



Statens vegvesen

Flomrisiko og konsekvensanalyse

Pilotprosjekt E18 ved Hoffsbekken

VD rapport

Vegdirektoratet

Nr.))



Vegdirektoratet

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Geoteknikk og skred

Desember 2011

VD rapport

Tittel
Flomrisiko og konsekvensanalyse
Undertittel
Pilotprosjekt E18 ved Hoffsbekken
Forfatter
Linmei Nie, SINTEF Byggforsk
Avdeling
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Seksjon
Geoteknikk og skred
Prosjektnummer
601995
Rapportnummer
Nr. 55
Prosjektleder
Gordana Petkovic
Emneord
Klima og transport, klimatilpasning, stikkrenne, kulvert, drenering, nedbørdfelt, urban

Sammendrag

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet "Klima og transport", etatsprosjekt 2007-2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold.

Rapporten tilhører delprosjekt 3 "Flom og erosjonssikring" og inneholder en hydraulisk kapasitetsberegnning for en kulvert i Oslo, under E18 ved Hoffsbekken.

Effekten av klimaendring og urbanisering er beregnet og kulverten vurderes som flomutsatt. Kulvertens kapasitet er ikke stor nok til en 20 års flom i Hoffsbekken.

Antall sider 35
Desember 2011

VD report

Title
Flood risk an impact assessment
Subtitle
Pilot project E18 Hoffsbekken
Author
Linmei Nie, SINTEF Byggforsk
Department
Traffic Safety, Environment and Technology Department
Section
Geotechnical Section
Project number
601995
Report number
Nr. 55
Project manager
Gordana Petkovic
Key words
Climate and Transport, adaption to climate change, culverts, drainage, catchment, urban

Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D programme "Climate and Transport", carried out by the Norwegian Public Roads Administration 2007-2010. The main objectives of the programme are to investigate the effect of climate change on the road network and recommend remedial actions concerning planning, design, construction and maintenance.

The work presented in this report is a part of project no. 3 "Flood and Erosion Prevention". It presents the result of a hydraulic capacity calculation for a culvert in Oslo, road E18 at Hoffsbekken. The effect of climate change and urbanisation were calculated. The culvert is considered exposed to flooding. The capacity is not sufficient for a 20-year flood in Hoffsbekken.

Pages 35
December 2011

Forord

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 – 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for prosjektering, bygging og driftning av veg som svar på endrede klimaforhold.

Klimaforskningen konkluderer med at vi etter all sannsynlighet vil få endring til et varmere klima, som antas å føre til en økning i nedbørmengde og intensitet, parallelt med økt stormfrekvens og stormstyrke. Effektiviteten og sikkerheten av vegnettet påvirkes av nedbør, vind og temperaturforholdene. Dette er elementer som har innvirkning på steinsprang, fjellskred og snøskred, overflatevann, flom og erosjon, frysing og tining samt snø og is på vegbanen.

'Klima og transport' jobber etter beskrivelser av klimaendringer og deres effekt på transportsektoren slik de er nedfelt i følgende dokumenter:

- NTP-rapport "Virkninger av klimaendringer for transportsektoren", laget av en tverretatlig gruppe i transportsektoren: Jan Otto Larsen (leder) og Pål Rosland (sekretær), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjell Arne Skoglund, Jernbaneverket, Eivind Johnsen, Kystverket og Olav Mosvold Larsen, Avinor.
- Vedleggsrapport "Regionale klimascenarioer for transportsektoren i Norge – en oppdatering", av Jan Erik Haugen og Jens Debernard, Det Norske Meteorologiske institutt, februar 2007. (Rapporten er basert på scenarioer fra RegClim prosjektet.)
- "Klima i Norge 2100", utarbeidet for NOU Klimatilpassing av meteorologisk institutt, Bjerknessenteret, Nansensenteret, Havforskningsinstituttet og NVE, juni 2009.

'Klima og transport' består av følgende delprosjekter:

- Dp 1 Premisser og implementering
- Dp 2 Innsamling, lagring og bruk av data
- Dp 3 Flom- og erosjonssikring
- Dp 4 Snø-, stein-, jord- og flomskred
- Dp 5 Tilstandsutvikling på vegnettet
- Dp 6 Konsekvenser for vinterdrift
- Dp 7 Sårbarhet og beredskap

Prosjektleder for 'Klima og transport' er Gordana Petkovic og prosjektsekretær Reidun Svendsen. Mer informasjon om prosjektet: <http://www.vegvesen.no/klimaogtransport>

Delprosjekt 3, som denne rapporten hører til, studerer prosjekterings- og vedlikeholdstiltak og deres tilpasning til klimabildelet, både gjennom dimensjonering (av vegen eller tiltak) og ved endringer i kriterier for valg av løsninger.

Leder for delprosjektet er Frode Oset, Vegdirektoratet. For mer informasjon om delprosjekt 3, se Vedlegg 1.

Statens vegvesen og Sintef Byggforsk inngikk et samarbeid om overvannshåndtering i urbane strøk. Denne rapporten er utarbeidet av Linmei Nie, Sintef Byggforsk, og inneholder en pilotstudie - vurdering av kulvert under E18 ved Hoffsbekken.

For oversikt over andre prosjektrapporter fra 'Klima og transport', se vedlegg 2.

Rapportnummer SBF 2011 F0097 - Fortrolig

Rapport

Flomrisiko og konsekvensanalyser

Pilotprosjekt- Kulvert under E18 ved Hoffsbekken

Forfatter

Linmei Nie



SINTEF Byggforsk
Postadresse:
Postboks 124 Blindern
0314 Oslo
Sentralbord: 73593000
Telefaks: 22699438
byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretakregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Flomrisiko og konsekvensanalyser

Pilotprosjekt – Kulvert under E18 ved Hoffsbekken

EMNEORD:	VERSJON	DATO
Emneord:	Endelig	2011-11-17
Hydraulisk kapasitet	FORFATTER(E)	
Kulvert	Linmei Nie	
Flomrisiko	OPPDRAUGSGIVER(E)	
Klimaendring	Statens vegvesen	OPPDRAUGSGIVERS REF.
Urbanisering		Gordana Petkovic
Infrastruktur (E18)	PROSJEKTNR	ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
Hoffsbekken	3C069901	35

SAMMENDRAG

Denne rapporten beskriver et prosjekt for Statens vegvesen under forskningsprosjektet "Klima og transport". Hydraulisk kapasitet for kulverten under E18 ved Hoffsbekken er undersøkt. Beregningene for dagens klima viser at (1) den gamle kulverten med diameter 2,7 m er den hydrauliske flaskehalsen for hele kulvertsystemet. Vannføringen ved 20 års flom i Hoffselva vil være større enn kulvertenes kapasitet. Siden det ikke finnes andre avløp, vil dette medføre oversvømmelser i området ovenfor kulvertenes innløp. (2) Høy vannstand i Bestumkilen (Oslofjorden) har betydelig påvirkning på kapasitet av kulvert og flomrisiko på E18. (3) Kapasiteten av tunnelen under Skøyen jernbanestasjon er større kapasitet enn kulverten, men mindre enn oppstrøms Hoffselva. Flomrisikoen er større nedstrøms tunnelen enn ovenfor.

Effekten av urbanisering og klimaendring er vurdert med en antatt øking av tette flater i nedbørfeltet opp til 50 %, endring av nedbør fra en nedgang på 22 % til en økning på 55 % og havstigning i Oslofjorden i henhold til klima scenarior for 2050 og 2100. Beregninger viser at vannføring i dagens klima kan endres fra 20 % mindre til 133 % høyere enn i dag.

Tiltak bør vurderes sett i lys av viktigheten av kulverten og de potensielt store konsekvenser oversvømmelse/flom vil kunne medføre. Det pekes på ulike tiltak og en kommer med anbefalinger.

UTARBEIDET AV

Linmei Nie

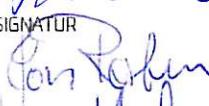
SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Sveinung Sægrov, Jon Røstum

SIGNATUR



GODKJENT AV

Herman Helness

SIGNATUR



RAPPORTNR

SBF2011F0097

ISBN

GRADERING

Fortrolig

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1 INNLEDNING	3
2 OPPSUMMERING AV TIDLIGERE PROSJEKTER OG INFORMASJON.....	4
2.1 Informasjon om kulverten under E18 ved Sjølyst og problemstillingen.....	4
2.2 Retningslinjer for flomsikkerhet	5
3 BEREGNING AV HYDRAULISK KAPASITET FOR HOFFSELVA OG KULVERT UNDER E18.....	6
3.1 Nedbørfelt for Hoffselva	6
3.2 Beregning av ekstrem vannføring for nedbørfelt til E18-Hoffsbekken.....	7
3.3 Beregning av hydraulisk kapasitet i Hoffsbekken og eksisterende kulvert under E18	8
3.3.1 Modelleringsområde	8
3.3.2 HecRas modellen	8
3.4 Kilder til usikkerhet i beregningene	10
3.4.1 Beregningsalternativ 1 – ingen oppstuvning fra fjorden.....	12
3.4.2 Beregningsalternativ 2- høy vannstand i fjorden	14
3.4.3 Beregningsalternativ 3- Ingen oppstuvning fra fjorden men en også inkluderer tunnel under Skøyen jernbanestasjon.....	16
3.4.4 Beregningsalternativ 4- - Høy vannstand i fjorden og tunnel under Skøyen jernbanestasjon inkludert.....	18
4 EFFEKTEN AV UΤBYGGING OG KLIMAENDRINGER PÅ HOFFSELVA OG E18-KULVERT.....	21
4.1 Effekter av utbygging i Hoffselva nedbørfelt	21
4.2 Klimaendringsscenarier.....	22
4.3 Vurdering av økt ekstremvannføring ved endret klima i scenario 2050 og 2100.....	23
5 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	25
5.1 Konklusjoner	25
5.2 Anbefalinger.....	26
6 LITTERATUR	27
Vedlegg A. Tegning K-10 og K-50.....	28
Vedlegg B. Notat av Norconsult - Befaring av Hoffsbekken kulvert 10.02.2005.....	30
Vedlegg C. Vannstand i Oslofjorden med referansenivå	33
Vedlegg D. Høyde definisjon i Oslo	34

1 INNLEDNING

"Klima og transport" er et fireårig forsknings- og utviklingsprosjekt i Statens vegvesen. Målet med delprosjekt "Flom- og erosjonssikring" er å se på betydningen av klimaendringer på planlegging, prosjektering, drift og vedlikehold av drenskonstruksjoner, erosjonssikring mot strømmende vann og bølger, og miljøeffekt av endret klima. I delprosjektet har Statens vegvesen startet utarbeidelse av en veileder for overvannshåndtering, som inkluderer temaene fordrøyning, drenering og vanngjennomløp.

I noen casestudier (pilotprosjekter) har Statens vegvesen sett på effektiv kapasitet av eksisterende konstruksjoner og gjort ny beregning av *nødvendig* kapasitet. En større tilstandsvurdering av stikkrenner på en del av vegvesenets demonstrasjonsstrekning E136 Ålesund-Dombås ble utført sommeren 2009, med påfølgende kapasitetsberegninger (Petkovic, 2010).

Et emne som "Klima og transport" ikke har dekket godt nok er **overvannshåndtering i urbane strøk**, dvs. situasjoner der avrenningen for det meste skjer på tette flater og der det er fare for oppstiving ved intense nedbørepisoder.

Et tilfelle med identifiserte problemer er kulverten som leder Hoffsbekken under E18, før bekken renner ut i Bestumkilen. Der går flomvannet inn på E18 ved intens nedbør noe som er farlig for trafikken. Det ønskes derfor en undersøkelse av hvilke konsekvenser urbanisering og klimaendring kan få for kulverten.

Dette prosjektet har hatt følgende innhold:

- Beregning av hydraulisk kapasitet til eksisterende kulvert
- Beregning av hydraulisk kapasitet til tunnelen under Skøyen jernbane stasjon og eventuell innvirkning på flomrisiko i området mellom tunellen og kulverten
- Vurdering av økt vannføring grunn av økt urbanisering og effekten av klimaendring inkludert konsekvensene dette får for kulverten
- Vurdering av konsekvenser på grunn av havstigning som følge av fremtidige klimaendringer
- Kort vurdering av mulige tiltak og forslag til videre arbeid

Forfatteren vil takke følgende personer som har gitt nødvendig informasjon for å utføre dette prosjektet:

- Jørn V. Holm og Einar Mørkhus ved Norconsult for Norconsult prosjekt i 2003 og 2005;
- Bent Asbjørnhus ved BMO entreprenør AS i Kongsberg for måleinformasjon om den gamle kulverten;
- Helge Drange ved Universitet i Bergen og Bjerknessenteret for klimaforskning om havstigning;
- Tor Tørresen ved Statens kartverk sjø i Stavanger for informasjon om havnivå med ulike gjentaksintervall
- Annie Xiuqin Chen, Ulf Fredriksen, og Anna Lena Beschorner i Oslo VAV for digital informasjon og diskusjon om problemstillinger i prosjektområdet.
- Diverse informasjon fra Statens vegvesen

2 OPPSUMMERING AV TIDLIGERE PROSJEKTER OG INFORMASJON

2.1 Informasjon om kulverten under E18 ved Sjølyst og problemstillingen

Den gamle kulverten som ble lagt i 1959 har en diameter 2.7 m (ikke 3.2 m som det framgår av tegning K-50 ([Vedlegg A](#))) og lengde 38 m, ifølge målinger av Norconsult (Markhus, 2003; 2005). I 2003 utførte Norconsult analyser av hydraulisk kapasitet ved ekstrem vannføring for denne kulverten, og en analyse av hydraulisk kapasitet ved ulike utbedringsalternativer (Markhus, 2003). Markhus konkluderte at kulverten hadde en kapasitet på ca. 15 m³/s ved et høyvann på 1.5 m i Bestumkilen. Dette tilsvarte en retourperiode for ekstrem vannføring på 30 år. Dette var ikke tilstrekkelig, da kulvertene i henhold til gjeldende retningslinjer skulle dimensjoneres for ekstrem vannføring med 200 års retourperiode. Fire alternativer ble foreslått for utbedring (Markhus, 2003).

Basert på forslagene ble rehabilitering utført i 2005, og Markhus utførte en ny måling sammen med en inspeksjon i løpet av byggingen ([Vedlegg B](#)). Ifølge Markhus ble innløpsenden av kulverten oppgradert med to Svalbardrør med diameter 3.0 m og 1.8 m oppstrøms den gamle kulverten. Lengden på røret med diameter 1.8 m ble målt til 24.7 m. Røret med diameter 3.0 m er ca. 1 m lengre, dvs. 25.7 m (se skisse i [Vedlegg B](#)). De to nødoverløpene på skissen ble blendet, og er derfor ikke i bruk. Der Svalbardrørene munner ut i en plassstøpt, rektangulær betongkulvert, skulle overkant av rørene være på ca. samme nivå. I virkeligheten er overkant av det minste røret ca. 0.4 m lavere enn overkant av det største. Underkanten av røret med diameter 1.8 m ligger ca. 0.8 m høyere enn underkanten av røret med diameter 3.0 m som antagelig ligger på bunn av firkantkulverten. Den gamle kulverten med diameter 2.7 m hadde en lengde på ca. 35 m (målt av Markhus 23. juli 2003). Den nye målingen 10. februar 2005 viste at lengden av den gamle kulverten er 30.5 m. Det vil si at 4.5 m av den nederste delen er kappet og erstattet med et nytt Svalbardrør med diameter 3.0 m. I tillegg ble kulverten forlenget ytterligere 21.6 m (målt til utløpet i taket av kulverten) ([Vedlegg B](#)).

Kulverten som leder Hoffsbekken under E18 ved Sjølyst består i dag derfor av tre seksjoner:

- En 2-rørskulvert med diametere på henholdsvis 3.0 m og 1.8 m
- En 1-rørskulvert med diameter 2.7 m
- En 1-rørskulvert med diameter 3.0 m

Kulvertens totale lengde er 92.3 m ([Vedlegg B](#)).

En dykkerinspeksjon av den gamle kulverten under E18 ble utført av Ole Petter Forfot ved BMO Entreprenør AS 2011-02-22 ([Forfot, 2011](#)). Hensikten med inspeksjonen var å sjekke det eksisterende rørets beskaffenhet, tversnitt og hvor mye masser som var i bunnen av røret. Målingen viste at de første 18 m fra innløpet hadde tilnærmet ingen masser i bunnen av røret. Utløpsenden av røret hadde et 5-15 cm tykt lag av masser i bunnen av røret, tykkest de siste 10 m mot utløpet. Masser i bunn av røret vil redusere kulvertens hydrauliske kapasitet.

I følge Statens vegvesen er det observert flomvann på E18 i perioder med intens nedbør eller høyvann i Bestumkilen. Dette hendte blant annet våren 2011. SINTEF er ikke kjent med at en har informasjon om målt flomvannstand, bilder eller datoer knyttet til disse hendelsene.

2.2 Retningslinjer for flomsikkerhet

Retningslinjer fra NVE for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag, anbefaler at sikkerhetsnivået mot oversvømmelse og utsig for infrastruktur er i sikkerhetsklasse F2. Kulverten bør dimensjoneres for en vannføring tilsvarende en flom med 200 års gjentaksintervall. I flomutsatte områder der det under flom vil være stor dybde eller sterkt strøm bør det være et høyere sikkerhetsnivå enn 200-års flom. Dersom store områder vil bli berørt av flom bør sikkerheten vurderes ut fra en 1000 års flom (NVE, 2008).

E18 ved Sjølyst bør anses som infrastruktur av stor samfunnsmessig betydning, og vurderingen bør derfor baseres på en 200 års flom og sikkerhetsklasse F2 eller høyere.

Ifølge Statens vegvesens håndbok 018 for vegbygging 403.1 "funksjonskrav, for sikkerhetsnivå av kulvert, innløp og utløp, nedføringsrenne uten mulighet for stige høyde eller alternativt flomløp" bør minimum returperiode være 100 år ved beregning av dimensjonerende avrenning og flomvannstand (Statens vegvesen, 2005).

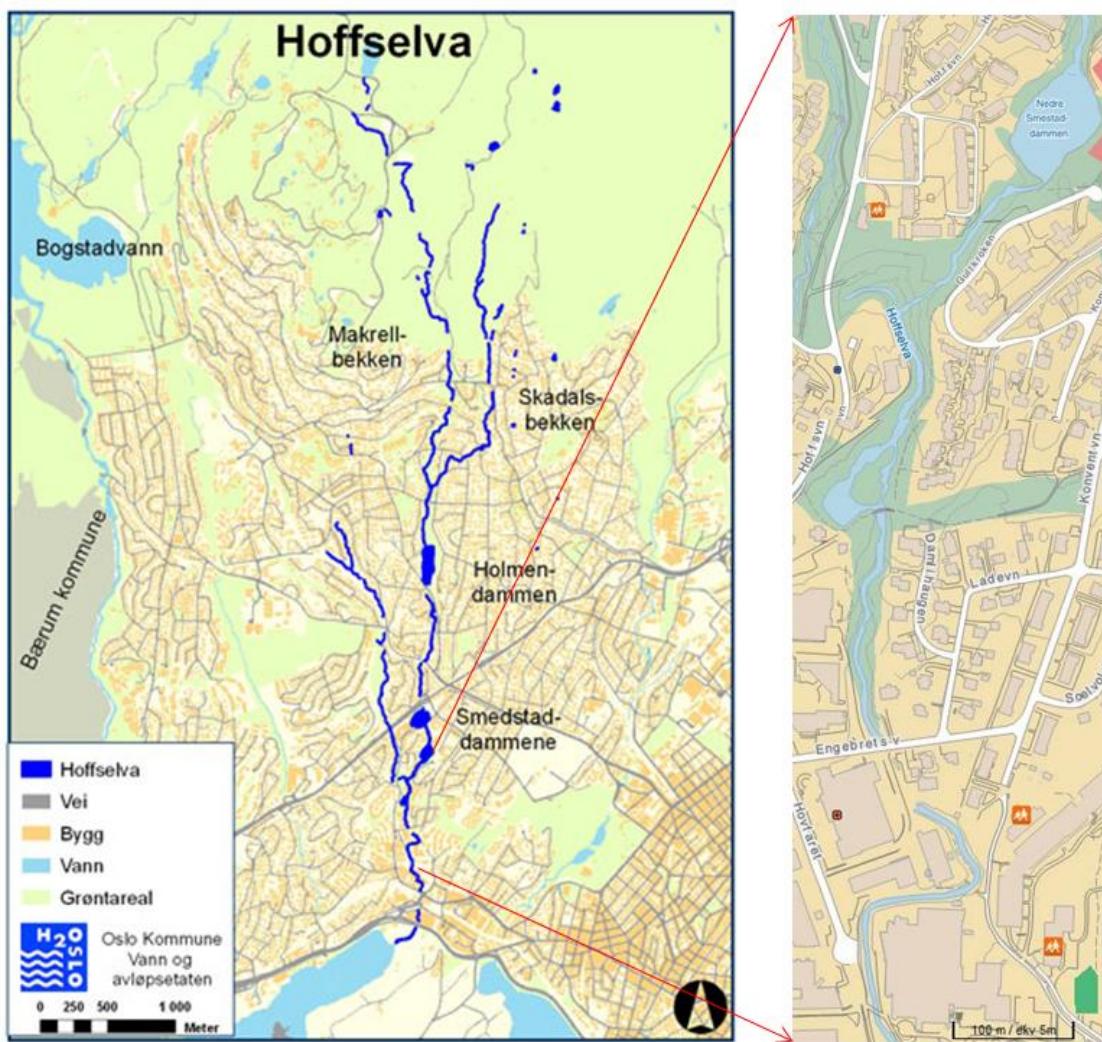
Kulverten og Hoffselva bør derfor ha en hydraulisk kapasitet som tilsvarer 200 års flom og ta hensyn til konsekvenser av flom på bebygget område nær elva og kulverten.

3 BEREGNING AV HYDRAULISK KAPASITET FOR HOFFSELVA OG KULVERT UNDER E18

3.1 Nedbørfelt for Hoffselva

Kilden til Hoffselva ligger vest for Tryvannshøgda. Elven renner gjennom Smestaddammene og Hoffsdammen før utløpet i Bestumkilen (Figur 1). Hoffselva har et nedbørsfelt på 14.33 km².

Fra Holmendammen til Smestaddammen renner bekken gjennom bebygde områder, i tunnel under Skøyen jernbanestasjon, kulvert under E18 og deretter åpent til utløpet i Bestumkilen i Oslofjorden (Figur 1). Økt andel tette flater på grunn av utbygging i områdene som ligger langs nedre del av Hoffselva, har gitt økt øvrenning på overflaten og medført økt vannføring i elva. Økt nedbør og havnivåstigning på grunn av forventet fremtidig klimaendring vil også gi økt flomrisiko.



Figur 1. Kart viser Hoffselva fra kilde til utløp ved Bestumkilen (venstre) og områder nedenfor Smedstad-dammen (høyre)

3.2 Beregning av ekstrem vannføring for nedbørfelt til E18-Hoffsbekken

Ekstremvannføringer for Hoffsbekken ved Skøyen er tidligere beregnet basert på målinger fra NVEs hydrologiske stasjoner Skøyen, Sæternbekken og Gryta (Tabell 1). Beregnet flomvannføring er vist i Tabell 2, Mørkhus (2003).

Tabell 1. NVEs målestasjoner for vannføring i Hoffsbekken

Stasjon navn	Stasjon-nr.	Nedbørfelt (km ²)	Høyde (m.o.h)	Måleperiode	Sted
Skøyen	7.13	14.33		09.10.1964-31.07.1967	Skøyen i Oslo
Sæternbekken	8.6	6.32	105	01.11.1971- i dag	Bærumsmarka i Oslo
Gryta	6.10	7.63	163	12.10.1967- i dag	Mæridalsvannet i Oslo

Tabell 2. Flomvannføring i Hoffsbekken ved Skøyen

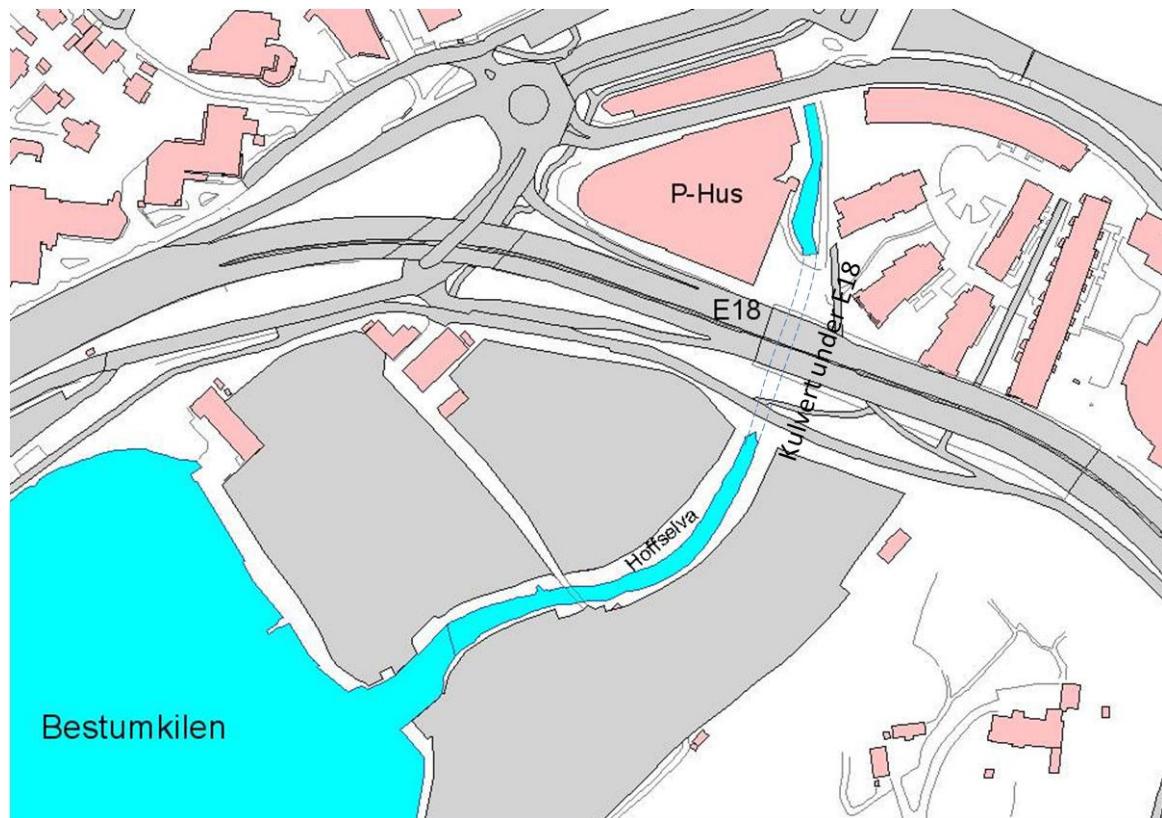
Gjentaksintervall (År)	Hoffsbekken døgnmiddel (m ³ /s)	Hoffsbekken ekstreme øvre vannføring (m ³ /s)
Middel	3	6
20	6	13
50	7	18
100	8	23
200	9	29

Resultatene for ekstremvannføring ved ulike gjentaksintervall er benyttet for å beregne hydraulisk kapasitet i Hoffsbekken og kulverten under E18. Flomvannføring for en 200 års flom er altså før effekten av klimaendringene beregnet til å være 29 m³/s. Dette er altså vannføringen som hele kulvertsystemet skal kontrolleres mot. I tillegg vil måtte ta hensyn av effekten av økt flomvannføring i fremtiden som en følge av klimaendringene.

3.3 Beregning av hydraulisk kapasitet i Hoffsbekken og eksisterende kulvert under E18

3.3.1 Modelleringsområde

Modelleringsområdet er fra utløpet av tunnelen under Skøyen jernbanestasjon til utløpet av elva i Bestumkilen (Figur 2).



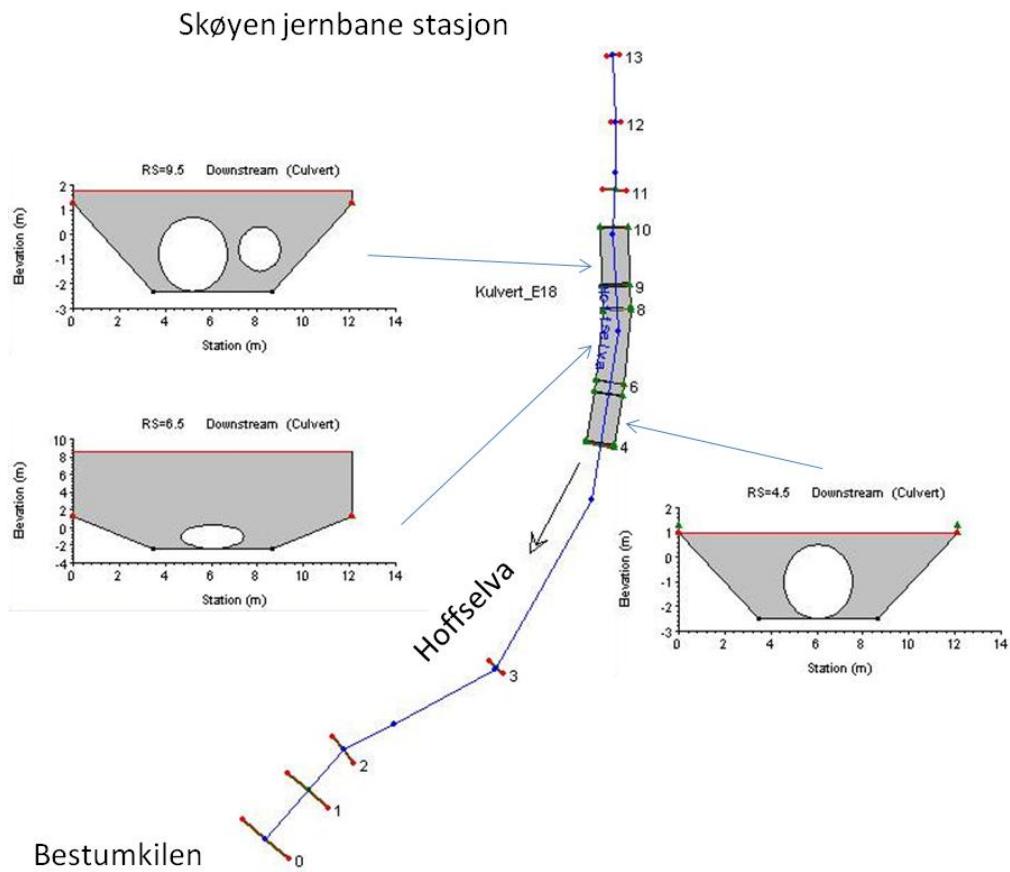
Figur 2. Kart viser studieområde fra utløp av tunnelen under jernbanestasjonen, via åpen Hoffsbekken og kulvert under E18 og til Bestumkilen

3.3.2 HecRas modellen

HecRas-modellen inkluderer 14 tversnitt og dekker en strekning på totalt 370 m. Kulverten modelleres med tre deler som angitt nedenfor i rekkefølge fra innløpsenden til utløpsenden:

- to sirkulære rør med diameter 3.0 og 1.8 m (lagt i 2005)
- et sirkulært rør med diameter 2.7 m (fra 1959)
- et sirkulært rør med diameter 3.0 m (uten konstruksjons informasjon)

Overganger mellom de ulike kulvertene er inkludert i modellen (Figur 3). Skisser av kulverten er vist i Vedlegg A og Vedlegg B.



Figur 3. HecRas modell for Hoffselva og kulvertene under E18

Oppstrømsbetingelser og vannføringer til kulverten

Vannføringene i Tabell 2 for middel flom, og flommer med gjentaksintervaller på 20, 50, 100 og 200 år er benyttet for hydrauliske beregninger.

Manningsruhet

Det er benyttet Manningsruhet (n) for elv og kulverter som angitt i HECRAS-manualen (Tabell 3).

Tabell 3. Månningsruhet (n) (HECRAS, 2010)

Tverrsnitt	Månningsruhet (n)
Elva	0.02-0.025
Korrugert stålør (ny)	0.021
Korrugert stålør (Gammel)	0.024
Betong kulvert (ny)	0.011
Betong kulvert (gammel)	0.013
Inngangskoeffisient, sirkulær stålør	0.5
Inngangskoeffisient, firkanten, betong kulvert	0.7
Utgangskoeffisient, stålør, sirkulær	0.7
Utgangskoeffisient, firkanten, betong kulvert	0.7

Høydedefinisjoner:

- NN 1954 er benyttet for høydenivå for land, elv og sjø (Vedlegg C)
- Terrenghøyder er angitt ihht Oslos lokale høyder. Kote på NN1954 er 0.212 m lavere (Vedlegg D).
- Det er ikke informasjon om kulvertens bunn- eller toppnivå fra målingene utført i 2003, 2005 og 2011. Innmåling er utført noen steder ved befaringer i løpet av dette prosjektet. Andre høydeverdier er beregnet fra informasjon om høyder på terrenget og høyder gitt i tegningen i Vedlegg A. Mangelen på målte høyder medfører en usikkerhet i beregningene.
- Vannstand i Oslofjorden er hentet fra Statens kartverk for sjøkart. Vannstand i Oslofjorden med ulike gjentaksintervall basert på NN1954 er beregnet og gitt i tabell 4. Middelvann ligger på kote - 0.01 m basert på NN1954. Høyeste observert vannstand (i 1914) ligger på kote 1.80 m, litt lavere enn en vannstand med gjentaksintervall på 100 år.

Tabell 4. Vannstand i Oslofjorden (Tørresen, 2011)

Vannstandsnivå	Sjøkærtnull (cm)	NN1954 (cm)
Middel høyvann	80	-1
Middel spring høyvann	84	3
Gjentaksintervall, 20 år	235	154
Gjentaksintervall, 50 år	250	169
Gjentaksintervall, 100 år	266	185
Gjentaksintervall, 200 år	280	199

3.4 Kilder til usikkerhet i beregningene

Følgende usikkerheter bør tas hensyn til når en skal vurdere eller bruke hydraulisk beregninger i denne rapporten:

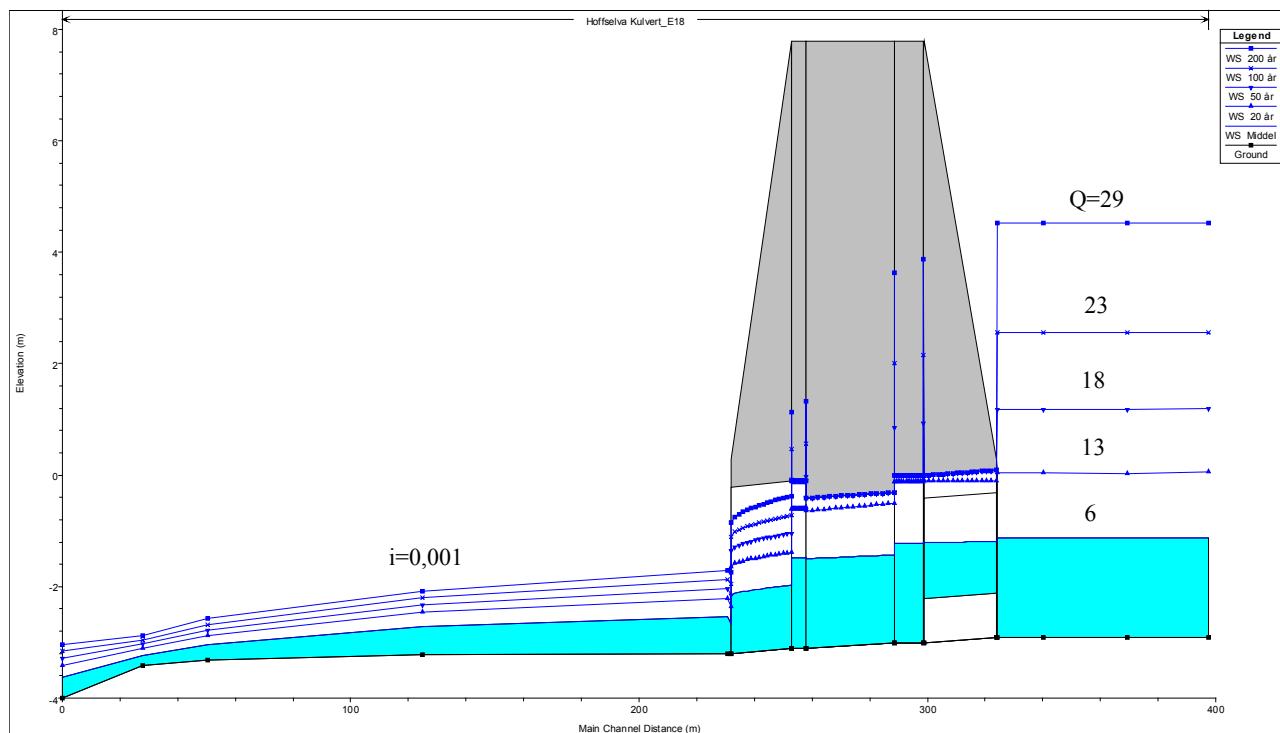
- Den hydrologiske målestasjonen ved Skøyen har vannføringsmålinger for bare to år noe som er kort tid for å lage flomfrekvensanalyser. Ekstreme vannføringene er derfor beregnet basert på måledata fra to stasjoner

som ligger andre steder i Oslo. Dette kan medføre at beregnete ekstremvannføringene avviker fra de reelle verdiene ved Skøyen.

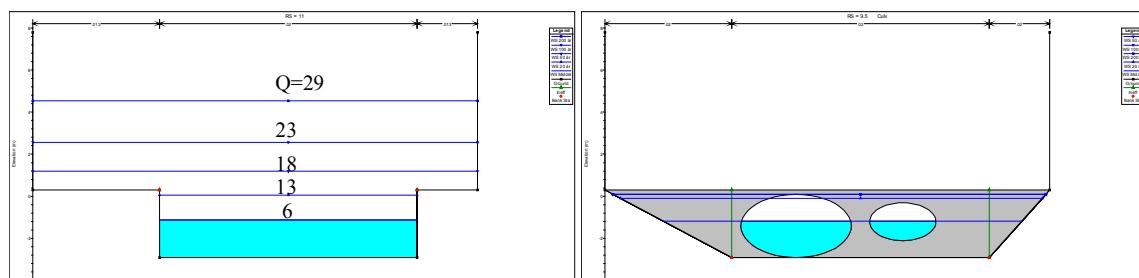
- Høydenivå for kulvert er 0.5-1.0 m forskjellig på tegningene i K10 og K50 og digital terrengr data. Det er ikke høyde informasjon på skissene laget av Norconsult i 2005.
- Tverrsnitt av kulvert under E18 endres tre ganger med to overganger mellom de ulike kulverttverrsnitt over kort avstand (92.3 m). Det medfører at hydrauliske beregninger blir ustabile.
- Tverrsnitt for Hoffselva og kanalen før kulvert er hentet fra terrengrdata og ikke målt.
- Ifølge Asbjørnhus som tok innmåling den 18. februar 2011, er det 15 cm eller mer masser i bunnen av nedre delen av den gamle kulvert. Dette er ikke inkludert i beregningene, og innebærer at faktisk vannstand for den gamle kulerten og nedre del av elva kan være høyere enn de beregnede verdiene.

3.4.1 Beregningsalternativ 1 – ingen oppstuvning fra fjorden

Ved beregning av alternativ 1 antas det for alle vannføringer en normal strømning fra oppstrøm til nedstrøm uten oppstuvning fra Bestumkilen ($i = 0,001$). Denne antagelsen vil gi den maksimale hydrauliske kapasiteten til kulverten. Resultatene av beregningen presenteres i Figur 4 og 5.

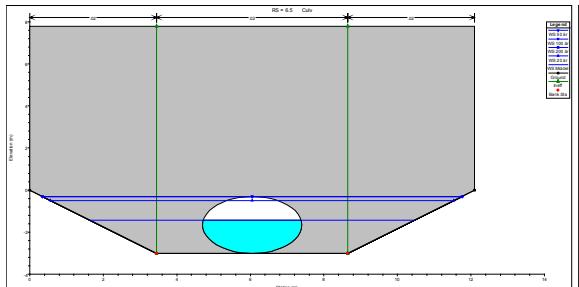


Figur 4. Beregnet vannstand for lengdeprofilen fra Hoffselva kanal til Bestumkilen ved flommer med ulike gjentaksintervall (Alt.1)

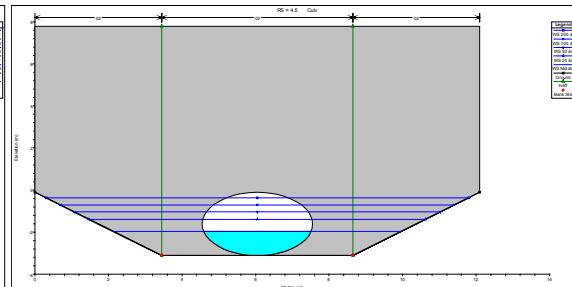


(a) Beregnet vannstand for kanal før kulvert

(b). Beregnet vannstand for 2-rør kulvertene



(c). Beregnet vannstand for 1-rør kulvert (gammel)



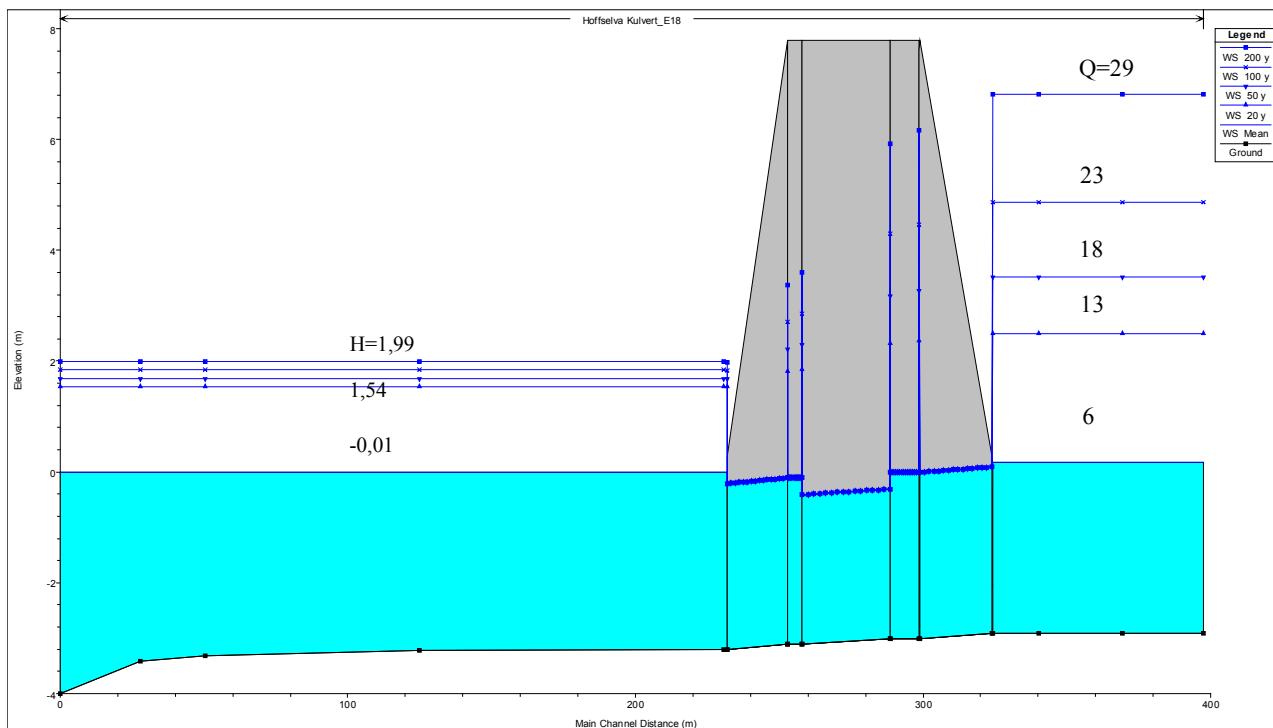
(d). Beregnet vannstand for 1-rør kulvert (ny)

Figur 5. Beregnet vannstand for Hoffselva kanal og de tre kulvert-tverrsnitt før kulvert (Alt.1)

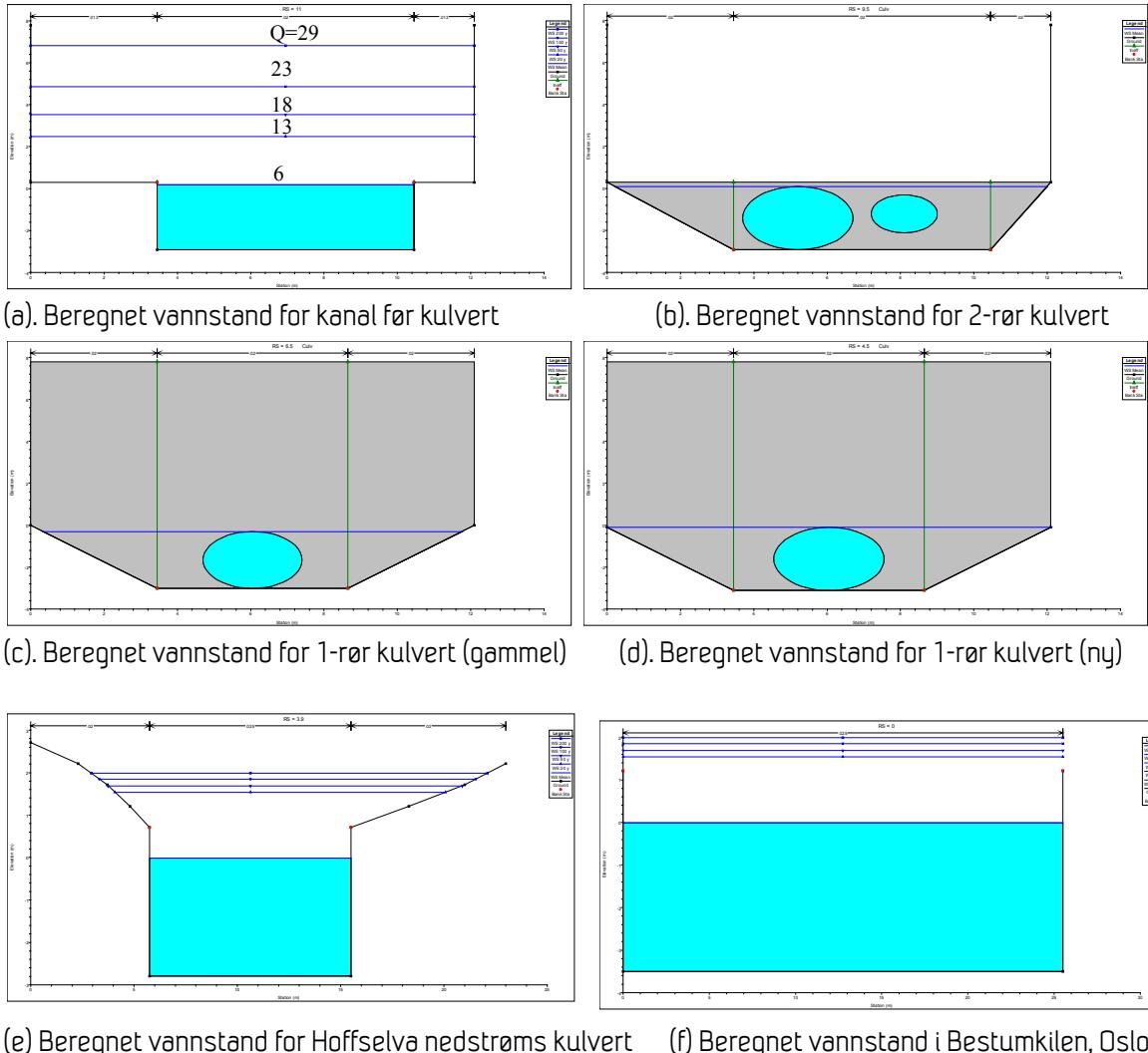
Resultatene viser at kulverten begynner å gå full allerede når vannføringen er $13 \text{ m}^3/\text{s}$ (20 års flom). Det er særlig viktig å identifisere delstrekninger hvor gradienten (stigningstallet) på de blå linjene i Figur 4 er bratte og endrer seg. Dette er strekninger med begrenset kapasitet og som bidrar mest til den samlede reduserte kapasiteten for kulvertkonstruksjonen. Den hydrauliske kapasiteten er begrenset av seksjonen som utgjøres av den gamle 1-rørs kulverten med en diameter på 2.7 m. Dersom vannføringen er høyere enn $13 \text{ m}^3/\text{s}$ (20 års flom) vil en begynne å få oppstiving oppstrøms kulverten. Vi ser også at deler av kulverten har stor kapasitet (tilsvarende en flom med 200 års gjentaksintervall ($29 \text{ m}^3/\text{s}$)). En ser også av Figur 4 at for kanalen oppstrøms kulverten (høyre side av figuren) der er vannlinjene horisontale (lavt stigningstall). Denne strekningen er altså ingen flaskehals som sådan, men området har høy vannstand pga. oppstuvning nedstrøms.

3.4.2 Beregningsalternativ 2- høy vannstand i fjorden

Beregningen av alternativ 2 er utført med de samme vannføringer som i alternativ 1, men med ulike høyvann i Oslofjorden som nedstrøms betingelse. Resultatene presenteres i Fig. 6-7. I beregningene er det benyttet samme gjentaksintervall for flomvannføring (hentet fra Tabell 2) og høyvann (hentet fra Tabell 4).



Figur 6. Beregnet vannstand for lengdeprofil for vannføringer med ulike gjentaksintervall og tilsvarende vannstand i Oslofjorden (Alt.2)



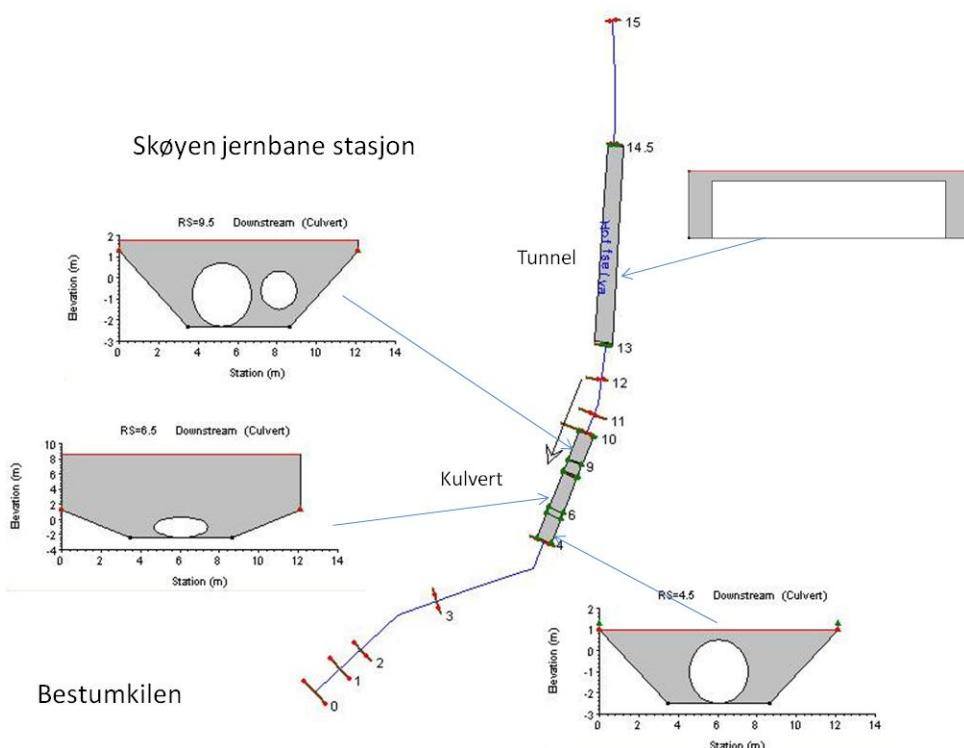
Figur 7. Beregnet vannstand for tre kulvert-tversnitt og Hoffsbekk oppstrøm og nedstrøms kulvert (Alt.2)

En kan se fra Figur 6 og 7 at kombinasjonen av flom i elven og høy vannstand i Oslofjorden vil ha betydelig påvirkning på den hydrauliske kapasiteten til kulverten. Allerede ved kombinasjonen middel sjøvannstand (-0.01m) og middel vannføring i elven ($6 \text{ m}^3/\text{s}$) har en dykket innløpet av kulverten. Ved flommer med høyere gjentaksintervall vil vannstanden oppstrøms kulverten bli desto høyere.

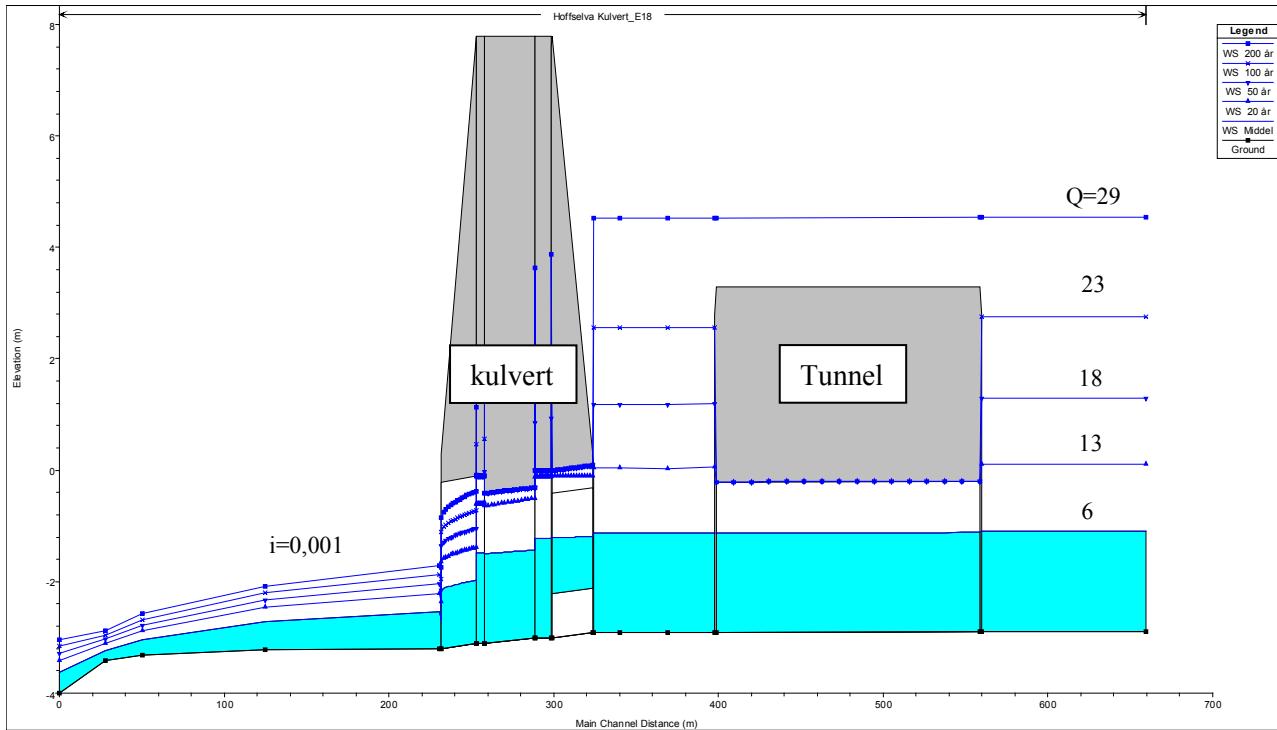
En har for alternativ 2 beregnet kapasiteten til kulverten for like gjentaksintervall for henholdsvis sjøvannstand og vannføring. Møn kan diskutere gjentaksintervallet for at disse hendlene skal opptre samtidig, men statistisk sett er hendelsene ikke uavhengige siden det ofte er ved store lavtrykksituasjoner en får både mye nedbør og høyere vannstand i fjorden (pga lavere lufttrykk og vindpåvirkning).

3.4.3 Beregningsalternativ 3- Ingen oppstuvning fra fjorden men en også inkluderer tunnel under Skøyen jernbanestasjon

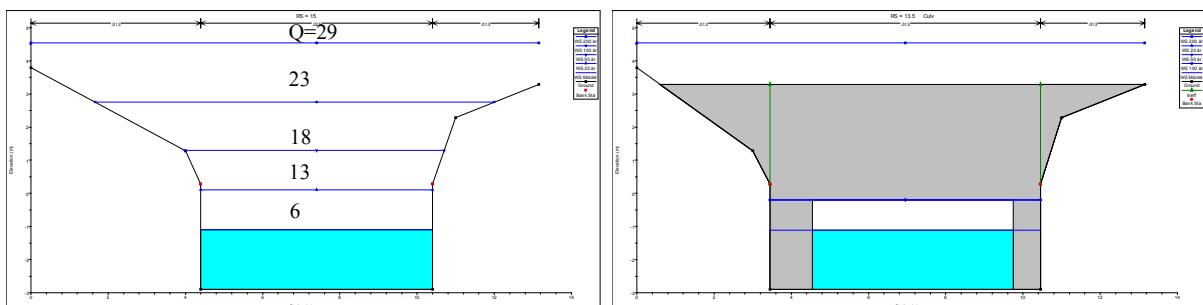
I utgangspunktet ønsker en bare å beregne kapasiteten til kulverten der hvor den krysser E18. Vannlinjeberegningene er også utvidet til å inkludere tunnelen under Skøyen jernbanestasjon (Figur 8). Tunnelen har et stort tverrsnitt i forhold til kulvertsystemet, så intuitivt forventer en ingen oppstuvning på tunnelen. Beregningene er utført med de samme betingelsene og antagelsene som for alternativ 1, dvs flomvannføringer i henhold til Tabell 2 og med en antagelse av en normal strømning fra oppstrøm til nedstrøm ($i=0,001$, dvs. uten oppstuvning fra Oslofjorden). Beregningene er således de samme som i alternativ 1, men en inkluderer litt mer av elven oppstrøms. Resultatene er gitt i Figurene 9 til 11.



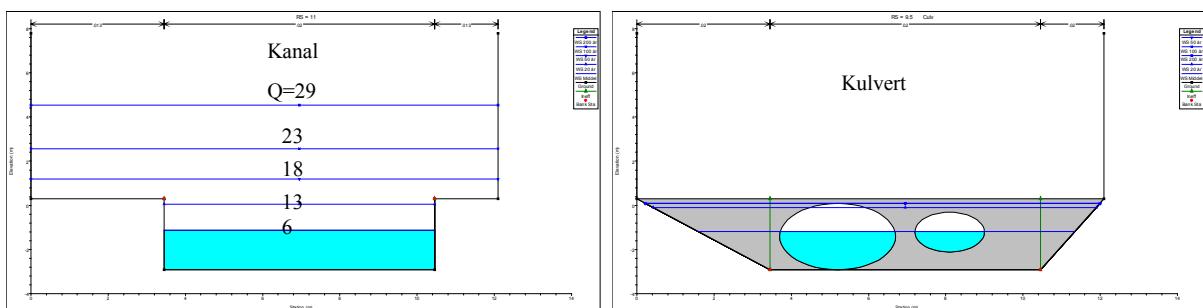
Figur 8. HecRas modell for Hoffselva og kulvertene under E18 med tunnel under Skøyen jernbanestasjon



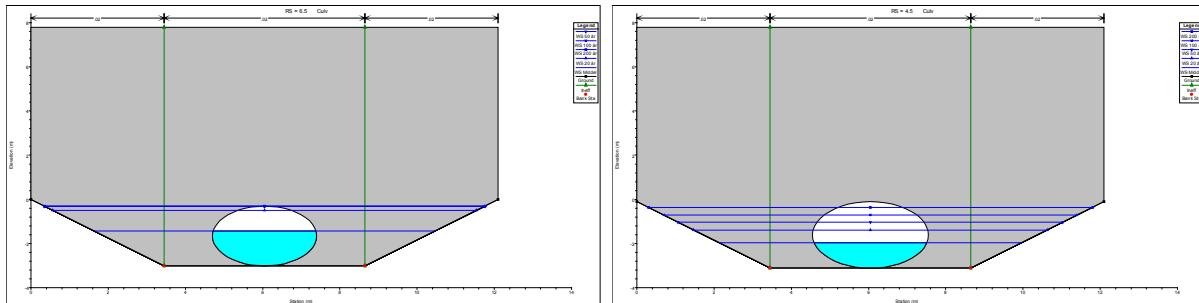
Figur 9. Beregnet vannstand for lengdeprofil for tunnel og kulvert (ulike gjentaksintervall av vannføringer med en normal strømning ($i=0,001$), dvs. uten oppstuvning fra Oslo fjorden) (Alt. 3)



Figur 10. Beregnet vannstand i Hoffselva før tunnel (venstre) og i tunnelen (høyre) (Alt.3)



(a). Beregnet vannstand i kanal før kulvert (venstre) og 2-rør kulvert (høyre)



(b). Beregnet vannstand i 1-rør kulvert (gammel, venstre) og 1-rør kulvert (ny, høyre)

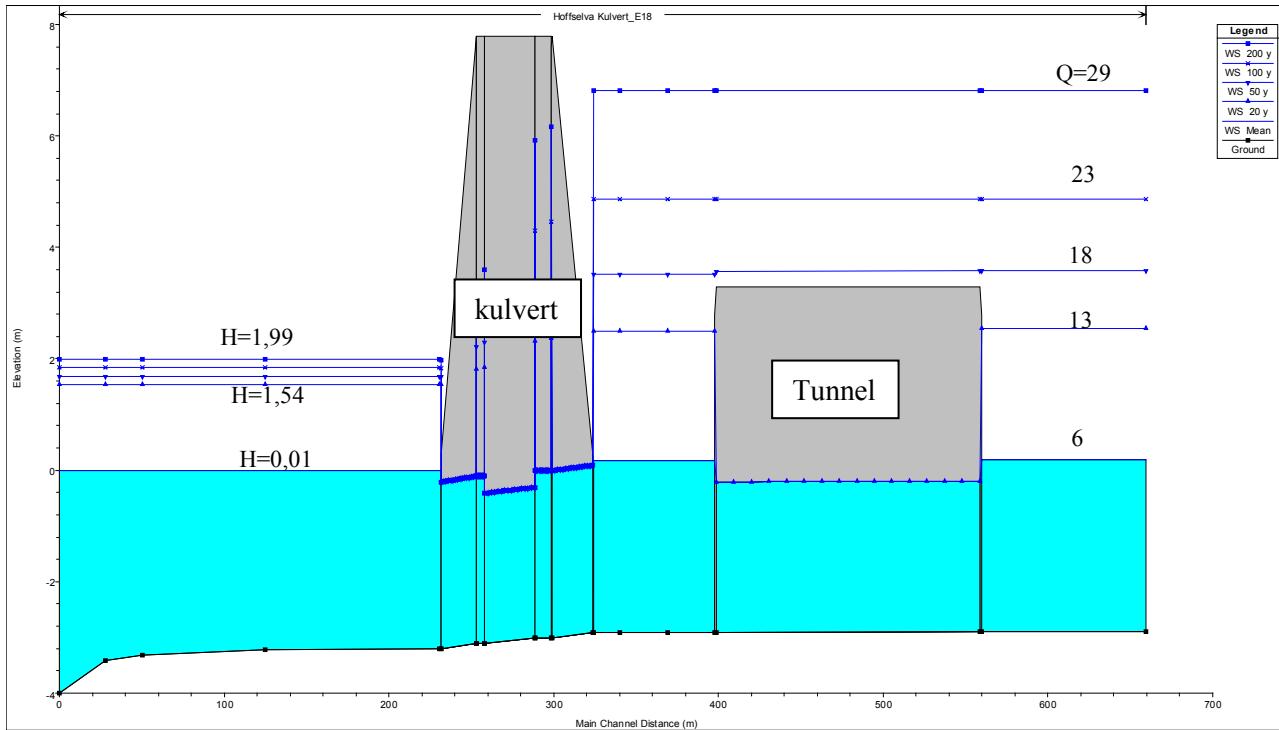
Figur 11. Beregnet vannstand i elva og kulvert-tverrsnitt med tunnelen (Alt.3)

Sammenligning av resultatene fra beregningene i alternativ 3 (Figur 11) og alternativ 1 (Figur 5) viser at beregnet vannstand er den samme slik at kulverten er begrensende for den hydrauliske kapasiteten og det er seksjonen som utgjøres av den gamle 1-rørs kulverten med diameter 2.7 m, som er den hydrauliske flaskehalsen. Resultatene viser at 100 års flommen vil medføre overtopping av tunnelen (vann over topp tunnelkonstruksjon).

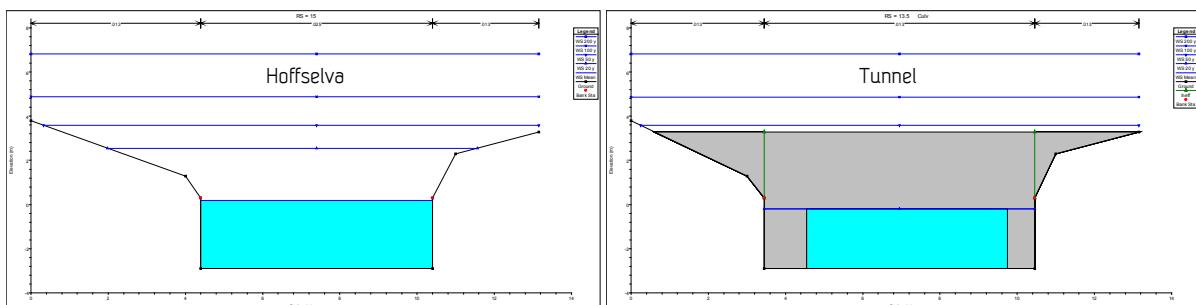
En ser klart av Figur 10 at de ulike vannlinjene er tilnærmet horisontal på strekningen oppstrøms kulverten. Dette betyr at det ikke er noen flaskehals oppstrøms kulverten. Høy vannstand f.eks. ved Skøyen jernbanestasjon skyldes ene og alene kapasitetsproblemene i kulverten under E18 hvor Statens vegvesen er anleggseier.

3.4.4 Beregningsalternativ 4- - Høy vannstand i fjorden og tunnel under Skøyen jernbanestasjon inkludert

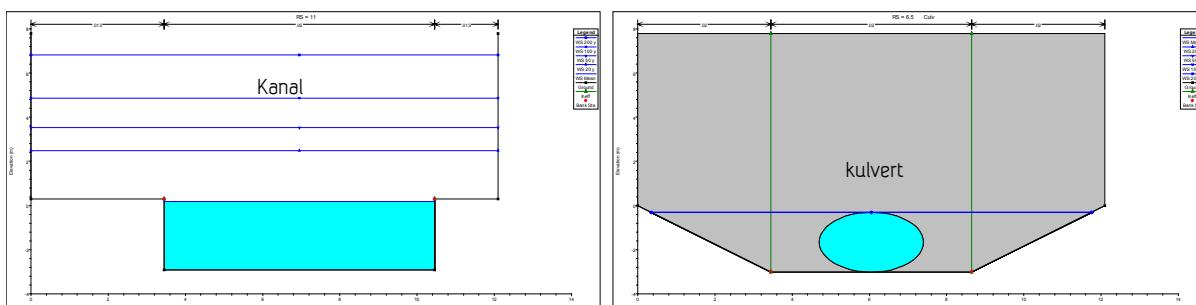
Beregningene i alternativ 4 er utført med de samme oppstrømsbetingelsene som i alternativ 3, men med ulik høyvannstand i Oslofjorden (tilsvarende som ble i alternativ 2). Resultatene er vist i figur 12 og 13. Som i alternativ 2, viser resultatene at kombinasjonen av flom og høy vannstand i Oslofjorden har betydelig negativ påvirkning på kulvertens kapasitet. Konklusjonene er de samme som for alternativ 2. Det er kulverten under E18 som er den hydrauliske flaskehalsen. For høye sjøvannstårder i fjorden vil vannstanden kulverten bli dykket uavhengig av vannføring (som for alternativ 2).



Figur 12. Beregnet vannstand i Hoffselva, i tunnelen og kulvertene (ekstreme vannføringene med høyvann med ulike gjentaksintervall i Oslofjorden, Alt. 4)



(a). Beregnet vannstand i elva oppstrøms tunnelen (venstre) og i tunnelen (høyre)



(b). Beregnet vannstand i kanal før kulvert (venstre) og 1-rør kulvert (den gamle, høyre)

Figur 13. Beregnet vannstand i Hoffselva-, tunnel- og i kulvertsavsnitt med høyvann i Oslofjorden (Alt.4)

Det er en viss usikkerhet knyttet til fallforhold i kulvertene siden en ikke har gode høydedata. Dette medfører at det er litt usikkerhet knyttet til beregningene utført for alternativene 1 til 4. For å vurdere effekten av dette forholdet er det utført beregninger hvor en gjennomførte beregninger der nivået av kulverten var henholdsvis 0.5 m høyere og lavere. Resultatene viste ingen vesentlig forskjeller i forhold til de resultatene som er vist i det foregående (resultater ikke inkludert i rapporten). De reelle avvikene i høydedataene kan imidlertid være større enn ± 0.5 m og det er derfor behov for en mer nøyaktig innmåling hvis det ønskes en mindre usikkerhet i resultatene.

Samlet viser imidlertid resultatene at nye oppgraderingstiltak må gjennomføres for å få kapasitet til en flom med 200 års gjentaksintervall uten oversvømmelser. Mulige tiltak diskuteres nærmere nedenfor.

4 EFFEKTER AV UΤBYGGING OG KLIMAENDRINGER PÅ HOFFSELVA OG E18-KULVERT

4.1 Effekter av utbygging i Hoffselva nedbørfelt

Hoffselva har sine kilder i området ved Holmenkollen, Voksenåsen og Vettakollen. Holmenbekken renner via Holmendammen, og Øvre og Nedre Smestaddam. Holmenbekken og Makrellbekken møtes nedenfor disse dammene og dannet da Hoffselva (Figur 1). Derfra renner elva via tunnel under Skøyen jernbanestasjon og kulvert under E18 og munner ut i Bestumkilen. Det er viktig å ta hensyn til begge de to bekene når en skal beregne nedbørfelt og avrenning til Hoffselva.

På grunn av naturlig demping ("regulering") i dammene overfor Nedre Smestaddam vil flomtoppene bli betydelig kuttet. Utløpet fra dammene er avhengig av dammenes dempingskapasitet. Lengre nede er det ingen store vann og her renner Hoffselva gjennom bebygd område, tunnel og kulvert før den munner ut i Bestumkilen. Tette flater (tak, impermeable veier og parkeringsplasser) vil øke avrenningstilsig til elva og medføre økt flomrisiko. Det er derfor viktig å vurdere urbanisering i de ulike områder (naturlige, delvis utbygde og tett utbygde arealer), samt effekt av klimaendringer på avrenning og på flomrisiko.

Det er to alternativer som kan brukes for å vurdere flomrisiko pga. urbaniseringen i Hoffselvas nedbørfelt. Man kan ta hensyn til nedbørfeltet for Holmenbekken, Makrellbekken og dammene for å vurdere økt avrenning og fordrøyningskapasitet for hele nedbørfeltet og elvene. For å gjøre dette trenger man imidlertid digitale terrengdata med bygninger, veier og areal for tette flater, og deretter lage en urban hydrologisk modell (med eller uten avløpsnettverk) og beregne avrenning på grunn av urbanisering og klimaendring.

Et enklere alternativ er å anta at det ikke blir stor risiko ved middelflommer på grunn av reguleringsskapasitet av Holmendammen og Smestaddammene, men det kan bli problem ved store flommer som 100 og 200 års. Nedenfor Smestaddammene har man ikke stor fordrøyningskapasitet, og flomrisikoen vil derfor øke raskt på grunn av økt avrenning fra tettområder ved kraftig regn.

Myrabø (2008) foreslår at den rasjonelle metoden kan brukes for vassdrag som er mindre enn 5- 20 km². Nedbørfeltet til Hoffselva er 14.33 km², og den rasjonelle formelen er valgt for å vurdere effekter av urbanisering og klimaendringer.

$$Q = \psi * i * A \quad (1)$$

hvor:

- Q Maks. avrenning (l/s)
- ψ avrenningskoeffisient (0.0-1.0), dimensjonsløs. I naturlig område er ψ vanligvis 0-0.2. I delvis utbygde områder er ψ 0.3-0.5 og i tette utbygde områder kan ψ være 0.7-0.9. For nedbørfeltet til Hoffselva et det antatt en urbaniseringsgrad på 0-0.5.
- i nedbørintensitet (l/s.ha)
- A totalt areal av nedbørfelt (ha)

En kan se fra ligning (1) at en trenger både areal av nedbørfelt (A) og nedbørintensitet (I) for å beregne Q. Det er derfor viktig å inkludere effekten av både økt urbanisering og økt vannføring som en følge av klimaendringer for å estimere fremtidige dimensjonerende vannføring for vassdraget.

4.2 Klimaendringsscenarier

Forskningsprosjektet RegClim 2005 konkluderer at Norges klima de neste 100 år vil bli preget av mildere vintrer; varmere og tørrere somre i sør-øst, våtere ellers og beskjeden vindøkning. Økt risiko for sterkt nedbør overalt og sommertørke i sørøst. Usikkerheter gir imidlertid betydelig risiko for større klimaendringer enn RegClim beregner.

I NOU rapport Klima i Norge 2100 deles Norge i 6 temperaturregioner og 12 nedbørregioner. Oslo ligger i temperaturregion 1 og nedbørregion 1 eller 2 (Hansen-Bauer, 2009). Klimaendringsscenarier for temperatur, nedbør og havnivåstigning for Oslo i 2050 og 2100 er oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5. Scenarier for temperatur, nedbør, havnivåstigning og stormflo for Oslo i 2050 og 2100

Temperatur	Økning (°C) fra 1961-1990 til 2021-2050			Økning (°C) fra 1961-90 til 2071-2100		
	M	L	H	M	L	H
År	1.9	1.2	2.6	3.4	2.3	4.8
Vinter	2.4	1.5	3.5	4.5	2.8	6.5
Vår	1.7	1.1	2.5	3.2	1.9	4.6
Sommer	1.3	0.8	2.0	2.5	1.5	3.8
Høst	1.9	1.3	2.8	3.6	2.5	5.2
Nedbør	Endring (%) i nedbørsum fra 1961-1990 til 2021-2050			Endring (%) i nedbørsum fra 1961-90 til 2071-2100		
Vinter	6.7	1.5	12.1	12.2	2.7	22.2
Vår	13.5	5.6	28.7	24.7	10.2	52.6
Sommer	7.6	1.4	16.9	14.0	2.6	31.0
Høst	-3.8	12.2	10.9	-7.0	-22.4	19.9
Vinter	9.2	-2.0	15.0	16.8	-3.7	27.5
Havstigning og stormflo	År 2050 relativt til år 2000			År 2100 relativt til år 2000		
	Landhevnning (cm)	Havstigning (cm)	Stormflo (100-år returnivå, NN1954)	Landhevnning (cm)	Havstigning (cm)	Stormflo (100-år returnivå, NN1954)
	Usikkerhet -8 til 14 cm			Usikkerhet -20 til 35 cm		
Oslo	25	7	197	49	41	236

- I Tabell 5 representerer M, L og H Middel, Lav og Høy verdier av økninger i Temperatur og nedbør.
- Havstigning i Tabell 5 er relativt til år 2000 og relativt til landhevnning, dvs. at havstigning er høyere enn landhevnning i Oslo.

4.3 Vurdering av økt ekstremvannføring ved endret klima i scenario 2050 og 2100

Ifølge av ligning (1) kan økt avrenning beregnes som en funksjon av økt nedbørsintensitet og økt areal av tettflate.

$$Q_1 = \psi \cdot i \cdot A = i \cdot A_{imp} \quad (2)$$

Hvor A_{imp} betyr tetteareal i et nedbørfelt.

$$Q_2 = (1+x\%) \cdot i \cdot (1+y\%) \cdot A_{imp} = (1+x\%) \cdot (1+y\%) \cdot Q_1 \quad (3)$$

hvor x % er øking i nedbørsintensitet og y % er øking av tette flater

Man kan se fra Tabell 5 at endringen i total nedbør er mellom -3.8 % og 28.7 % for scenario 2050, og mellom -22.4 % og 52.6 % for scenario 2100. Dersom man antar en endring i nedbørsintensitet i området -20 % og 55 % og at utbygginger vil øke arealet av tetteflater i området fra 20 % til 50 %, får man en beregnet faktor for økt avrenning pga. økt nedbør og økt tett flate som gitt i Tabell 6.

Tabell 6. Beregnet faktor for økt avrenning pga. økt nedbørsintensitet (%) og økt tettflate (%)

Faktor	Nedbørsintensitet (i), (%)								
		-20	-10	0		20	30	50	55
A_{imp} , (%)	0	0.80	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.55
	20	0.96	1.08	1.20	1.32	1.44	1.56	1.80	1.86
	30	1.04	1.17	1.30	1.43	1.56	1.69	1.95	2.02
	50	1.20	1.35	1.50	1.65	1.80	1.95	2.25	2.33

Man kan se fra tabell 6 at:

- (1) Uten endret nedbørsintensitet vil avrenning øke proporsjonalt med økning av tette flater.
- (2) Uten endret urbanisering vil endringen i avrenningen være proporsjonal med endringen i nedbørsintensitet.
- (3) Med økning av tette flater og nedbørsintensitet endres avrenningen i et intervall fra 20 prosent reduksjon til 133 prosent økning. I denne rapporten er en avrenningsfaktor på henholdsvis 1.56 og 2.33 brukt for å beregne økt avrenning for scenario 2050 og 2100.

Økt ekstremvannføring er beregnet ved en enkel modell der verdiene i dagens klimasituasjon er multiplisert med faktorene for økt avrenning beregnet ovenfor (Tabell 7).

Tabell 7. Økt flomvannføring pga. økt utbygging og klimaendring

Gjentaksintervall (År)	Dagens klima (m³/s)	Med en økningsfaktor 1,56 (Scenario 2050)	Med en økningsfaktor 2,33 (Scenario 2100)
Middelflom	6	9.36	13.98
20	13	20.28	30.29
50	18	28.08	41.94
100	23	35.88	53.59
200	29	45.24	67.57

I Tabell 7 kan man se at middelflom ($6 \text{ m}^3/\text{s}$) i dagens klima vil øke til $9.4 \text{ m}^3/\text{s}$ for scenario 2050 og $14 \text{ m}^3/\text{s}$ for scenario 2100.

Sammenligner man den hydrauliske kapasiteten til den eksisterende kulverten med verdiene for ekstremvannføring i scenario 2050 og 2100 i Tabell 7 ser man at kulvertens hydrauliske kapasitet vil kunne håndtere en middels flom i 2050, men ikke en flom med et gjentaksintervall på 20 år. Tilsvarende sammenligning med ekstremvannføringene beregnet for scenario 2100 viser at kulvertens hydrauliske kapasitet er tilnærmet fullt utnyttet ved en middels flom. Disse sammenligningene forutsetter imidlertid at man ikke har oppstuvning i fra Oslofjorden ($i=0.001$), noe som vil være avhengig av fremtidig endring i havnivå.

Scenariene for år 2050 og år 2100 viser en stigning i havnivå relativt til år 2000 (Tabell 5) og en stormflo med 100 års returnivå på hhv. 197 cm og 236 cm. Beregningene av hydraulisk kapasitet for beregningsalternativ 2 i kapittel 3.6.4 viste at kulvertens hydrauliske kapasitet vil være fullt utnyttet ved en mindre flom en dagens middelverdi ($6 \text{ m}^3/\text{s}$) når det faller sammen med dagens tilsvarende middel høyvann som er -0.01 m. Med høyere vannstand i Oslofjorden som angitt for scenario 2050 og 2100, vil kulverten ha lavere hydraulisk kapasitet enn i dagens situasjon. Dette vil medføre høy flomrisiko ved i situasjoner med ekstremavrenning og oppstuvning fra høy vannstand i Oslofjorden.

5 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

5.1 Konklusjoner

Beregningene viser at kulverten under E18 har dykket innløp allerede når vannføringen i elven er $13 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette tilsvarer en flom med gjentaksintervall på 20 år. Dette stemmer også godt med de observasjoner som er gjort i området hvor en av og til har oversvømmelse i dette området. Dette gjelder for dagens situasjon. I fremtiden med økt forventet avrenning som en følge av klimaendringer og økt urbanisering vil situasjonen ytterligere bli forverret.

Følgende konklusjoner gjelder for dagens situasjon:

1. Hydrauliske beregninger utført hvor en antar at det ikke er oppstuvning fra Oslofjorden viser at kulverten har en hydraulisk kapasitet på ca. $13 \text{ m}^3/\text{s}$ (20 års flom). Allerede ved denne vannføringen begynner innløpet til kulverten å bli dykket. Den hydrauliske kapasiteten er bl.a. begrenset av seksjonen med den gamle 1-rørs kulverten med en diameter på 2.7 m. Høyere vannføringer enn dette vil føre til oversvømmelse av arealer rundt kanalen oppstrøms kulverten.
2. Det er også gjennomført beregninger hvor tunnelen under Skøyen stasjon ble inkludert i modellen. Resultatene viser at høy vannstand f.eks. ved Skøyen jernbanestasjon skyldes ene og alene kapasitetsproblemene i kulverten under E18 hvor Statens vegvesen er anleggseier. Resultatene viser at en forflomvannføringer med gjentaksintervall større enn 100 år vil få oversvømmelse av omkringliggende områder ved Skøyen stasjon.
3. Kombinasjonen av flom i elven og høy vannstand i Oslofjorden vil ha betydelig påvirkning på den hydrauliske kapasiteten til kulverten. Allerede ved kombinasjonen middel sjøvannstand (-0.01m) og middel vannføring i elven ($6 \text{ m}^3/\text{s}$) har en dykket innløpet av kulverten. Ved situasjoner med høyere gjentaksintervall vil vannstanden oppstrøms kulverten bli desto høyere. Sannsynligheten for situasjoner med sammenfallende høyvannstand i fjorden og høy vannføring i elven er ikke statistisk uavhengige hendelser. Dette er hendelser som ofte opptrer samtidig.

Forventet økt avrenning som en følge av klimaendringer og økt urbanisering

Grove beregninger hvor en også tar hensyn til forventet avrenning i et fremtidig klimaregime og hvor en også tar hensyn til økt urbanisering i nedbørsfeltet viser at den hydrauliske kapasiteten til kulverten bare vil være tilstrekkelig for en middels flom i år 2050, men ikke en flom med et gjentaksintervall på 20 år. Tilsvarende sammenligning med ekstremvannføringene beregnet for scenario 2100 viser at kulvertens hydrauliske kapasitet er tilnærmet fullt utnyttet ved en middels flom. I alle tilfellene viser beregningene at økt vannstand i Oslofjorden vil forverre situasjonen og øke risikoen for oversvømmelser av omkringliggende områder.

Verken for dagens situasjon eller i fremtiden med økt avrenning som en følge av klimaendringer vil kulverten klare å lede en 200 års flom slik som angitt i anbefalinger fra NVE og håndbok 018 fra Statens vegvesen.

5.2 Anbefalinger

For et vassdrag som dette som går gjennom et tett urbant område er konsekvensene ved oversvømmelser store. Dette gjelder både for trafikkavviklingen på E18 og fare for skade på selve vegkonstruksjonen, men også for annen nærliggende infrastruktur slik som bygninger og ikke minst kritisk infrastruktur slik som jernbanen som er lokalisert umiddelbart oppstrøms E18. Kulverten under E18 er en hydraulisk flaskehals som påvirker også flomfaren oppstrøms kulverten. Det er derfor viktig at Statens vegvesen igangsetter avbøtende tiltak.

SINTEF anbefaler Statens vegvesen å vurdere følgende tiltak/anbefalinger:

- **Etablere større kulvert under E18.** Dagens løsning med mange kulvertseksjoner under E18 med ulike dimensjoner og linjeføringer er ikke tilfredsstillende. Uten at vi har gjennomført beregninger av nødvendig dimensjon på ny kulvert, ser en av de utførte beregninger at et kulverttverssnitt tilsvarende tunnelen under Skøyen stasjon har god kapasitet.
- **Vurdering av alternativ flomveg.** Både på kort og lang sikt bør Statens Vegvesen vurdere "alternativ flomveg". Med alternativ flomveg menes en analyse av hvor vannet vil strømme når det blir oversvømmelse i området. Kulverten har begrenset kapasitet og i beredskapssammenheng er det viktig at en i forkant av flomhendelser har tenkt igjennom hvor vannet vil gå. Befaring er viktig for å identifisere og eventuelt etablere slike alternative flomveger.
- **Etablere trykksystem for kulvertstrekning.** Dagens løsning er basert på frispeilstrømning. Et alternativ til dette kan også være å etablere en trykkløsning. Oslo kommune (Vann og avløpsetaten) har gjort dette for noen av sine overvånsledninger som krysser under annen infrastruktur. Dette kan også være en løsning for området ved E18/Skøyen, men dette må vurderes nøye og det kreves god strukturell tilstand på infrastrukturen.
- **Mer avansert nedbør/avrenningsmodell for å vurdere effekten av klimaendringer.** De foretatte analyser for å beregne effekten av de forventede klimaendringene bør gjennomføres med mer avanserte modeller enn den rasjonelle formel som er benyttet i dette prosjektet. Viktigheten av kulverten og de store konsekvensene en oversvømmelse kan medføre, tilslir at dette bør prioriteres.
- **Tiltak for å redusere effekten av urbanisering og påfølgende økt avrenning.** Det forventes stor befolkningsvekt i Oslo de nærmeste år. Oslo kommune har selv beregnet at det vil være 800 000 innbyggere i Oslo i år 2030. Dette vil medføre økt urbanisering i form av fortetting og nye boligområder. Det er viktig at en her jobber for å redusere effekten en slik urbanisering vil ha i form av økt avrenning. Dette er tiltak (fordøyning, grønne tak etc) som må forankres i kommunale planer og således er utenfor ansvarsområdet til Statens vegvesen, men konsekvensene dersom avbøtende tiltak i nedbørfeltet ikke iverksettes, vil berøre Statens vegvesen siden kulverten vil måtte transportere større vannmengder.
- **Etablere bedre grunnlagsdata.** For å gjennomføre oppdaterte analyser er det viktig å ha gode nok grunnlagsdata.
 - Dette gjelder innmåling av høydenivå for kulverts bunn og topp og tverrsnitt for Hoffselva (fra oppstrøms tunnelen under Skøyen jernbane stasjon og kulvertene) til Bestumkilen.
Oppdatering av flomvannføringsberegninger for middel, 20, 50, 100 og 200 års flom basert på oppdaterte måleserier fra Skøyen målestasjon.

6 LITTERATUR

- Forfot, O. P (2011). Hoffsbekken dykkerinspeksjon 18. februar 2011. Notat BMO Entreprenør AS.
- Hanssen-Bauer, I. (Red.) (2009). Klima i Norge 2100 – Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpasning.
- HECRAS (2010). HECRAS Hydraulic Reference Manual and user manual. Hydrological Engineering Centre, US Army Corps of Engineers.
- Myrabø, S. (2008). Flom- og dimensjoneringsberegninger med hovedfokus på stikkrenner /Kulverter (notat). Jernbaneverket/ Klima og transport Dp3.
- Myhre, Ø. (2008). Kulverter/stikkrenner og grøfter i små vassdrag (Notat). Klima og transport Dp.3.
- Markhus, E (2003). Hydraulisk kapasitet Hoffsbekken kulvert under E18. Norconsult rapport. 29. april 2003.
- Markhus, E (2005). Befaring av Hoffsbekken kulvert (Notat). 10.02.2005.
- NVE (2008). Planlegging og utbygging i færerområder langs vassdrag. Retningslinjer, nr.1 2008. pp.18.
- Statens vegvesen (2005). Normaler – Vegbygging. 403 Funksjonskrav og andre viktig krav (S.103).
- Diverse kontakt informasjon og tegninger fra Statens vegvesen.

Internettkilder

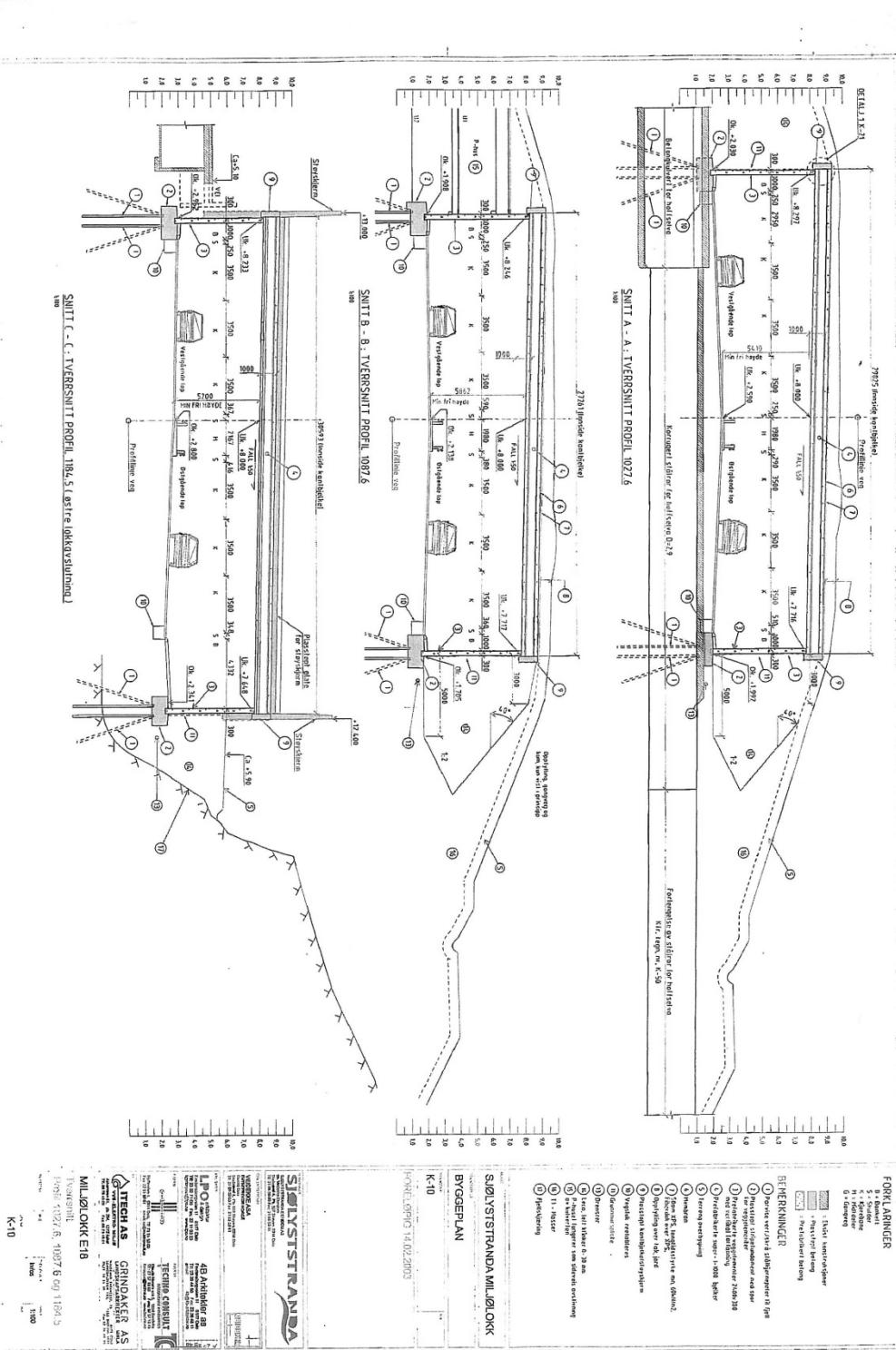
www.nve.no

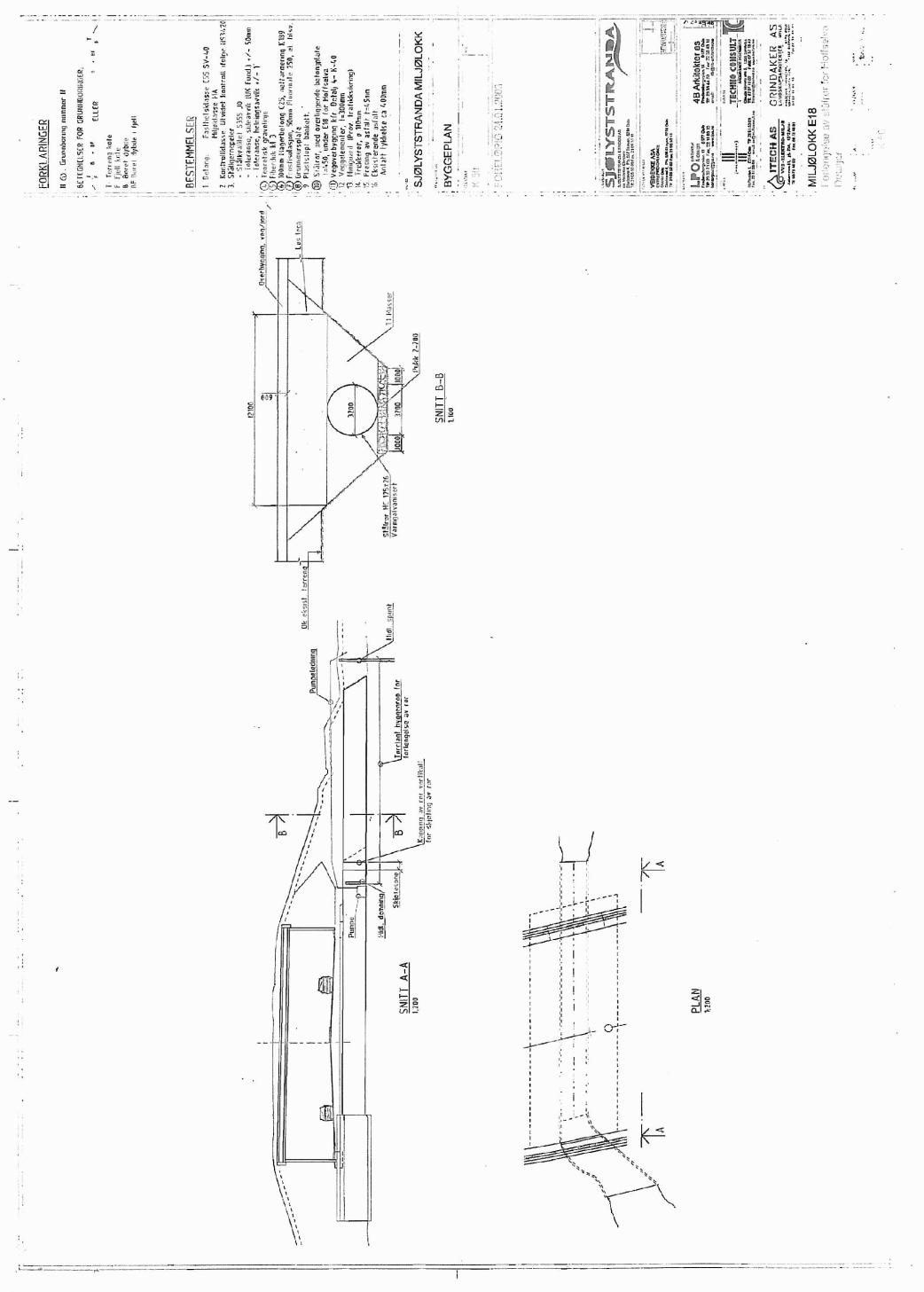
www.eklima.no

www.statkart.no

www.vegvesen.no

Vedlegg A. Tegning K-10 og K-50





Vedlegg B. Notat av Norconsult - Befaring av Hoffsbekken kulvert 10.02.2005.

Norconsult **NOTAT**

Side: 1 av 12

Til: Statens Vegvesen Region -Øst V/ Arnulf Olsen
Fra: Einar Markhus
Dato: 14. februar 2005

BEVARING AV HOFFSBEKKEN KULVERT 10.02.05

10.02.05 ble Hosbekken kulvert inspisert av Norconsult AS. Inspeksjonsteamet bestod av Ole Buer og Einar Markhus. Det ble tatt bilder av den nye delen av kulverten og mål ble tatt.

Innløp :

Her er kulverten forlenget med to svalbardrør med Ø 3,0 og 1,8 m. Lengden av Ø 1,8 røret ble målt til 24,7 m. Ø 3,0 røret er ca 1 m lengre. Fra Ø 1,8 røret er det gjort forberedelse til nødoverløp ved at to anboringer med Ø 1,4 m er montert på vestre side. Diameteren er redusert til 1,2 m ved overgang til betongrør ved enholdsvis 0,9 og 1,8 m fra anboringen for den øvre og nedre anboringen. Betongrørene skifter retning i en kum før rørene går rett mot veikulverten over E18.

De fleste av skjøttene mellom betongrørene er skjeve og rørene ikke ført tilstrekkelig langt inn i muffene. Flere pakninger er synlige, og noen har skader. Feilen kan føre til at evt. skjærkrefter kan gi skader på rørene og at rørene blir forskjøvet i forhold til hverandre. Inn-/ og utlekking av vann kan føre til utvasking av masse.

Overgang mellom Svalbardrør og betongrør var forskalet, og skal tydeligvis omstøpes. På den søndre rørføringen var det imidlertid ingen forskaling i underkant rør, og her var en ca. 10 cm bred spalte mellom rørene der underliggende pukklag var synlig. Her vil vann kunne strømme inn og ut av røret og føre til utvasking av masse.

Der Svalbardrørene munner ut i den plasserte, firkantede kulverten, ligger overkant av rørene i ca. samme nivå. Underkant Ø 1,8 m rør ligger følgelig ca. 1,2 m høyere enn underkant Ø 3,0 m røret som anagelig ligger på bunn firkantkulvert. Under Ø 1,8 m røret er det fylt med pukk som skråner ned fra underkant rør ned til bunn på betongkulverten, se skisse. Pukkmassene er ikke stabile, og vading i pukkskråningen, ført til utrasing. Strømmende vann vil også føre til at denne massen vil rase videre og bli vasket bort. Det kan også tenkes at vann kan bli ført gjennom pukkmassene langs røret. Dette vil også kunne føre til utvasking.

Gammel kulvert

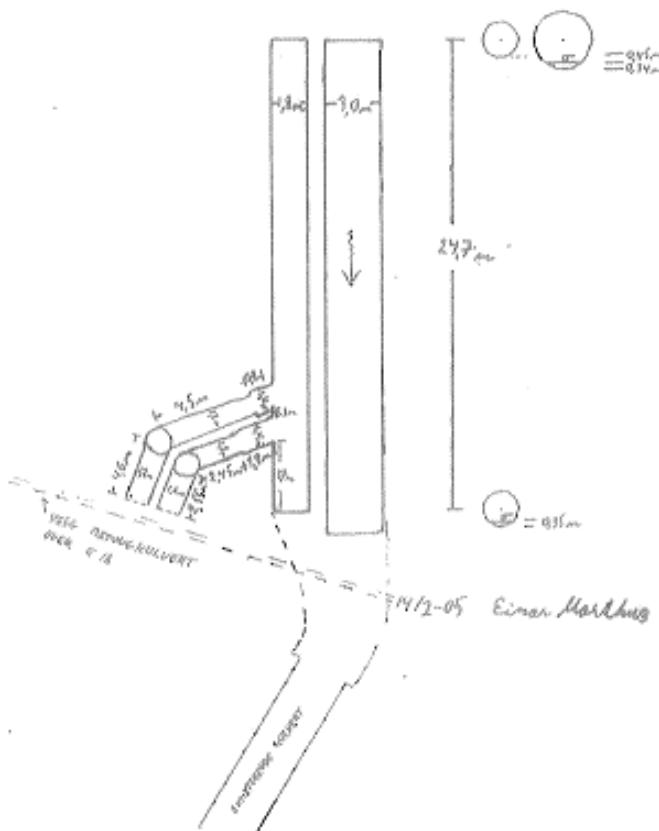
Den gamle kulverten (Ø 2,7 m) hadde en lengde på ca 35 m i henhold til oppmåling utført av Norconsult AS 23.07.03. 10.02.05 ble lengden av den gamle kulverten målt til 30,5 m. Det vil si at 4,5 m av den nederste delen av gamle kulvert er kappet og erstattet med et nytt svalbardrør med Ø 3,0 m. I tillegg er kulverten forlenget (med svalbardrør Ø 3,0 m) ytterligere 21,6 m (målt til utløpet i taket av kulverten).

I henhold til oppmålinger av vannstander inne i kulverten er det tydelig at taket ved utløpet til den gamle kulverten er lavere 10.02.05 enn det var ved oppmålingen 23.07.03. Senkning av taket ved utløpet er målt til drøye 0,1 m. 7,3 m oppstrøms utløpet av den gamle kulverten er det målt nedsenking, men den ligger innenfor måleusikkerheten.

Norconsult

NOTAT
Side 11 av 32

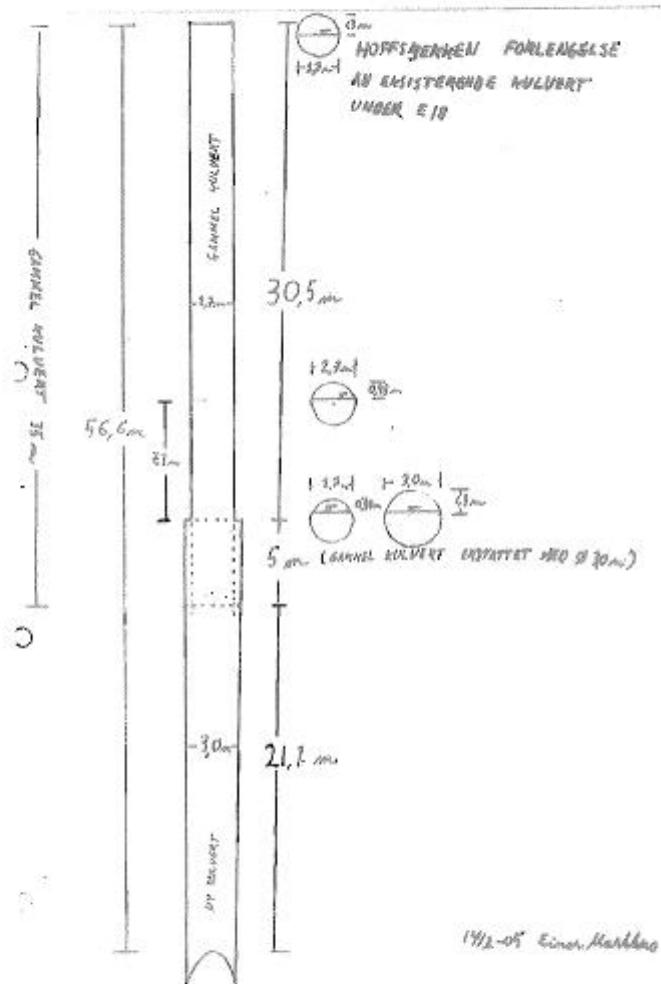
FØRGEREØRLSE TIL NØDVEKTELØP HOFFSBERGEN
ODDSTRØMS E10



Vestflengata 4, 1336 Sandvika Telefon 67 57 10 00 Telefax 67 64 49 70

E-post: post@norconsult.no Internett: www.norconsult.no

2005-02-16



Sandviken, 14. februar 2005

Einar Markhus

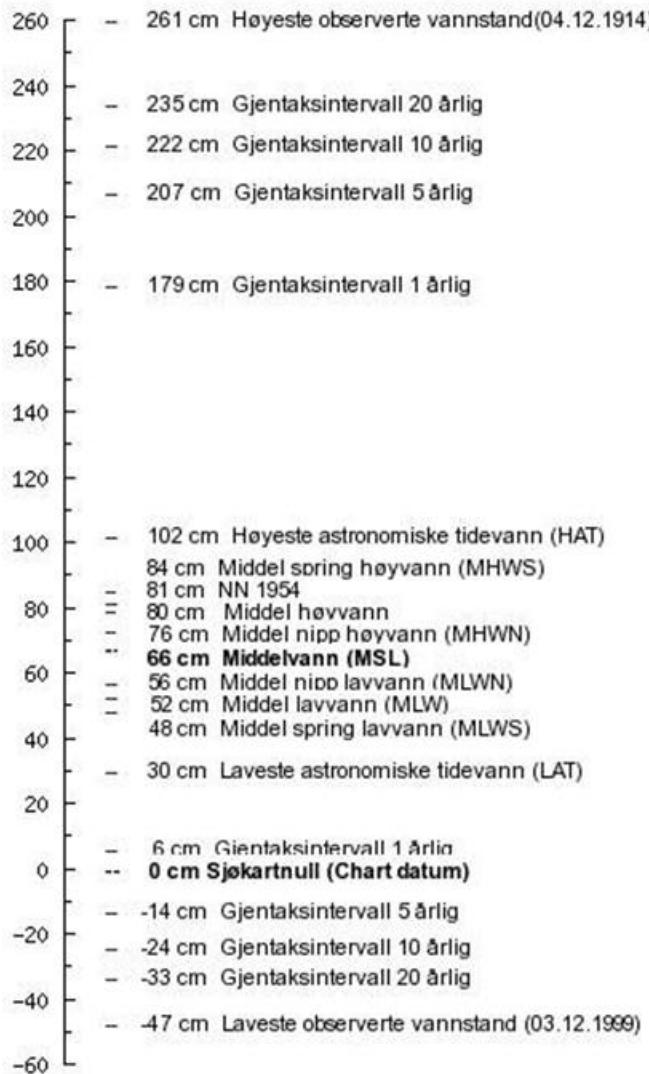
Vestflordgaten 4, 1338 Sandvika Telefon 67 57 10 60 Telifax 67 54 45 76
E-post: postmaster@vif.no - Dette beskjedet ble slettet den 10.02.05.door

七

Vedlegg C. Vannstand i Oslofjorden med referansenivå

Vannstandsnivå - Oslo

OSLO



Fra Statens kartverk og telefonsamtale med Tor Tørresen ved Statens kartverk i Stavanger.

Vedlegg D. Høyde definisjon i Oslo

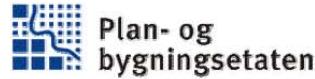
Kartkatalogen - Fastmerkeregister

Page 1 of 2



Gå til....

[forrige neste](#)



Fastmerkeregister

Kartdata fra
Plan- og bygningsetaten



Oslo kommune har idag omkring 17000 fastmerker spredt over hele kommunen. Dette er koordinatbestemte merker eller punkt som er faste eller varige - det være seg kamjernsbolter, aluminiumsrør i fast fjell eller et kirkespir for den saks skyld.

Disse punktene kan stilles opp over eller siktes til for å bestemme nøyaktig posisjon for oppmålingsarbeider.

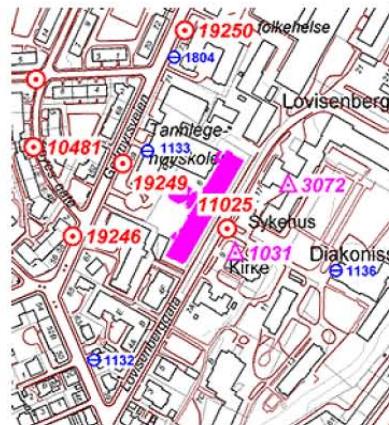
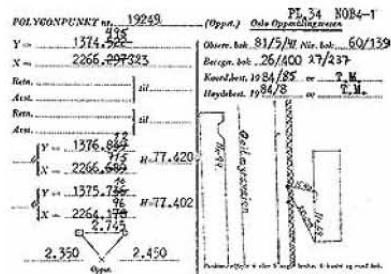
For samtlige punkt er det tegnet skisser som viser plassering av punktet. Det er også tatt bilder av flere av de mest brukte fjernsiktene (kirkespir, master og tårn). Det er utarbeidet et eget temakart på målestokk 1:5000 for visning av fastmerker.

Plan- og bygningsetaten bruker et lokalt koordinatsystem med origo i Oslo Observatorium. X-aksen i Oslo koordinatsystem er sammenfallende med akse III i Norges gamle offisielle koordinatsystem NGO1948. Y-aksen er derimot flyttet opp fra 58° N til Oslo Observatorium. For å få Oslo-koordinater må det derfor trekkes fra 212.979,18 på X-verdien til NGO1948.

Oslo har også sin egen høyde-referanse (nullpunkt) som ligger 0,212 meter over Norges offisielle høydegrunnlag NN1954.

Pr. idag arbeider vi innenfor Oslo lokalkoordinater, men på lengre sikt vil vi trolig gå over til det nye europeiske koordinatsystemet EUREF89/UTM.

Vi har idag ca. 80 landsnettpunkter i Oslo



Priogrupper:

Fastmerkeregister: H
Digitale skisser: I
Temakart 5000-fastmerke: J

beregnet i EUREF89/UTM.



Approx. 17000 Control Stations are established within the Municipality of Oslo. The Control Stations are used as basis for land, utility and cadastral surveying and as control points in mapping. There are an information sheet for each Control Station with details and a sketch describing the location of the Control Station relative to adjacent details. These sketches are also available in digital form. Control Stations and maps are based on a local Geodetic Reference System.

In the horizontal network the north- (X-) axis is equivalent to the old Norwegian Official Reference System NGO48 Axis III, while the east- (Y-) axis offset is 212.979,18 meters relative to 58° N used as origin in the NGO48. The local Height Reference is 0,212 meters above the Norwegian Official Height Reference System NN1954. There are plans to establish geodetic transformation formulas to be able to convert from the Oslo local Reference System into UTM co-ordinates based on the Euref89 (WGS84) ellipsoid.

[Tilbake til toppen av denne siden](#)

Copyright PBE Oslo kommune 2002

Vedlegg 1



Delprosjekt 3 Sikring mot flom og erosjon

Delprosjektet omfatter utredning av behov og muligheter for tilpasning til endret klima, både gjennom dimensjonering av drenering, erosjonssikring eller vegen og ved endringer i kriterier for valg av løsninger. Målet er å formulere forslag til endringer i retningslinjer for prosjektering, tilstandsvurdering og vedlikehold. Et titalls pilotprosjekter brukes til utprøving og demonstrasjon.

Delprosjektet er organisert i følgende aktiviteter:

- 3-1 Drenering
- 3-2 Erosjonssikring mot strømmende vann
- 3-3 Sikring mot bølgeerosjon
- 3-4 Miljøeffekt av endret klima
- 3-5 Overvann: fordrøyning, drenering og vanngjennomløp (2010)

Drenering ser på følgende tema:

- metoder og datagrunnlag for beregning av nødvendig dreneringskapasitet,
- for nye veger: bedre verktøy for prosjektering og valg av drensløsninger for vegkroppen og omgivelsene
- for drift/vedlikehold og eventuell oppgradering av eksisterende veger: tilstandsvurdering, tilstandsdata til bruk i kontrakter

Erosjonssikring mot strømmende vann ser på utfordringer knyttet til prosjektering og sikring av brufundamenter samt beskyttelse av vegens omgivelser og sikring av vegskråninger.

Sikring mot bølgeerosjon ser på utfordringer knyttet til veger, ferjekaier, tilløpsfyllinger for bruver og deres sikring mot bølgeerosjon og overskalling.

Miljøeffekt av endret klima har som mål å utvikle et bedre og klimatilpasset grunnlag for valg og prosjektering av renselösninger for avrenningsvann fra veg.

Overvann: fordrøyning, drenering og vanngjennomløp er en koordinerende aktivitet i 2010 som har som mål å utvikle grunnlag for en håndbok med vannhåndtering som tema.

Delprosjektleder: Frode Oset, Vegdirektoratet.

Fagsekretær for delprosjektet: Kristine Flesjø, Vegdirektoratet

Vedlegg 2



Prosjektrapporter fra 'Klima og transport'

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lerfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk
2520	Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2542	Status og problemstillinger for grusvegnettet ved endret klima	Per Otto Aursand og Joralf Aurstad, Statens vegvesen og Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS
2566	Pilotprosjekt på stikkrenner E 136 Dombås - Ålesund	Kristine Flesjø og Hilde Hestangen, Statens vegvesen og Than Ngan Nguyen, NTNU student
2573	Rensing av overvann fra vei i fremtidens klima, 2071-2100	Thorkild Hvitved-Jacobsen, Jes Vollertsen og Svein Åstebøl, COWI
2582	Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller	Priska Heller og Lars Jenssen Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU
2586	Utvikling og uttesting av skredrisikomodell for vegnettet i Norge	Heidi Bjordal og Martin Weme Nilsen, Statens vegvesen
2560	Erosjonsskader ved Middøla bru: årsak og tiltak	Lars Jenssen, NTNU, Erik Holmqvist og Kari Svelle Reistad, NVE
2599	Klimaets påvirkning på tilstandsutvikling for vegdekker – E136	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2600	Risikovurdering av steinsprangfare på Oppdølsstranda Samling av bakgrunnsmateriale	Heidi Bjordal, Statens vegvesen
2609	RV362 Bitu bru, Vinje kommune, Telemark, Pilotprosjekt erosjonssikring	Øyvind Armand Høydal, NGI
2610	Veger og drivsnø Håndbok om planlegging og drift av veger i drivsnøområder - Høringsutgave	Harald Norem og Espen Thørting, Statens vegvesen, Skuli Thordarson, Vegsýn
VD 4	Ny prioriteringsmodell for rassikringsplanene	Viggo Aronsen, Statens vegvesen m.fl.
VD 5	Skred og flom på veg Statistiske betraktninger	Heidi Bjordal og Tonje Eide Helle, Statens vegvesen
VD 17	Pilotprosjekt på stikkrenner Casestudier Bulken, Sagelva og Neveråa	Jon Erling Einarsen, ViaNova Plan og Trafikk AS, Lena Tøfte, SINTEF, Øyvind Simonsen og Eivind Hesselberg, COWI AS
VD 18	Pilotprosjekt på stikkrenner Kapasitetsberegning E136 Dombås - Ålesund	Espen Arntzen, Egil Andersen, Multiconsult AS
VD 19	Databehov ved trinnvis varsling av snøskredfare Erfaringer fra lokal og regional varsling i Møre og Romsdal mars 2010	Tore Humstad, Statens vegvesen

VD 20	NVDB som grunnlag for klimatilpasning Vurdering av datamodeller og data	Knut Jetlund, Statens vegvesen
VD 21	Samordning av vær- og klimadata Hvordan oppnå bedre utnyttelse av data fra statens værstasjoner?	Tore Humstad, Statens vegvesen m.fl.
VD 22	Kartportal FøreVar Oppsummering ved prosjektets slutt	Tore Humstad, Statens vegvesen
VD 23	ROS-analyser av bruer mht værrelaterte hendelser	Arne Gussiås, Hans Olav Hagen, Statens vegvesen
VD 24	ROS-analyser av stikkrenner mht værrelaterte hendelser	Skuli Thordarson, Vegsýn, Steinar Myrabø, Jernbaneverket og Øystein Myhre, Statens vegvesen
VD 25	ROS-analyser av vegoverbygning mht værrelaterte hendelser	Ivar Horvli, ViaNova Plan og trafikk AS /Statens vegvesen
VD 26	Tilstandsutvikling på vegnettet Virkninger av endret klima på sporutvikling på veger med bituminøst dekke	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og trafikk AS
VD 27	Veger og snøskred Håndbok om sikring mot snøskred - Høringsutgaven	Harald Norem, Statens vegvesen
VD 28	Beredskapsplan for driftskontraktene Forslag til plan for uvær og naturfarer	Tore Humstad, Solveig Kosberg, Statens vegvesen
VD 29	Risiko- og sårbarhetsanalyser mht værrelaterte hendelser	Arne Gussiås, Statens vegvesen Region midt
VD 30	Miljøeffekt av endret klima Oversikt over mulige problemstillinger	Ola Nordal, Asplan Viak AS
VD 32	Sikring av veger mot steinskred – Grunnlag for veiledning	Svein Helge Frækaland og Heidi Bjordal, Statens vegvesen, m.fl.
VD 49	Drenering, fordrøyning og vanngjennomløp	Sammenstilt av Tor Erik Frydenlund, Geo Con og Kristine Flesjø, Statens vegvesen
VD 55	Flomrisiko og konsekvensanalyse – Pilotprosjekt E18 ved Hoffsbekken	Linmei Nie, SINTEF Byggforsk
VD 56	Regional skredvarsling Resultater fra testvarsling i Romsdalen – Trollheimen (2010-2011)	Tore Humstad, Solveig Kosberg, Knut Inge Orset, Statens vegvesen
SVV 69	Skredrisikomodell - videreutvikling	Heidi Bjordal, Statens vegvesen
SVV 70	Erosjonssikring av bruer i Telemark - Ruså, Stavså, Tanså og Vinje	Arvid Olaus Straumsnes, Multiconsult AS
SVV 71	Veger utsatte for stigende havnivå og stormflo	Arne Lothe, SINTEF, m.fl.
SVV 73	Flom- og sørpeskred – Forslag til håndbok	Harald Norem, Statens vegvesen
SVV 74	Vinterdrift i endret klima	Skuli Thordarson, Vegsýn, m.fl.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Boks 8142 Dep.
N-0033 Oslo
Tlf. (+47 915)02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN: 1892-3844