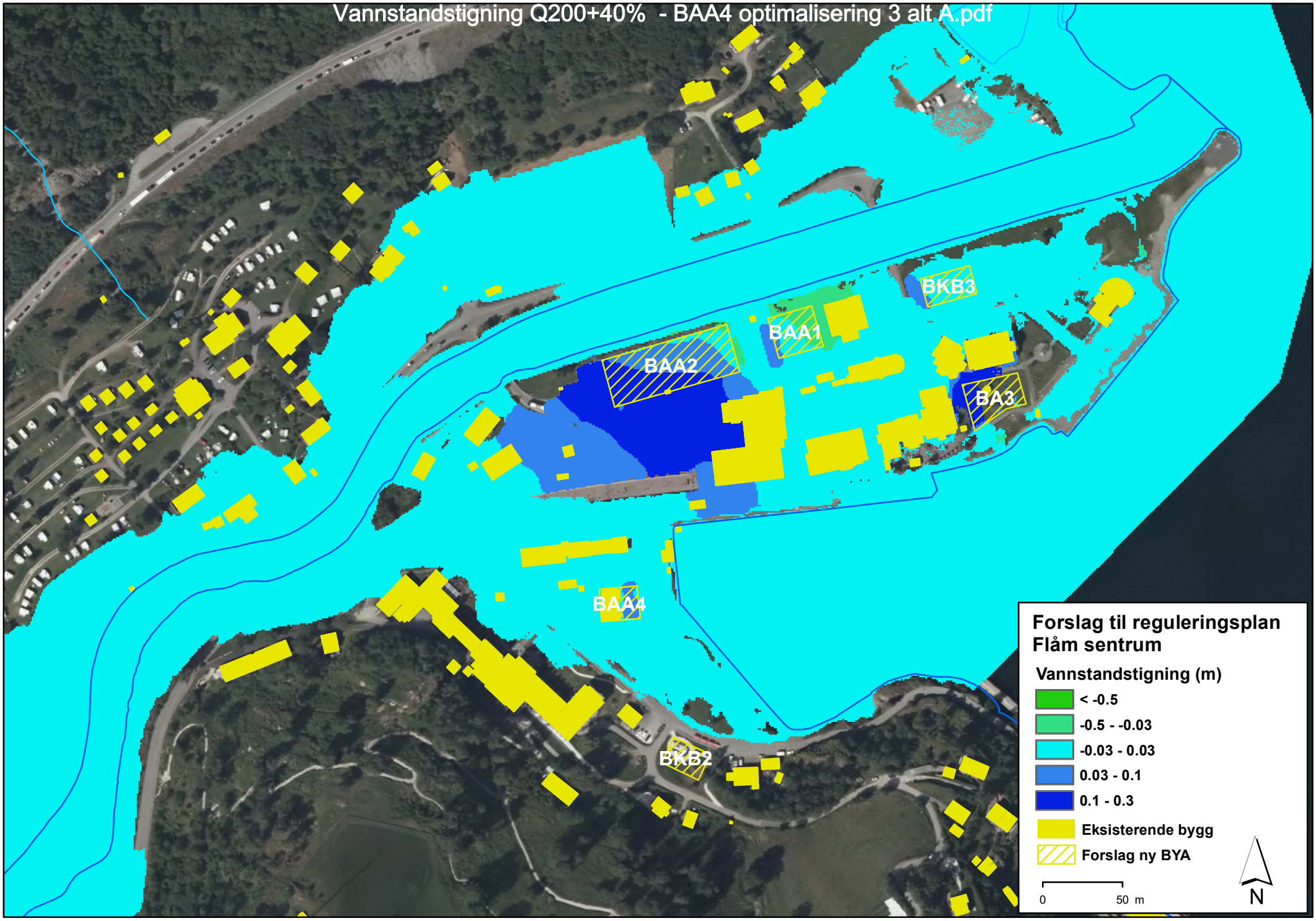
Vurderte utbyigginger Flåm sentrum - optimalisering 4 alt D og utbygging på søyler.pdf

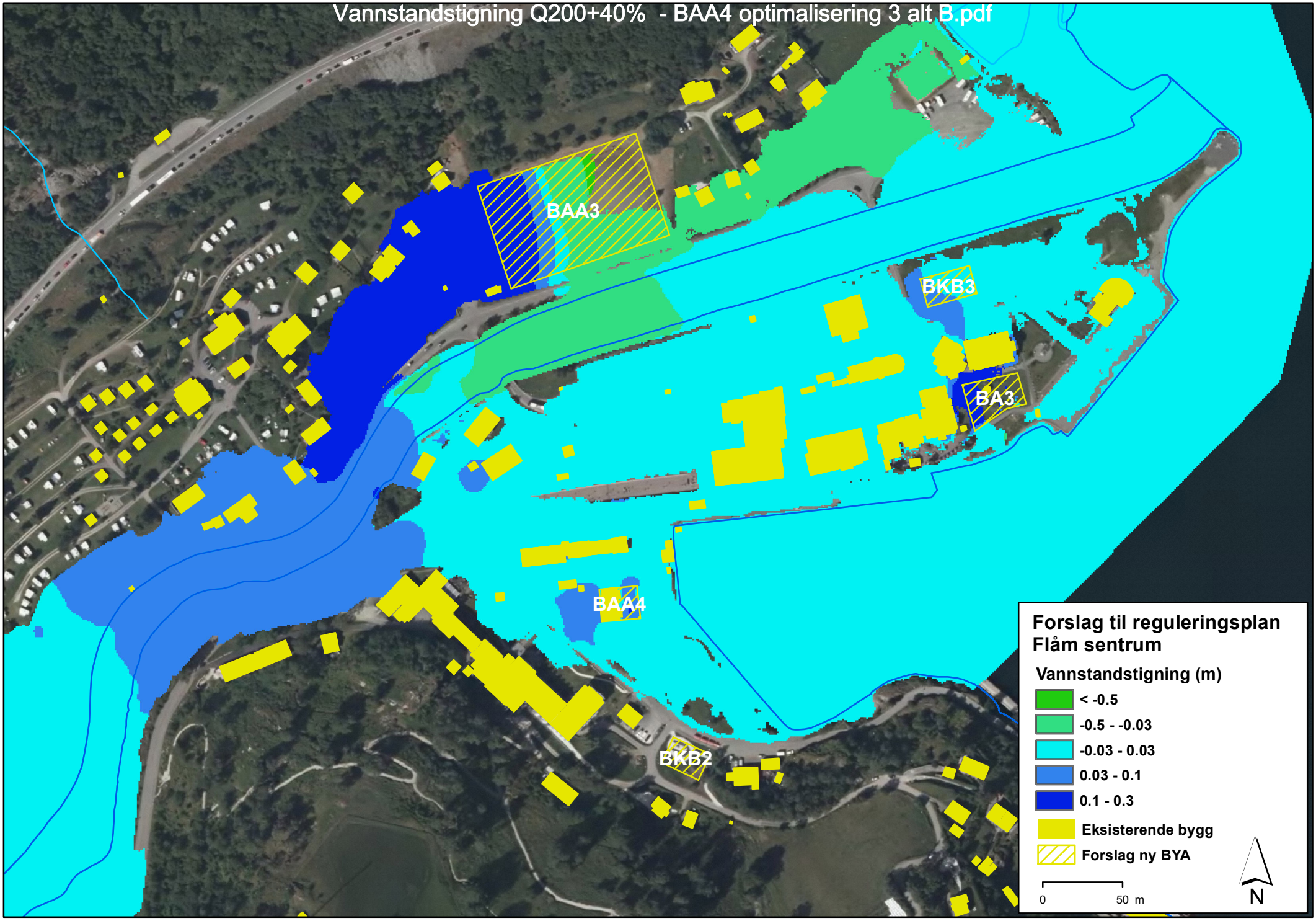


2 Vannstandstigning

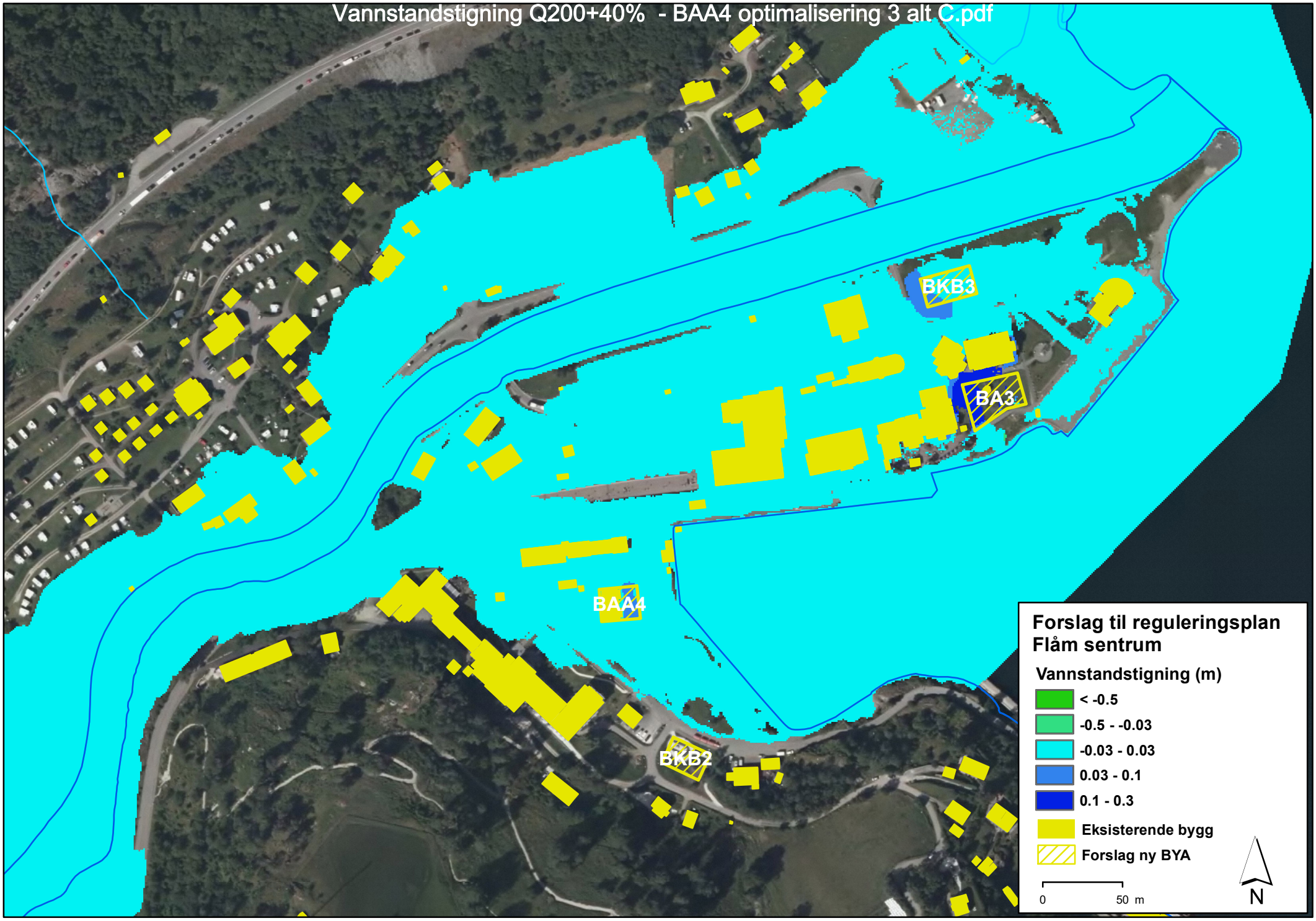

Vannstandstigning Q200+40% - BAA4 optimalisering 1.pdf
BAA3
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

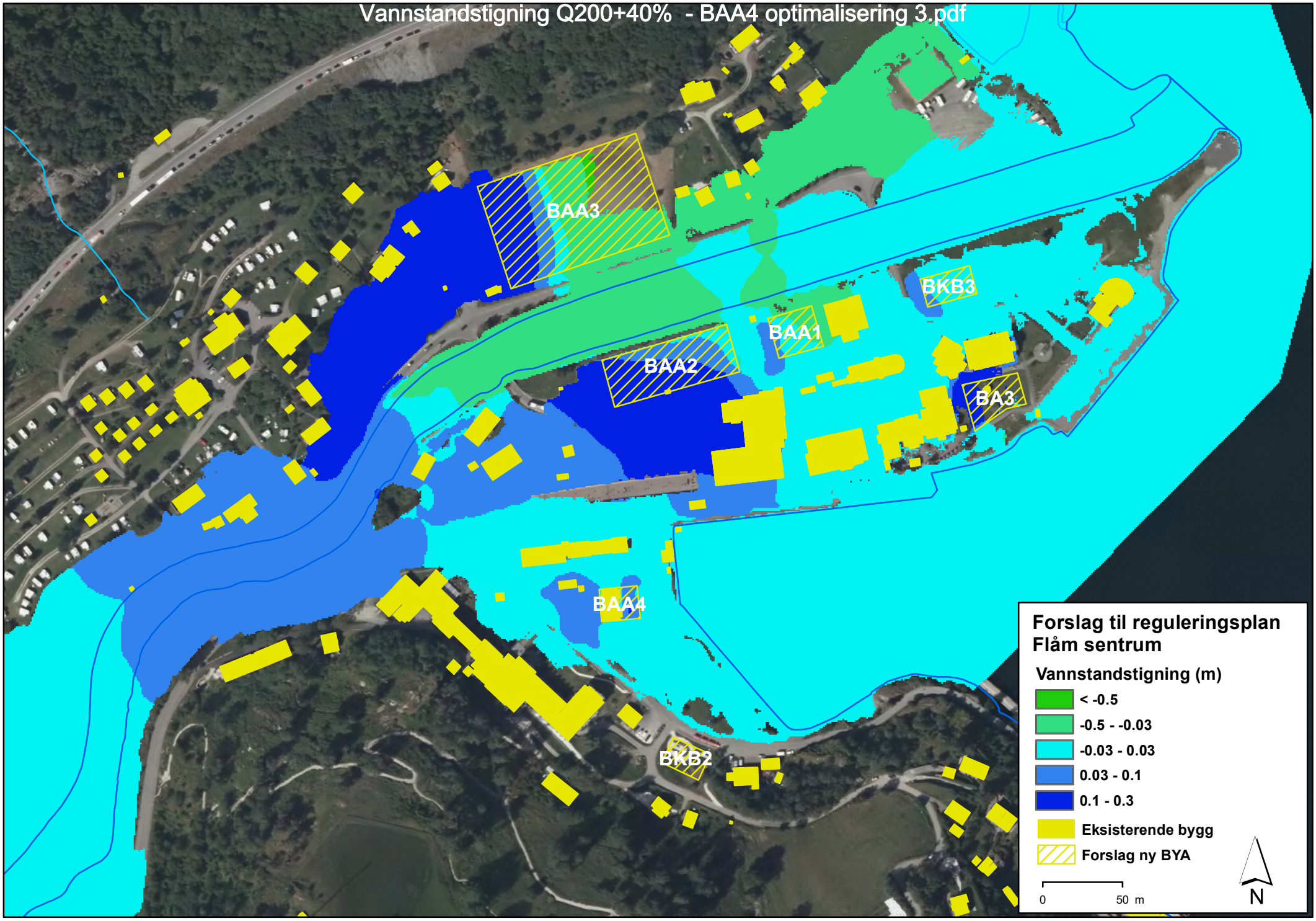

Vannstandstigning Q200+40% - BAA4 optimalisering 2.pdf
BAA3
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

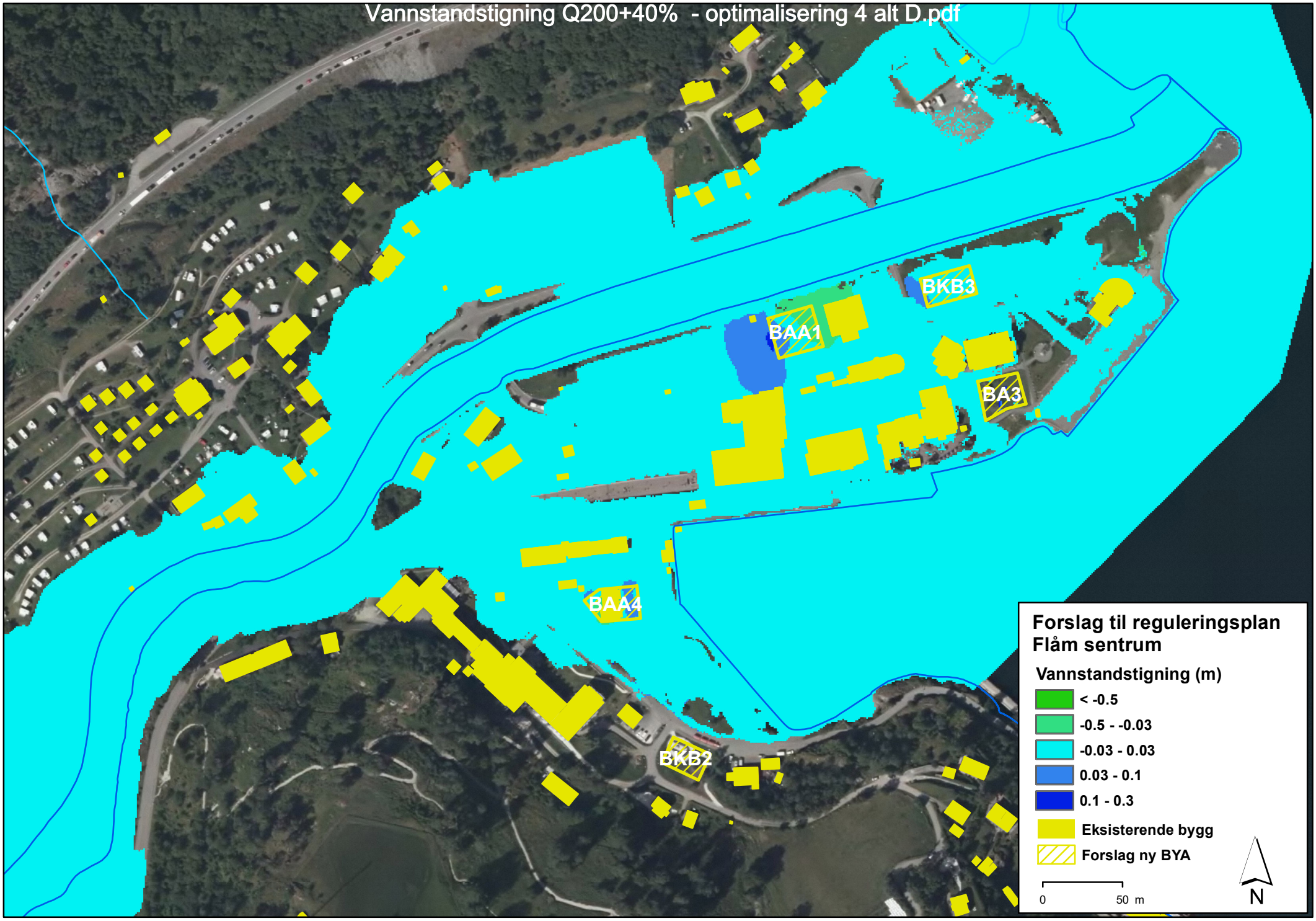

Vannstandstigning Q200+40% - BAA4 optimalisering 3 alt A.pdf
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

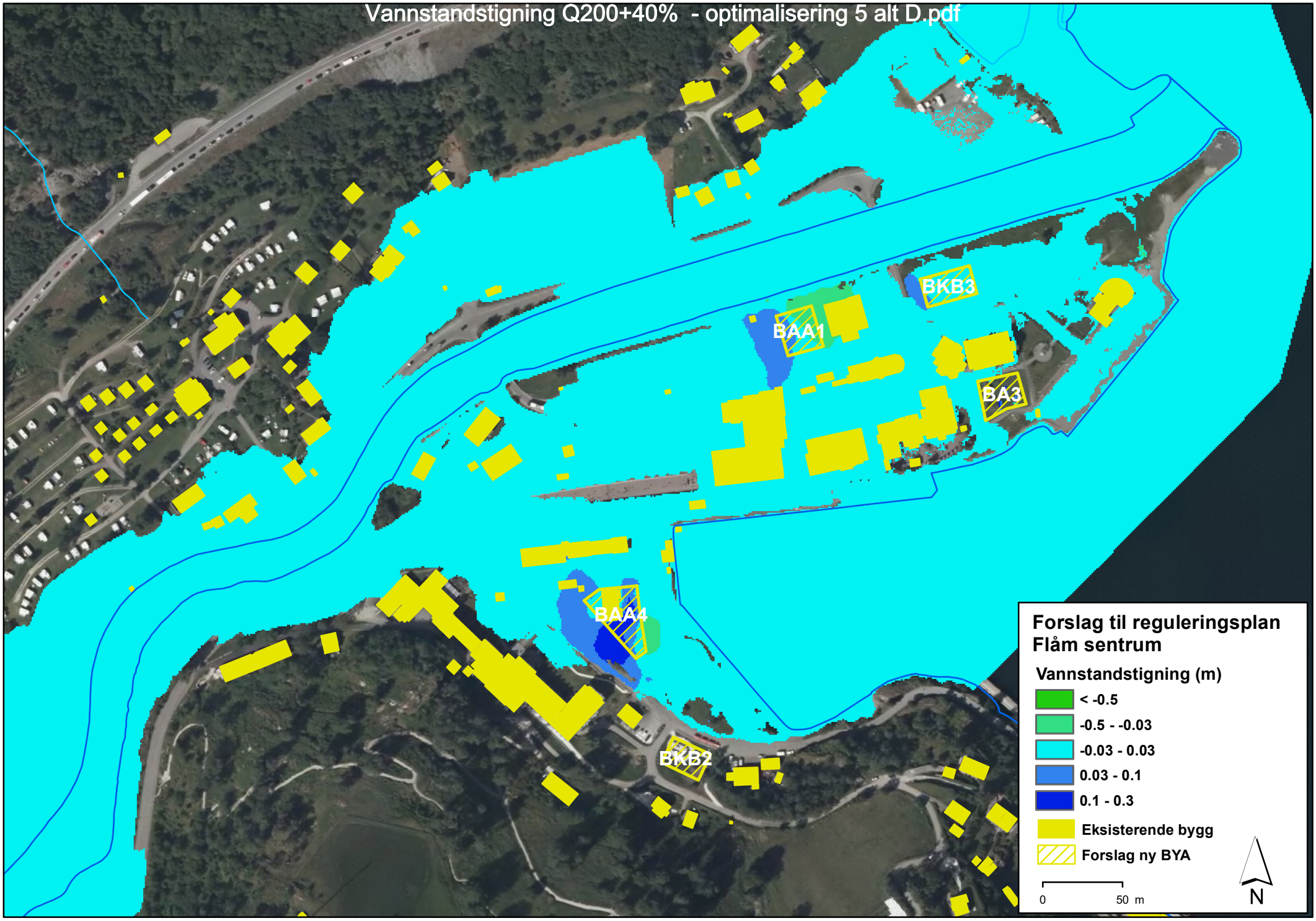

Vannstandstigning Q200+40% - BAA4 optimalisering 3 alt B.pdf
BAA3
BKB3
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

Vannstandstigning Q200+40% - BAA4 optimalisering 3 alt C.pdf

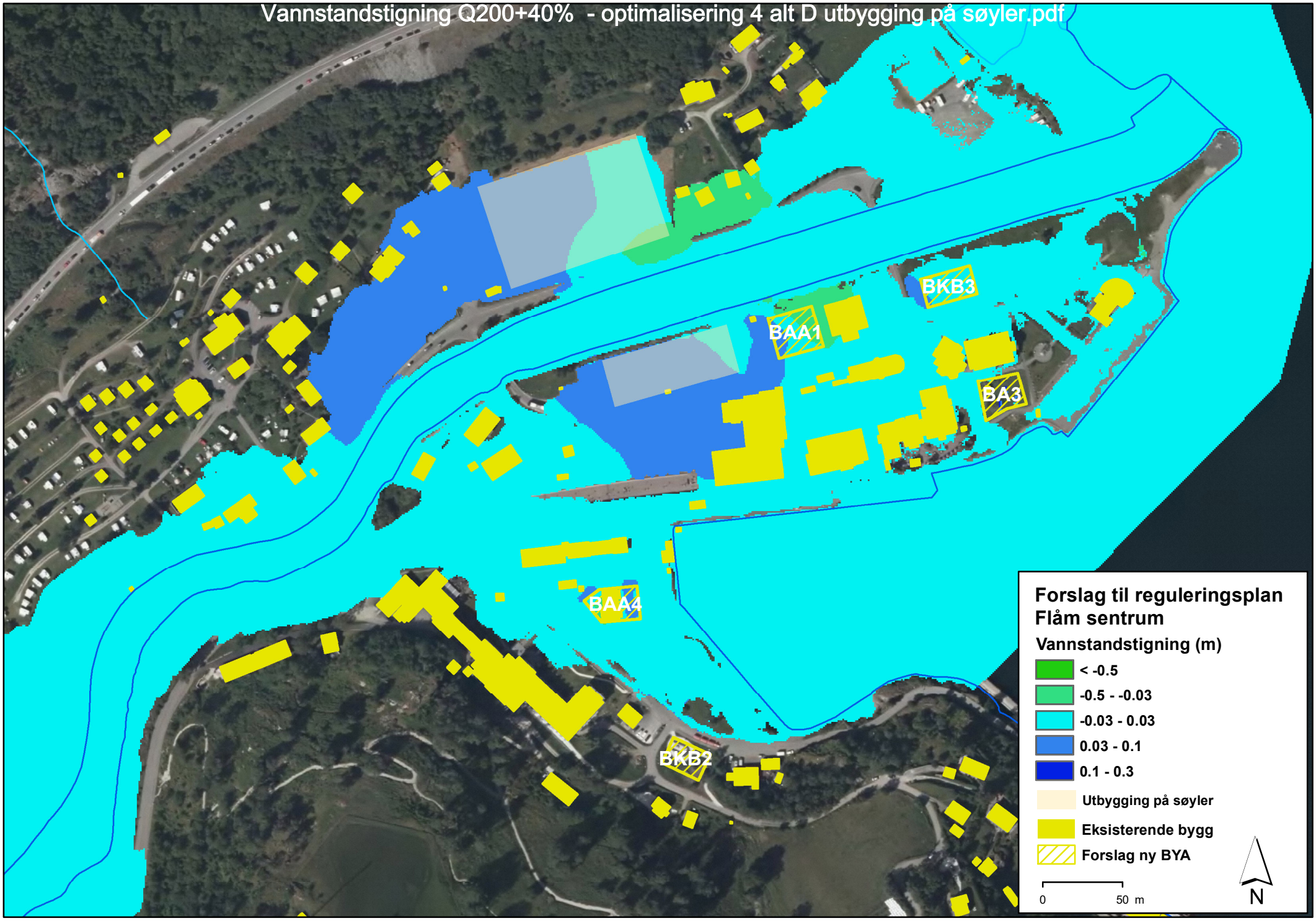



Vannstandstigning Q200+40% - BAA4 optimalisering 3.pdf
BAA3
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

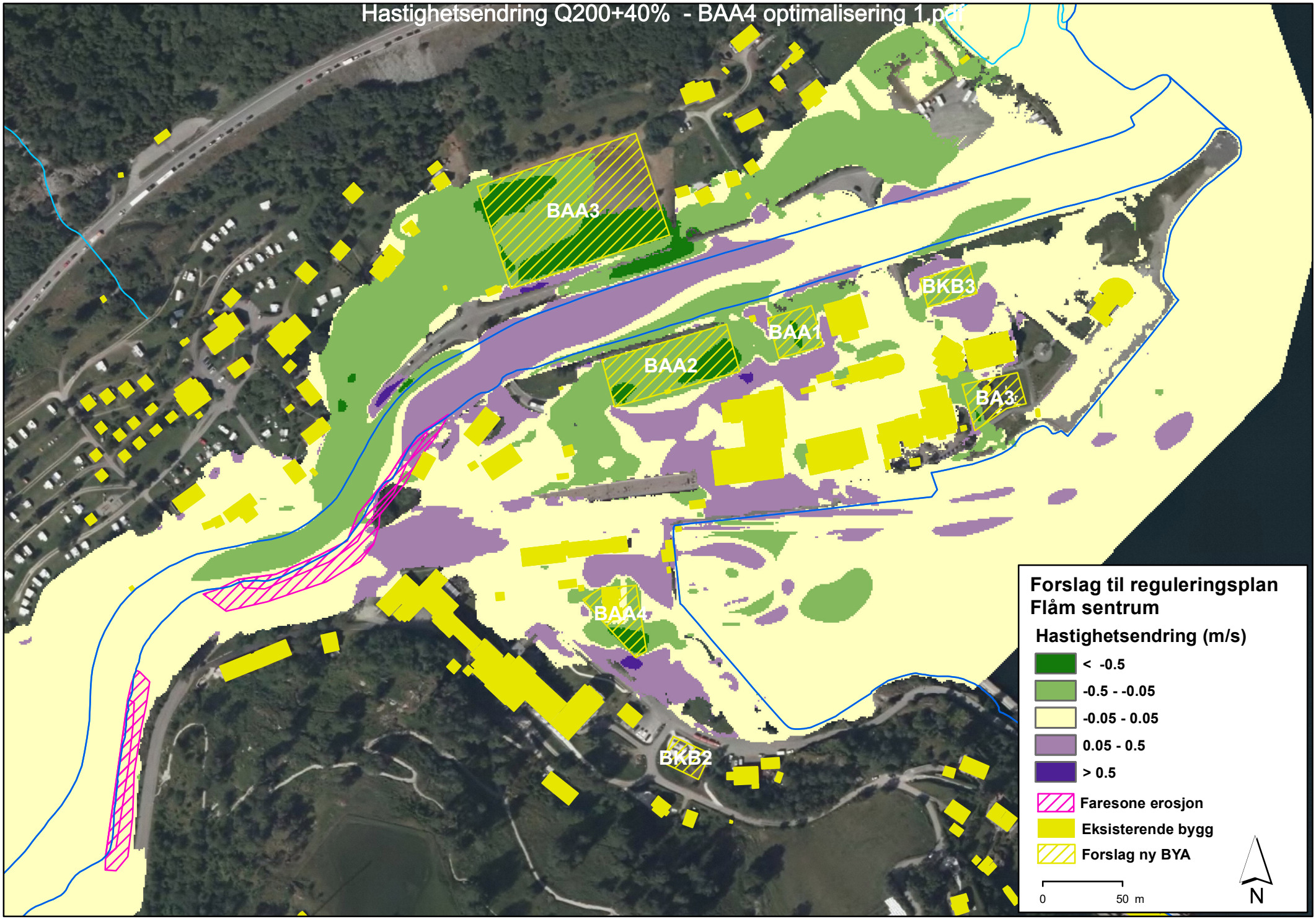

Vannstandstigning Q200+40% - optimalisering 4 alt D.pdf
BKB3
BAA1
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

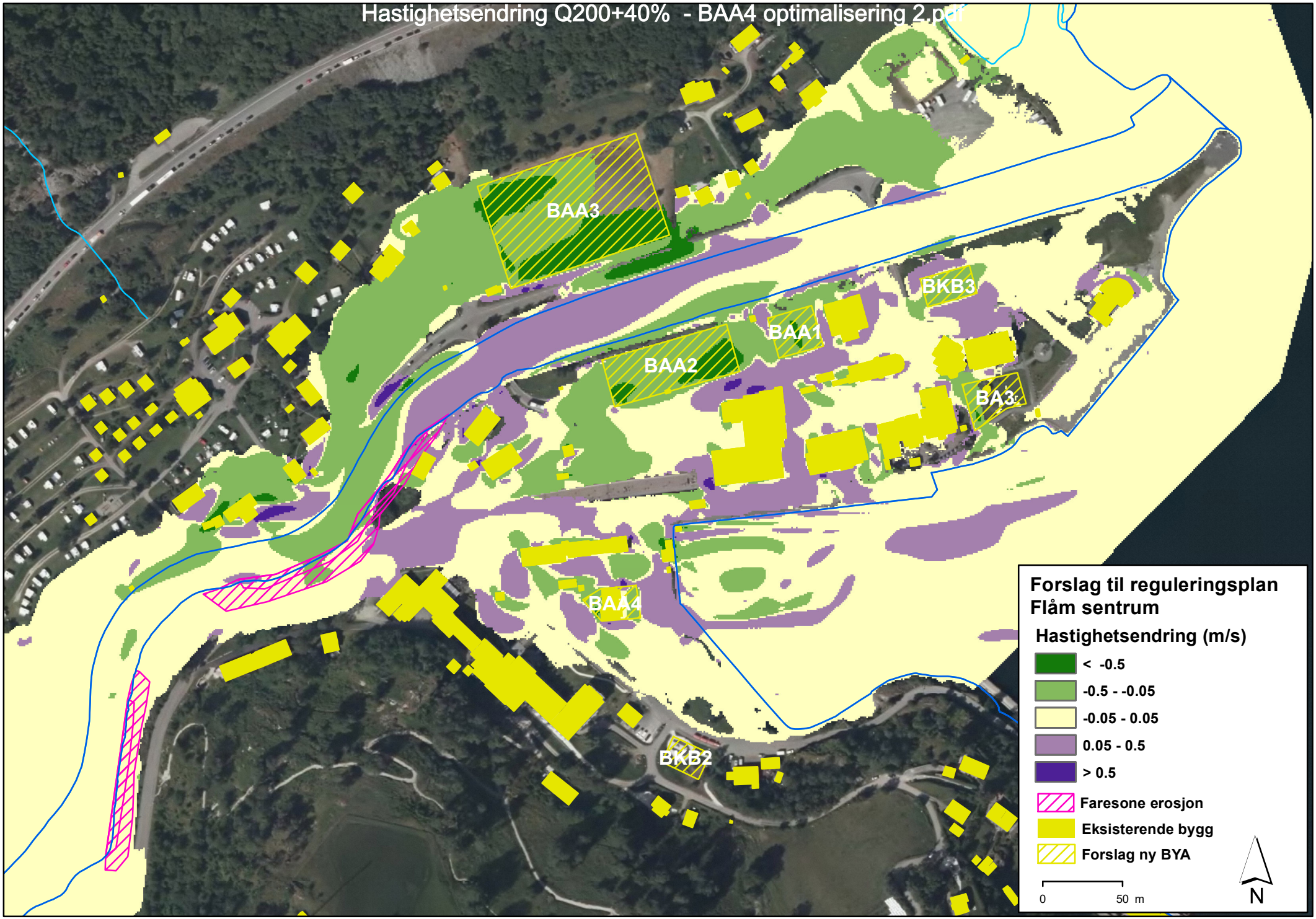

Vannstandstigning Q200+40% - optimalisering 5 alt D.pdf
BKB3
BAA1
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Vannstandstigning (m)
< -0.5
-0.5 - -0.03
-0.03 - 0.03
0.03 - 0.1
0.1 - 0.3
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

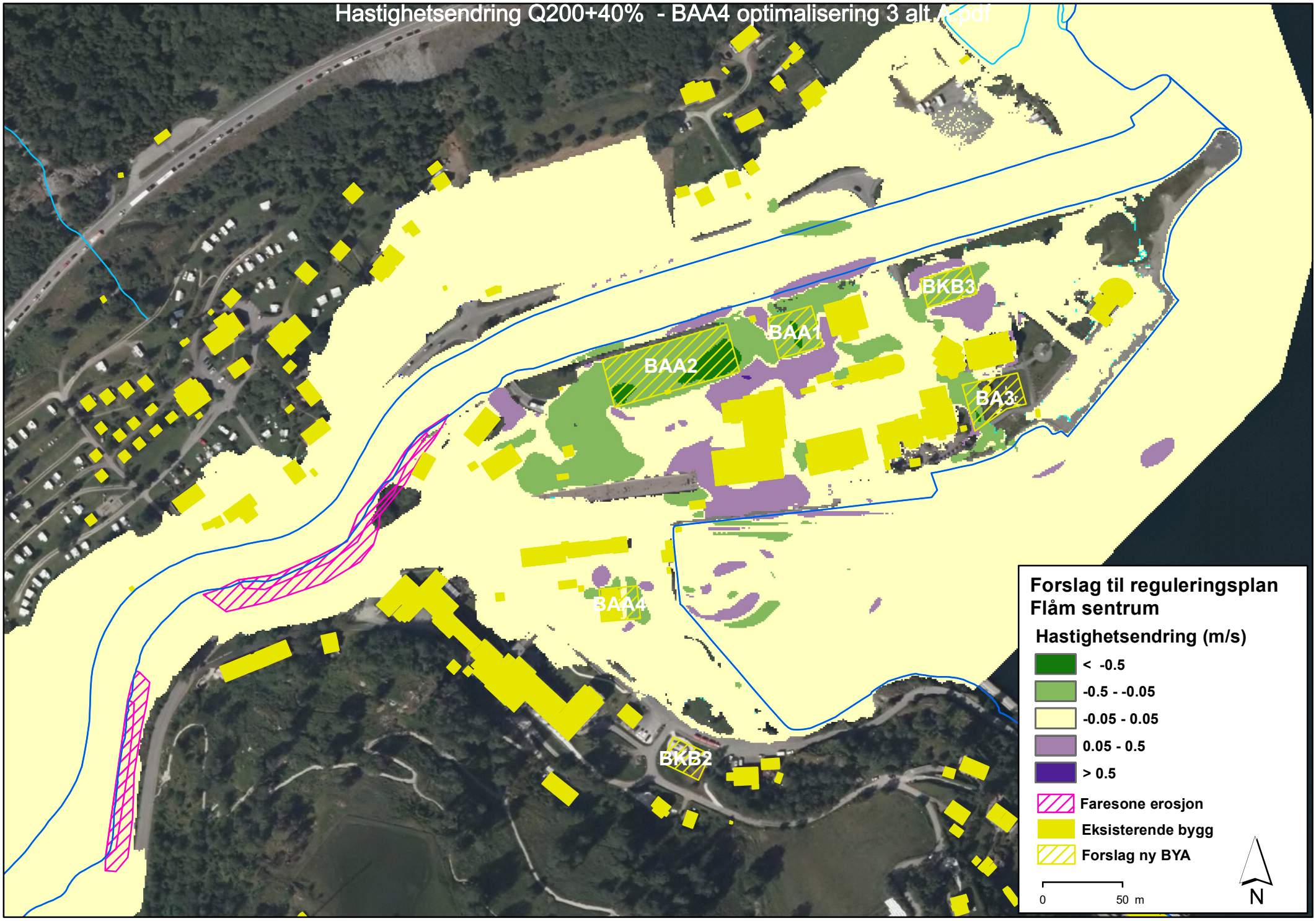
Vannstandstigning Q200+40% - optimalisering 4 alt D utbygging på søyler.pdf



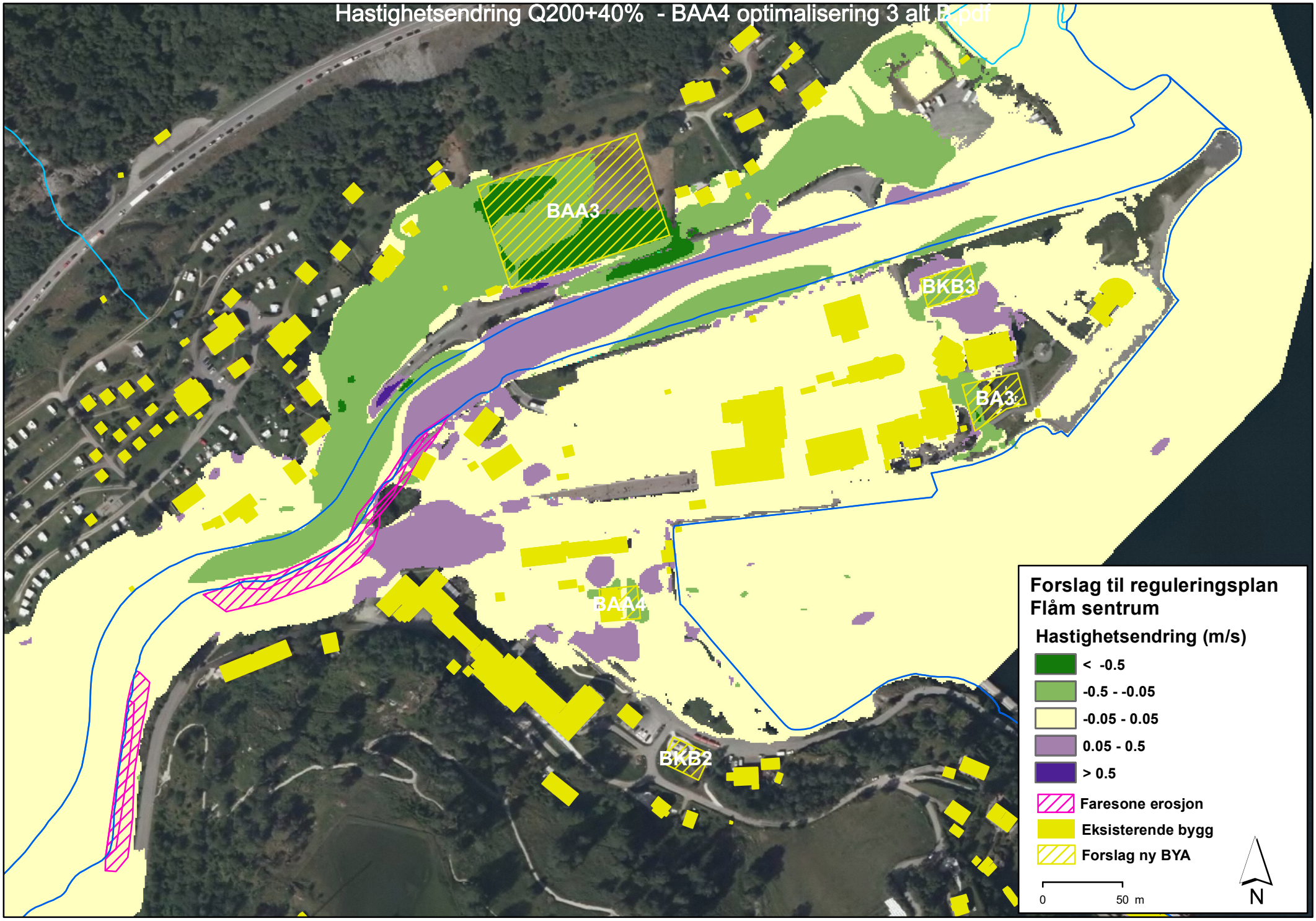
3 Hastighetsendringer


Hastighetsendring Q200+40% - BAA4 optimalisering 1.pdf
BAA3
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

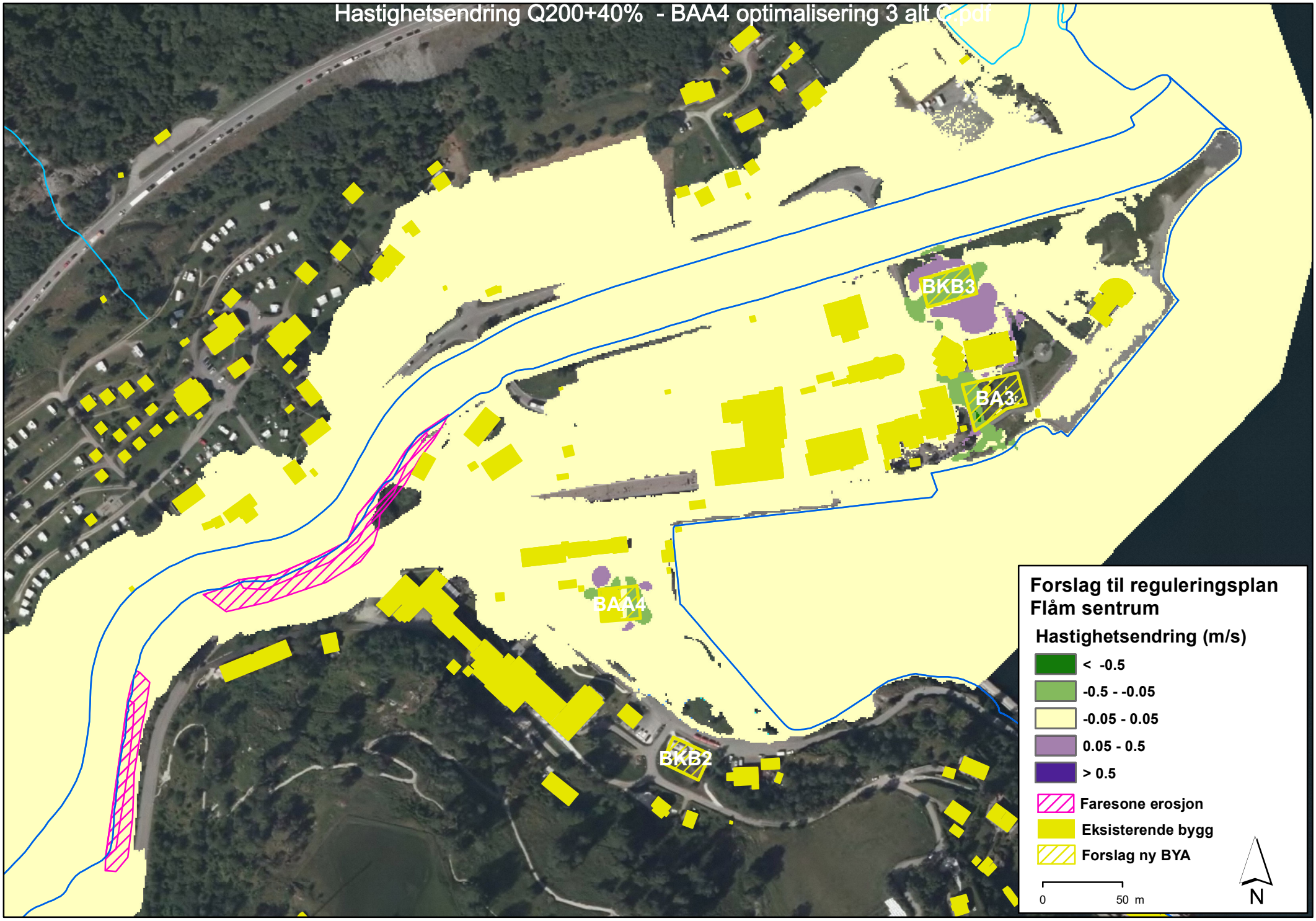

Hastighetsendring Q200+40% - BAA4 optimalisering 2.prj
BAA3
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

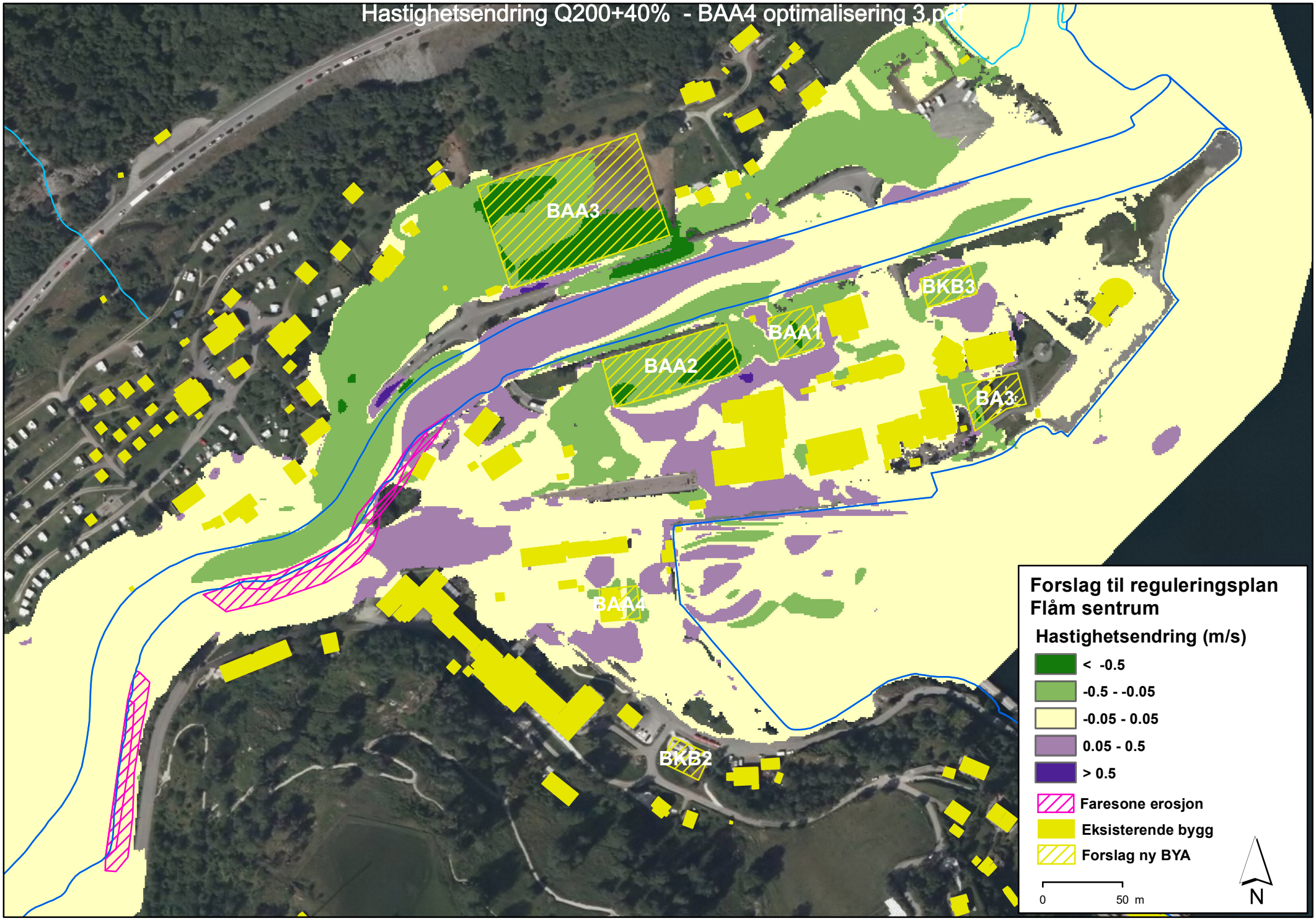

Hastighetsendring Q200+40% - BAA4 optimalisering 3 alt A.pdf
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N

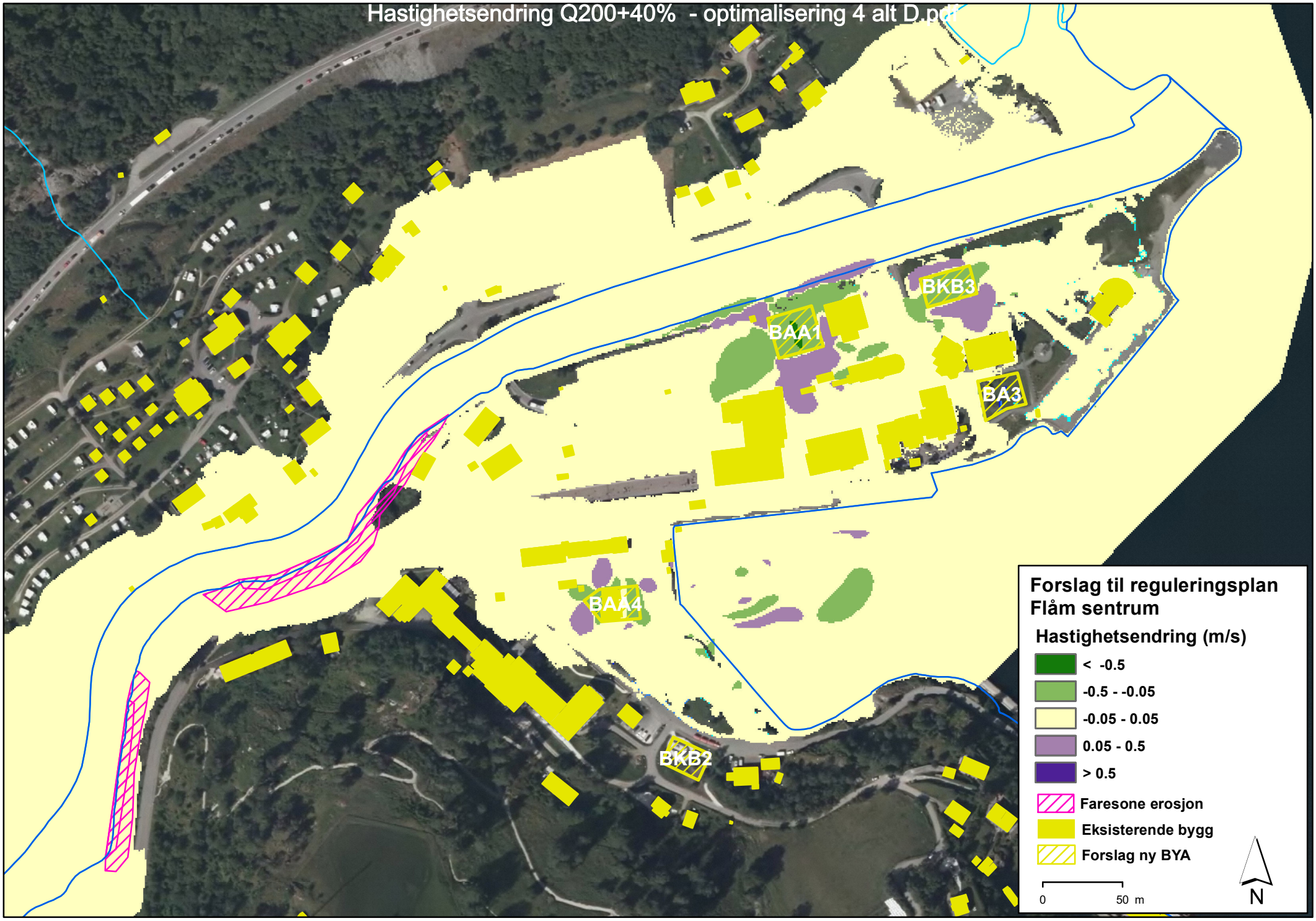
Hastighetsendring Q200+40% - BAA4 optimalisering 3 alt B.pdf

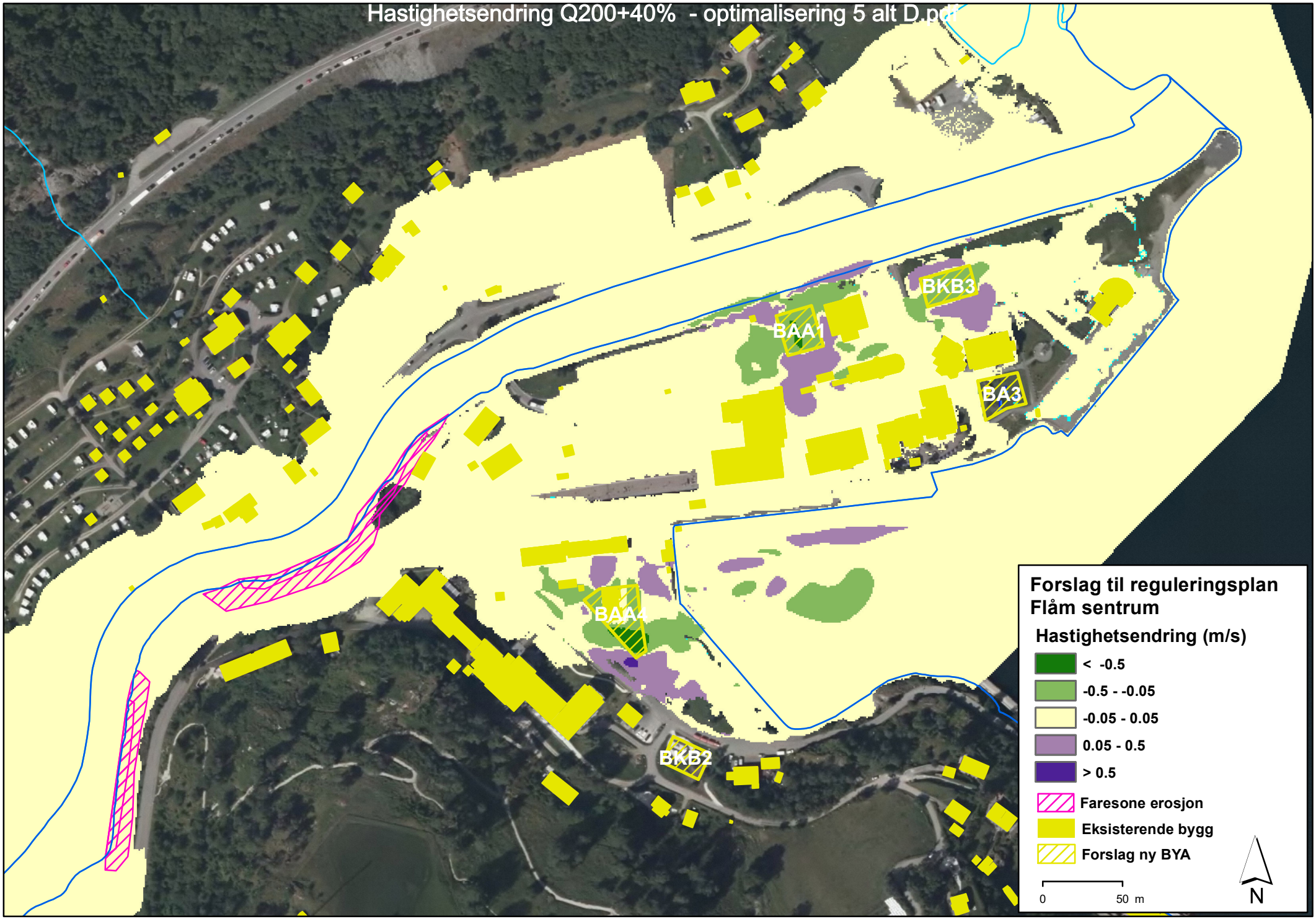


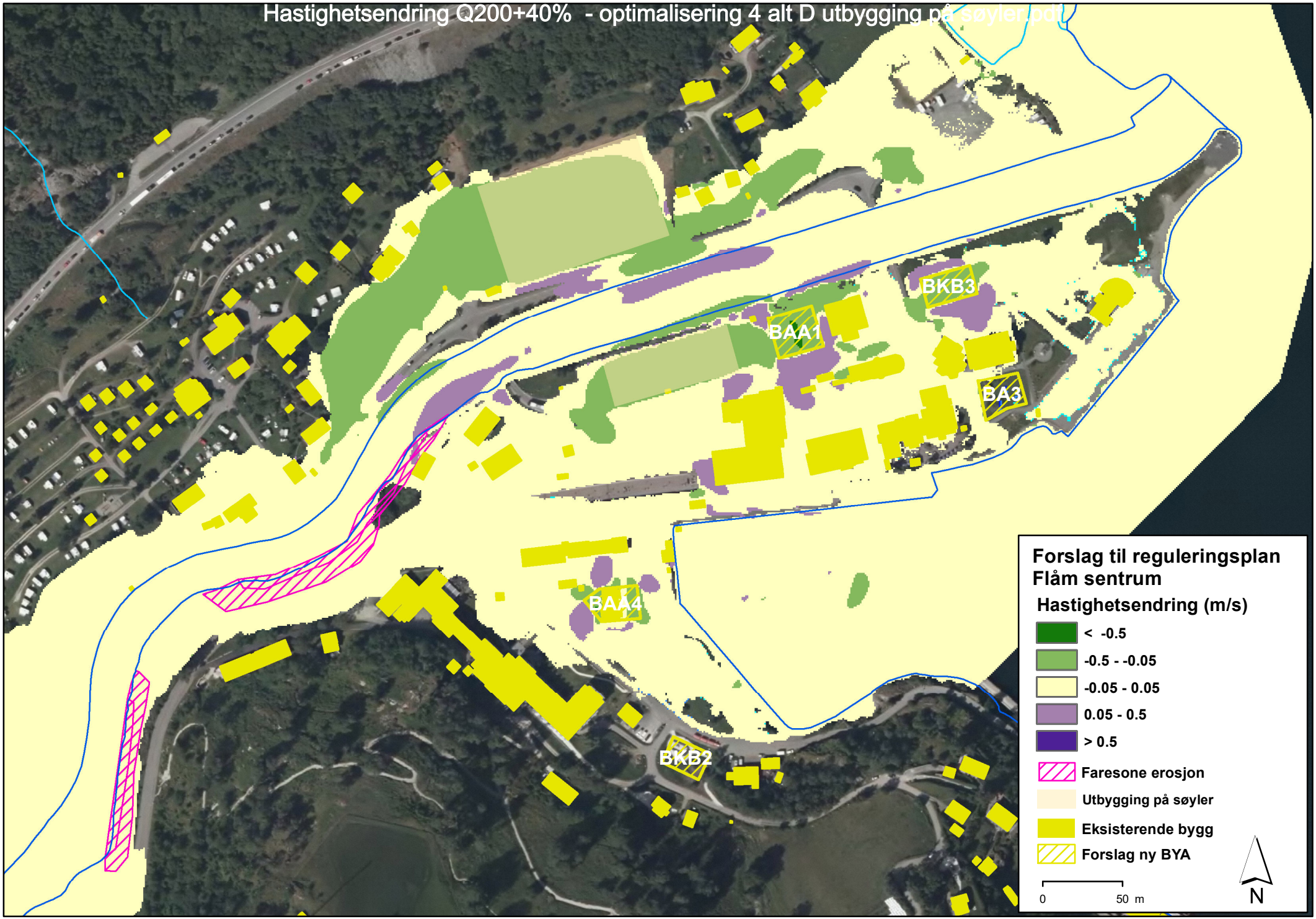
Hastighetsendring Q200+40% - BAA4 optimalisering 3 alt 6.pdf




Hastighetsendring Q200+40% - BAA4 optimalisering 3.prj
BAA3
BKB3
BAA1
BAA2
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N


Hastighetsendring Q200+40% - optimalisering 4 alt D.pdf
BKB3
BAA1
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N


Hastighetsendring Q200+40% - optimalisering 5 alt D.pdf
BKB3
BAA1
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N


Hastighetsendring Q200+40% - optimalisering 4 alt D utbygging på søyler odl
BKB3
BAA1
BA3
BAA4
BKB2
Forslag til reguleringsplan
Flåm sentrum
Hastighetsendring (m/s)
< -0.5
-0.5 - -0.05
-0.05 - 0.05
0.05 - 0.5
> 0.5
Faresone erosjon
Utbygging på søyler
Eksisterende bygg
Forslag ny BYA
0
50 m
N