

Til: Prosjektgruppen, KU for Bybanen Sentrum - Åsane

Fra: Ole-Magne Nøttveit

Dato: 2012-07-04

Havnivåstigning og Bybanen over Torget, Bryggen og Sandviken

KONKLUSJON

Notatet munner ut i følgende vurdering:

Det anbefales at tunellinnslag i sentrum legges over kote 401 cm over landkote 0/NN1954. Det vil være 1 ‰ årlig sannsynlighet for år dette nivået kan nåes av bølgeslag i 2100 (For Sandviken og Nyhavn gjelder hhv. 521 og 461 cm). Det åpnes for at banen legges på et lavere nivå, med driftsløsninger som håndterer midlertidig stengning av deler av linjen ved høy vannstand. En aktuell høyde kan være kote 200 cm over landkote 0/NN1954. Dette innebærer 1 ‰ årlig sannsynlighet for oversvømmelse pr 2050.

INNLEDNING

I planlegging av bybane Bergen-Åsane vil det være nødvendig å ta hensyn til estimert havnivåstigning for å finne høydekote hvor bane og tunnellinnslag kan legges uten å oversvømmes av tidevann og bølger i overskuelig fremtid. Dette notatet tar utgangspunkt i beregnet havnivåstigning som beskrevet i Multiconsults silingsrapport for Bybanen Bergen sentrum - Åsane (Multiconsult 2010). Prognosene er sjekket opp mot og oppdatert i forhold til gjeldende rapporter for havnivåstigning (Vasskog et al 2009,) supplert med relevante utredninger (Gundersen et al 2009, Gregersen et al 2010, Drange et al 2011, Simpson et al 2012). Videre er bølgehøyde kort beskrevet i notatet (Kvamme og Heistad 2006, Gregersen et al 2010). Utregning er gjort i henhold til *Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging* fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB 2011). Som faglig autoritet på havnivåstigning er Atle Nesje, professor ved Universitetet, også konsultert. Temaet er videre diskutert med Bjørn Christian Kvisvik, stipendiat ved Bjerknessenteret, og Gaute Salomonsen, Norconsult.

Sentrale spørsmål om havnivåstigning er hvor høyt, hvor ofte og når. De relevante områdene er Bergen sentrum, da særlig Vågsbunnen og Bryggen, men også Sandbrogaten, samt deler av Sandviken.

Notatet er disponert i følgende deler:

- Beregning av havnivå og sentrale begreper
- Utgangspunkt (Multiconsults silingsrapport)
- Oppdaterte tall
- Bølgepåvirkning
- Utregning etter DSBs modell
- Driftsopplegg ved flom
- Vurdering

BEREGNING AV HAVNIVÅ OG SENTRALE BEGREPER

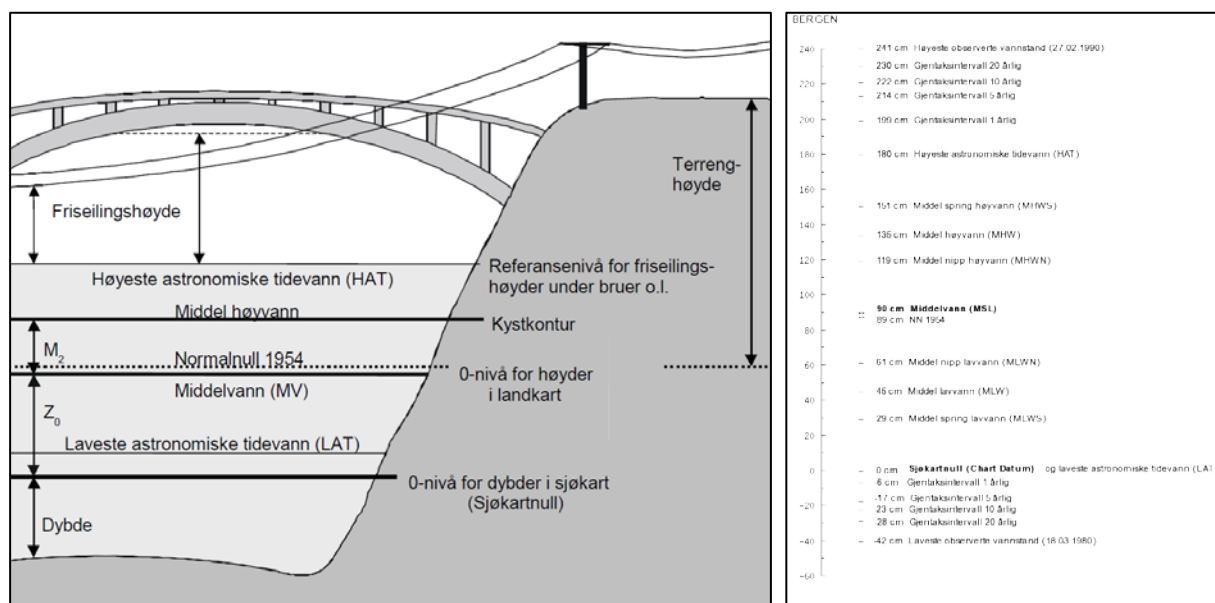
Økning i havnivå skyldes en rekke forskjellige faktorer. Særlig viktige er ismelting og termisk ekspansjon (vannets volum i forhold til temperatur). Mange steder vil landheving/senkning spille en rolle, i noen grad også saltinnhold i havvannet. Når en snakker om havnivåstigning for et gitt område, mener en som regel relativ havstigning, det vil si havnivåets stigning korrigert i forhold til landheving/senkning. Det vil være usikkerhet knyttet til en rekke av komponentene i modeller for havnivåstigning, som fremtidig temperatur (termisk ekspansjon), landheving/senkning etc. Forskning og datagrunnlag er dessuten stadig økende. Det anbefales derfor revidering av estimerte verdier hvert femte til tiende år (Vasskog et al 2009:20, Drange et al 2011:6).

Håndtering av havnivåstigning i planarbeid er beskrevet i veilederen *Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging* fra Klimatilpasningssekretariatet, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB 2011). Denne legger til grunn at en tar utgangspunkt i Direktoratets havnivåstigningsrapport *Havnivåstigning, Estimerer av framtidig havnivåstigning i Norske kystkommuner* (Vasskog et al 2009) for høyeste stormflonivå, legger til grov beregning av 1000-års gjentaksintervall, samt bølgepåvirkning (DSB 2011:13).

Følgende definisjoner og premisser er sentrale:

- **Springflo:** oppstår to dager etter fullmåne og nymåne (hver 14. dag), når gravitasjonskreftene fra månen og solen drar havet i samme retning. Tilsvarende høyeste astronomiske tidevann (HAT)
- **Værets virkning:** Pålandsvind og lavtrykk bidrar til økt vannstand. Summen av slike meteorologiske bidrag kan øke vannivået med over en meter.
- **Stormflo:** Sammenfall av springflo og økt vannstand pga værets virkning (I enkelte arbeider er stormflo definert som værets virkning uavhengig av springflo. Ved sammenfall kaller man da sammenfallet for maksimal flo).
- **Gjentaksintervall:** Hvor ofte en flo av samme størrelse opptrer i gjennomsnitt over en lang tidsrekke. En stormflo med 100 års intervall opptrer i gjennomsnitt hvert århundre. Tilsvarende er det 1 % årlig sjans for at en slik flo vil inntreffe en gang i året (likedan vil det være 5 % årlig sjans for at en flo med 20-års intervall vil inntreffe)

Referansenivå for havstigning er NN1954 (normalnull 1954). Denne ligger nær middelvannstand, og må ikke forveksles med sjøkartnull. For Bergens vedkommende er middelvannstand 1 cm høyere, og sjøkartnull 89 cm lavere, enn landkote 0/NN1954 (vannstand.no). Se for øvrig Figur 1.



Figur 1 Skisse over referansenivåer (Harsson, Sundsby et al 2009), og målinger for vannstand i Bergen. NB!: disse målingene er ut fra sjøkart 0, som er 89 cm lavere enn landkote 0 (NN1954)(vannstand.no)

Det blir ofte referert til stormflorekorden i Bergen 27. februar 1990, på 241 cm. Denne er oppgitt etter sjøkartnull, og tilsvarer 152 cm over landkote 0/NN 1954 (Figur 1). Den høye floen 12. januar 2007 var 220 cm over sjøkartnull, tilsvarende 131 cm over landkote 0 /Nn1954. På grunn av værrets virkning overskred floen beregnet astronomisk tidevann med 96 cm. Denne floen inntraff imidlertid i en nippperiode, ikke ved springflo. Den karakteriseres derfor ikke som stormflo.

For å relatere disse høydene til dagens situasjon, legges det til at høydenivå på dagens trasé er lavest ved Kaigaten, hvor den er 175 cm over landkote 0. Langs Bryggen ligger ytre fortauskant på kaien fra 139 cm ved et lavt punkt utenfor Nikolaikirkealmenning, og strekker seg opp mot 197 cm utenfor Bugården. Bilvei utenfor Bryggen ligger mellom 150 og 170 cm over landkote 0/NN1954

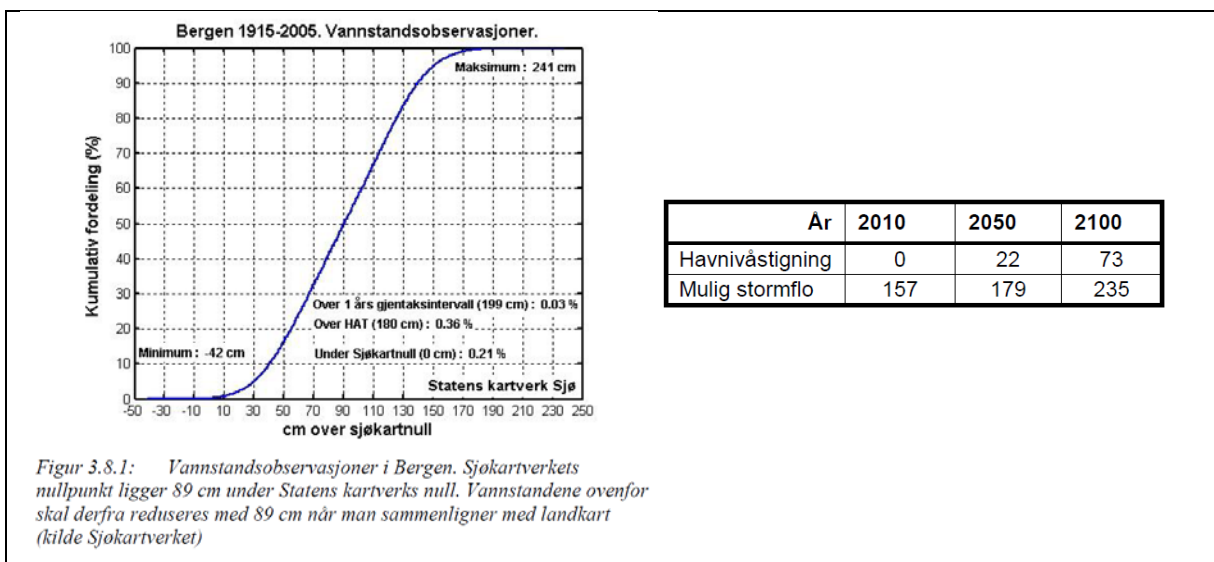


Figur 2 Stormflo på Bryggen i Bergen. Foto Jan M. Lillebø, Bergens Tidende

UTGANGSPUNKT - MULTICONSULTS SILINGSRAPPORT

Dette notatet tar utgangspunkt kap. 3.8 om Havnivå i Multiconsults silingsrapport *Bybane Bergen sentrum – Åsane*. Kapitlet er her gjengitt i sin helhet:

«Bjerknessenteret har utarbeidet prognoser for havnivåstigning. Det er noe avvik mellom Bjerknessenterets angivelse av mulig stormflo i dag og høyeste registrerte som 241 cm – 89 cm = 152 cm. Forskjellen på 7 cm betyr mindre enn usikkerheten i modellene. For Bybanen legger vi til grunn at skinnetopp og tunnelmunninger bør minimum på kote 2,35. I 2100 vil da stormfloen kunne stå opp til skinnetopp, men bæreevnen til fundamentet forutsettes utformet slik at banen kan trafikkere ved en slik vannstand. I forhold til målet om 99,9 % tilgjengelighet, kan kravet reduseres noe (ca. 30 cm) hvis man sier at det er akseptabelt at Bybanen ikke går ved ekstrem stormflo.»
 (Multiconsult 2010:22)



Figur 3 Illustrasjon og tabell til kap. 3.8 Havnivå, i silingsrapport

OPPDATERTE TALL

Den såkalte Bjerknesrapporten som ble lagt til grunn i forrige utredning er revidert i 2009 (Vasskog et al 2008, 2009). Tallene for Bergen har økt noe, og i den reviderte rapporten tar man også med usikkerhet relatert til havnivåstigning og overfører disse verdiene til beregnet stormflo (Vasskog mfl. 2009). For Bergens del er den estimerte usikkerheten angitt til -8 til +14 cm i 2050 og -20 til +35 cm i 2100.

Tabell 1 Oppdatert beregning av havnivå for Bergen

År	2050	2100
Havnivåstigning	23 (15–37) cm	73 (53–108) cm
Mulig stormflo	186 (178–200) cm	241 (221–276) cm

Etter DSBs veileder bør skinnetopp og tunnelmunninger legges til høyeste mulige stormflo, altså kote +2,76 (1000-årsintervall og bølgehøyde vil komme i tillegg) (DSB 2011:13).

Notatet «Oppdatert framskriving av havstigning langs norskekysten» (Drange et al 2011) er forfattet av flere av medforfatterne til Bjerknesrapporten (Vasskog et al 2009). I dette notatet inkluderes gravitasjonseffekten som begrenser effekt av avsmelting på Grønland, noe som kan gi lavere effekt i havstigning rundt Norge. De nye tallene for havnivå i Bergen i 2100 blir da mellom 20 og 110 cm, i motsetning til oppgitte 55-110 (i denne rapporten er tallene avrundet til nærmeste 5 cm)(Drange et al 2011:6). Denne rapporten reduserer ikke høyeste oppgitte havnivå, og dermed stormflo, men åpner for at havnivået ikke vil stige så mye som estimert i Bjerknesrapporten.

Dette nye notatet åpner for lavere havnivåstigning, og er i så måte mer i samsvar med tallene fra Kartverkets nye rapport *Estimates of Future Sea-Level Changes for Norway* som anslår relativ havstigning i Bergen til mellom 25 og 114 cm i 2090-99 relatert til middelvannstand 1980-1999 (Simpson et al 2012:68). Dette tilsvarer mellom 26 og 115 cm stigning relatert til landkote 0/NN1954.

I nyhetsbrev 1/2012 fra DSB presiseres det at *Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging* skal følges som før, det vil si at Bjerknesrapporten er den gjeldende. Igjen blir det påpekt kunnskap om havnivåstigning er under rask utvikling, og at offisielle råd og rapporter vil revideres på sikt.

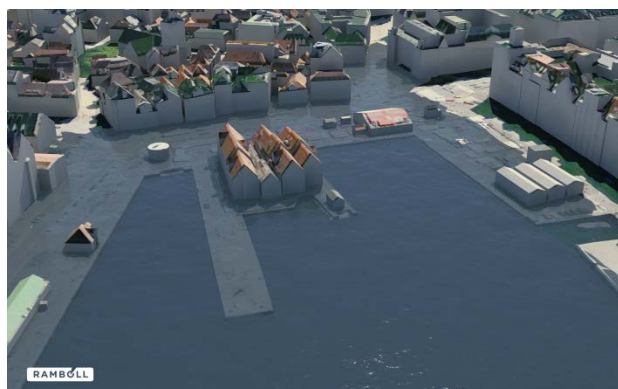
Prosjektrapporten *Regional havstigning* har en rekke terrengmodeller som viser områder i Bergen ved et stormflonivå satt til kote +2,37 (Gundersen et al 2009). Dette er 37 cm høyere enn høyeste estimat for stormflo i 2050, og 39 cm lavere enn høyeste estimat for stormflo i 2100 ifølge Bjerknesrapporten (Vasskog mfl. 2009). Illustrasjonene er gjengitt her for å vise effekt i aktuelle områder for bybanen (Figur 4 - Figur 8).



Figur 4 Vågen i Bergen med vannstand kote +2,37 m



Figur 5 Utsnitt: Bryggen med vannstand kote +2,37 m



Figur 6 Utsnitt: Vågsbunnen og Nordre del av Bryggen med vannstand kote +2,37 m. Merk at vannet går inn Sandbrogaten, men også kommer inn over Koengen



Figur 7 Utsnitt: Sandviken med vannstand kote +2,37 m



Figur 8 Illustrasjon viser at også deler av eksisterende trasé (omtrentlig inntegnet) vil oversvømmes ved vannstand kote + 2,37 m

BØLGEPÅVIRKNING

Metrologisk institutt utarbeidet rapporten *Bølger og vannstand i Bergen kommune* på oppdrag fra kommunen i 2006 (Kvamme og Reistad 2006).

Rapporten viser 100 års intervaller for signifikant bølgehøyde (middelverdi for høyeste tredjedel av bølger innenfor et gitt tidsrom), maksimal høyde av enkeltbølger, og bølgetopp relatert til vannspeil. Disse deles i kategori 1 til 5, etter økende høyde. Strandlinjen i Bergen kommune er delt inn i soner med forskjellige kategorier.

Vågen i Bergen faller inn under laveste kategori, hvor høyeste signifikante bølgehøyde er mellom 0 og 0,9 m. Maksimal høyde av enkeltbølger vil da komme mellom 0-1,35 m og 0-1,8 m. Sett i forhold til vannspeil tilsvarer dette bølge topp på 0-1 m, men klatring oppover land og konstruksjonen kommer i tillegg. Dette tilsvarer 1 meter høye bølger i Vågen i et 100 års intervall, eller 1 % sannsynlighet for 1 meter høye bølger innenfor et år.

Store deler av Sandviken faller innenfor kategori 3, hvor høyeste signifikante bølgehøyde er mellom 1,5 og 1,9 m. Sett i forhold til vannspeil tilsvarer dette bølge topp på 1,7 til 2,2 m, men klatring oppover land og konstruksjonen kommer i tillegg.

UTREGNING ETTER DSBs MODELL

I DSBs veileder *Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging* presenteres følgende modell for utregning (DSB 2011):

høyeste stormflonivå (2100)+ beregning av 1000-års gjentaksintervall + bølgepåvirkning

For Bryggen gir dette følgende tall:

$$276 + 25 + 100 = 401 \text{ cm over NN1954}$$

For Sandviken gir dette følgende tall

$$276 + 25 + 220 = 521 \text{ cm over NN1954}$$

Nyhavn i Sandviken har kategori 2 i bølgehøyde, og får følgende utregning:

$$276 + 25 + 160 = 461 \text{ cm over NN1954}$$

Disse verdiene er gitt etter 1000 års intervall og forutsetter at stormfloen sammenfaller med maksimum bølgehøyde. Verdiene kan omregnes til andre gjentaksintervaller (DSB 2011:7-9) som vist i Tabell 2.

Tabell 2 Områdene med høyeste flonivå (2100) + bølgehøyde, med forskjellige gjentaksintervall

År 2100	Gjentaksintervall 20 år (5 % årlig sannsynlighet)	Gjentaksintervall 100 år (1 % årlig sannsynlighet)	Gjentaksintervall 200 år (5 ‰ årlig sannsynlighet)	Gjentaksintervall 1000 år (1 ‰ årlig sannsynlighet)
Bryggen	361	376	386	401
Sandviken	481	496	506	521
Nyhavn	421	436	446	461

Tilsvarende kan en se bort fra bølgehøyde og beregne gjentaksintervall for hvor ofte disse områdene oversvømmes, som vist i Tabell 3. Denne tabellen viser hvor ofte en kan regne med at en kote er oversvømt av flo, men tar ikke hensyn til bølgehøyde.

Tabell 3 Områdene med gjentaksintervall for flonivå (2100). Bølgepåvirkning er ikke inkludert

År 2100	Gjentaksintervall 20 år	Gjentaksintervall 100 år	Gjentaksintervall 200 år	Gjentaksintervall 1000 år
Bryggen	261	276	286	301
Sandviken	261	276	286	301
Nyhavn	261	276	286	301

DRIFTSOPPLEGG VED FLOM

Bybanevognenes høyde over bakken er 15 cm. Det er også høyden opp til 3-fase vekselstrømsmotor. Vognene har magnet/skivebrems mellom hjulene. Dette gjør at vognene kan kjøre sakte med 10 cm vannstand over skinner. Som utgangspunkt bør vannstand over skinnetopp unngås.

Ved flom og vannstand over skinnetopp på Bryggen eller ved Fisketorget, bør det etableres et driftsopplegg i slike situasjoner for alternativer som har trase over Bryggen. Dette gjelder også ved spesielle anledninger hvor det ikke er ønskelig med noe trafikk over Bryggen som f.eks. på 17. mai og andre arrangementer. Bybanen kjører i dag ikke i Kaigaten på 17. mai. Da stopper den og vender ved Nonneseter. Det er etablert en sporveksel der nettopp for dette formålet («17. mai vekselen»). I nord kan tilsvarende etableres i øvre del av Sandbrogaten eller f.eks. ved Slaktehustomten for trasealternativer som går over Bryggen. I de timene hvor vannet står for høyt, vil banen i sør og i nord stoppe ved disse holdeplassene for alternativ betjening av trafikk mellom disse.

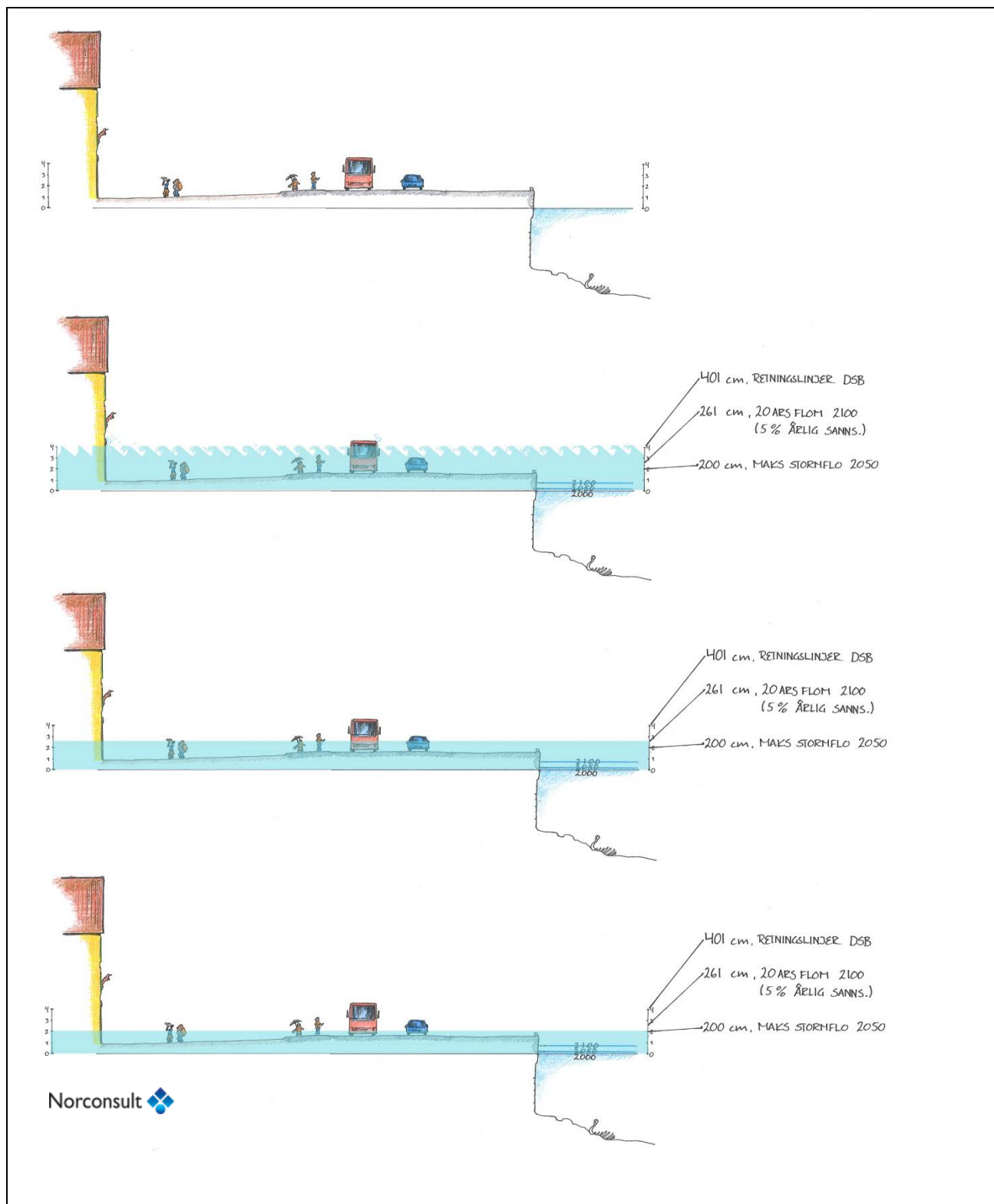
VURDERING

Om en legger DSBs modell til grunn, bør bybane og tunnellinislag legges på kote +4,01 i sentrum, +5,21 i Sandviken og +4,61 i Nyhavn. I år 2100 vil det da være 1 % årlig sannsynlighet for at bølger kan nå banen (høyeste stormflonivå vil være minst en meter lavere). Disse estimatene er henholdsvis 2,26 m, 3,46 m og 2,86 m høyere enn hva dagens trasé ligger på laveste punkt i Kaigaten (+1,75 m). Det er derfor flere argumenter for å redusere denne høyden:

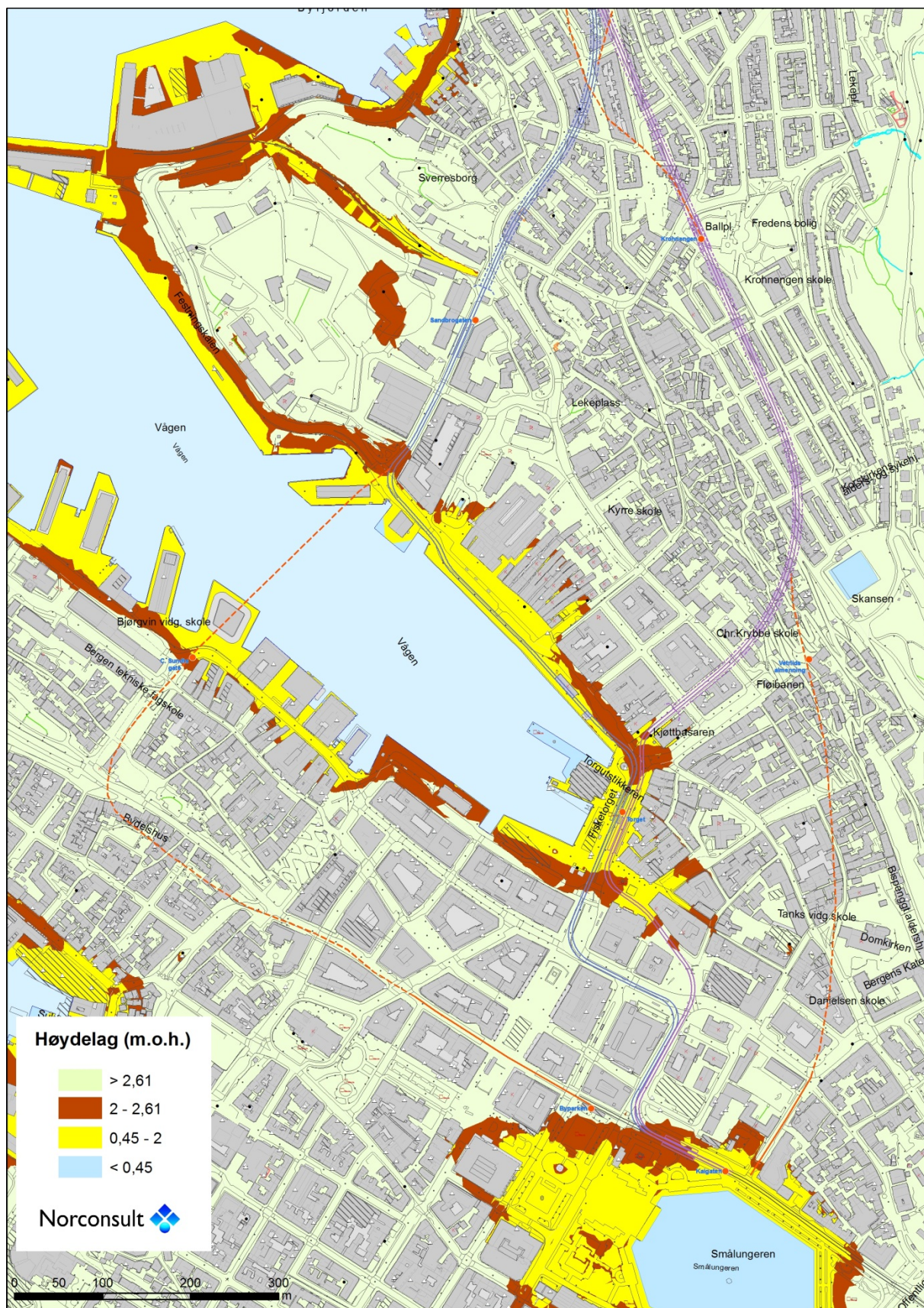
- En kan akseptere en driftsløsning hvor banen ikke vil kunne gå gjennom sentrum ved for høy vannstand. Den kan snu ved Nonneseter for Bergen sør (som i dag), og ved et nordligere stopp for bergene Nord (f. eks Slakthustomten eller Sandbrogaten).
- Ut fra forventet levetid for bybane med tilhørende anlegg, bør det vurderes hvor langt tidsperspektiv som skal legges til grunn. Estimaten er worst-case scenarioer for år 2100. I perioden frem til dette vil havnivået ligge lavere, og scenarioene vil ikke kunne inntreffe. En 100-årsflom som kan inntreffe med 1 % sannsynlighet i 2100 vil ikke kunne inntreffe i dag, heller ikke i 2050. En 20-års flo vil med 5 % sannsynlighet kunne inntreffe i 2100, og nå opptil 261 cm over landkote 0 (NN 1954). Dette er 109 cm høyere enn hittil høyeste målte flo i Bergen (152 cm i 1990). Det er også 61 cm høyere enn estimert 100-årsstormflo for 2050, altså et nivå som det er 1 % sannsynlighet at vil inntreffe i 2050. Om vi legger til grunn 5 % årlig sannsynlighet for stopp i 2100, vil flonivået på 261 cm over landkote 0 ikke inntreffe før en gang etter 2050, men deretter kunne inntreffe med økende sannsynlighet opp mot 5 % årlig til 2100.
- Når prognosene for havnivåøkning og stormflonivåer slår til, vil dette ha alvorlige og omfattende konsekvenser for store deler av Bergen sentrum, mht bebyggelse og infrastruktur. Dette vil kreve overordnede løsninger for hele Bergen sentrum. Det er da et spørsmål om bybanen skal planlegges som del av Bergen sentrum, eller «alene», i forhold til DSBs modell.

Flere av disse momentene er forsøkt visualisert i Figur 9, som viser et snitt av Bryggen i flere av scenarioene som er beskrevet over. Illustrasjonen viser også Bryggen ved vannstand 200 cm over landkote 0/NN1954. Dette er høyeste estimat for beregnet stormflo i 2050 (1 % årlig sannsynlighet, bølger ikke medregnet).

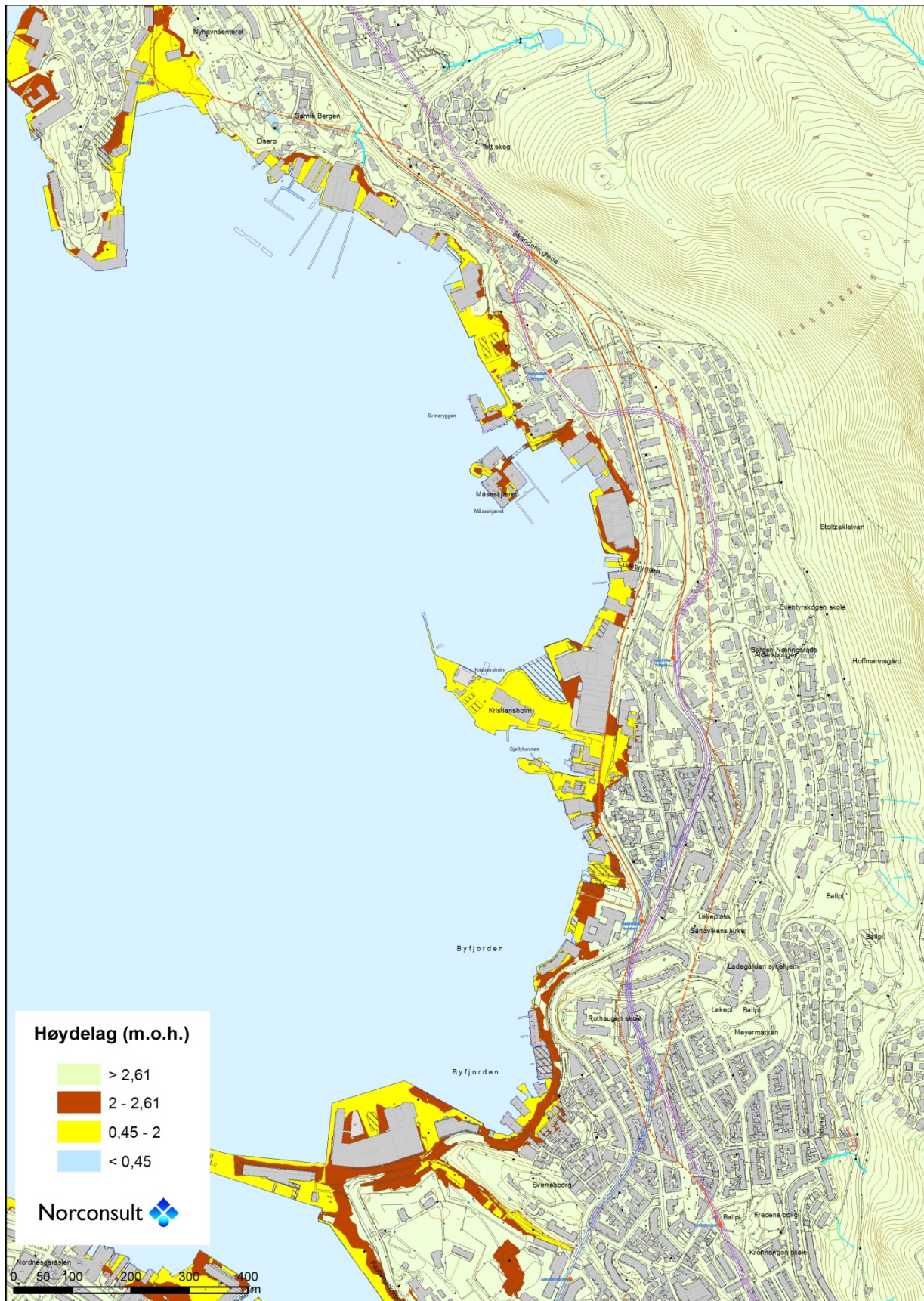
Vannstand 200 cm og 261 cm over landkote 0/NN1954 er også illustrert for Bergen sentrum (Figur 10), og for Sandviken med Nyhavn (Figur 11).



Figur 9 Snitt av Bryggen. Øverste bilde viser dagen situasjon. Deretter følger et bilde med beregnet vannstand etter DSBs modell (1 % årlig sannsynlighet pr. 2100, inkludert bølger), og videre vannstand på 261 cm (5 % årlig sannsynlighet pr 2100, men ikke inkludert bølger). Nederst er vannstand på 200 cm, beregnet til 1 % årlig sannsynlighet i 2050, bølger ikke medregnet.



Figur 10 Bergen sentrum med høydene 200 cm og 261 cm over landkote 0/NN1954



Figur 11 Sandviken med Nyhavn med høydene 200 cm og 261 cm over landkote 0/NN1954

Det anbefales at tunellinnslag i sentrum legges over kote 401 cm over landkote 0/NN1954. Det vil være 1 % årlig sannsynlighet for år dette nivået kan nås av bølgeslag i 2100 (For Sandviken og Nyhavn gjelder hhv. 521 og 461 cm). Det åpnes for at banen legges på et lavere nivå, med driftsløsninger som håndterer midlertidig stengning av deler av linjen ved høy vannstand. En aktuell høyde kan være kote 200 cm over landkote 0/NN1954. Dette innebærer 1 % årlig sannsynlighet for oversvømmelse pr 2050.

Bergen, 2012-07-04

Ole-Magne Nøttveit

Kilder

Drange, H., Nilsen, J. E. Ø., Richter, K. et Nesje, A. 2011: *Oppdatert framskrivning av havstigning langs Norskekysten*

DSB 2011: *Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Klimatilpasningssekretariatet

DSB 2012: *Nyhetsbrev nr. 1/2012: Havnivåstigning – en presisering*

Gregersen, T., Rommetveit, A., Duun, H. P. 2010: *Regional planretningsline – Byggjehøgde over havnivå*. Hordaland Fylkeskommune. Norconsult oppdragsnr. 5102313

Gundersen, G. A. (prosjektleder) 2009: *Regional Havstigning. Prosjektrapport*. Grieg Foundation, Visjon Vest og CG Rieber Fondene

Harsson, Sundsby et al 2009: Norges offisielle HØYDESYSTEMER og REFERANSENIVÅER (Versjon 2.1 – 1. desember 2009). Statens kartverk

Kvamme, D. og Reistad, M 2006: *Bølger og vannstand i Bergen Kommune*. Meteorologisk Institutt. Bergen kommune

Multiconsult 2010: *Bybanen. Bergen sentrum – Åsane. Traséutvikling – silingsrapport*. Oppdragsgiver: Bergen kommune

Simpson, M., Breili, K., Kierulf, H. P., Lysaker, D., Ouassou, M. and Haug, E. (2012). *Estimates of Future Sea-Level Changes for Norway*. Technical Report of the Norwegian Mapping Authority (Kartverket)

Statens kartverk sjø: <http://Vannstand.no/>

Vasskog, K. med Drange, H. og Nesje, A. 2008. *Havnivåstigning. Estimer av fremtidig havnivåstigning i norske Kystkommuner*. Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (Bjerknesrapporten)

Vasskog, K. med Drange, H. og Nesje, A. 2009: *Havnivåstigning, Estimer av framtidig havnivåstigning i Norske kystkommuner*. Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, september 2009, Tønsberg (Bjerknesrapporten 2009)