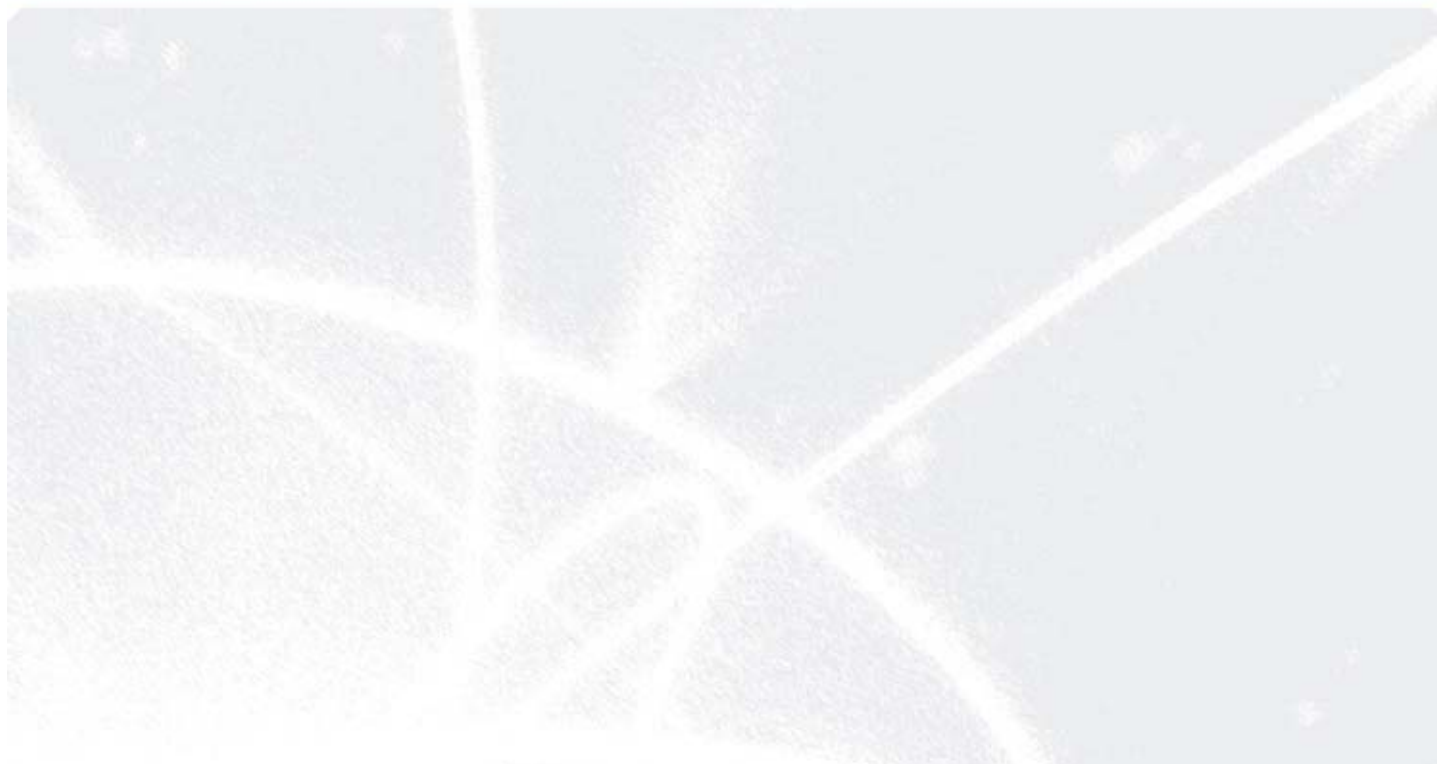


Vestlandsforskningsrapport nr. 1/2011

Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur

Delrapport 3: Egne analyser av sårbarhet overfor klimaendringer belyst med eksempler fra ulike kommuner

Carlo Aall (red.)



Vestlandsforskning rapport

Tittel Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur Delrapport 3: Egne analyser av sårbarhet overfor klimaendringer belyst med eksempler fra ulike kommuner	Rapportnummer 1/2011 Dato 07.01.2011 Gradering Åpen
Prosjekttittel Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur	Antall sider 110 Prosjektnr 6191
Forskere Kyrre Groven (Vestlandsforskning), Eli Heiberg (Vestlandsforskning), Cecilie Flyen Øyen (prosjektleder ved SINTEF), Martin Miles (Bjerknessenteret), Leif Sigurd Hafskjold (SINTEF), Stian Bruaset (SINTEF), Anders-Johan Almås (SINTEF), Oddbjørn Gjerde (SINTEF)	Prosjektansvarlig Carlo Aall (Vestlandsforskning)
Oppdragsgiver KS forskning	Emneord Klimatilpasning, klimasårbarhet, fysisk infrastruktur, kommune, fylkeskommune

Andre publikasjoner fra prosjektet

Aall, C. (red) (2010): *Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Delrapport 1: Oppsummering av kunnskapsstatus*. VF-rapport 5/2010. Sogndal: Vestlandsforskning.

Miles, M. (2010): *Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Delrapport 2: Klimaanalyse*. Bergen: Bjerknessenteret.

Aall, C. (red) (2011): *Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Delrapport 4: Egne analyser av tilpasningsmuligheter belyst med eksempler fra ulike kommuner*. VF-rapport 2/2011. Sogndal: Vestlandsforskning.

Aall, C. (red) (2011): *Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Delrapport 5: Egne analyser av forutsetninger og barrierer for tilpasning til klimaendringer belyst med eksempler fra ulike kommuner*. VF-rapport 3/2011. Sogndal: Vestlandsforskning.

Aall, C. (red) (2011): *Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Sluttrapport*. VF-rapport 2/2011. Sogndal: Vestlandsforskning.

ISBN: 78-82-428-0302-3	Pris: 100 kroner
-------------------------------	-------------------------

Forord

Dette er den tredje av fem planlagte delrapporter fra prosjektet "Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur" for KS-forskning som gjennomføres i et samarbeid mellom Vestlandsforskning, SINTEF og Bjerknessenteret. Den foreliggende rapporten gjelder egne analyser av *mulige konsekvenser av klimaendringer* for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Følgende personer hardeltatt i å skrive rapporten:

- Redigering og overordnet faglig ansvar: Carlo Aall (Vestlandsforskning)
- Metodeutvikling på tvers av tema: Carlo Aall (Vestlandsforskning)
- Arealforvaltning: Eli Heiberg (Vestlandsforskning), Martin Miles (Bjerknessenteret)
- Vannforsyning og avløpshåndtering: Leif Sigurd Hafskjold (SINTEF), Stian Bruaset (SINTEF), Carlo Aall (Vestlandsforskning)
- Offentlige bygg: Cecilie Flyen Øyen (SINTEF), Anders-Johan Almås (SINTEF), Kyrre Groven (Vestlandsforskning)
- Offentlig transport og transportinfrastruktur: Kyrre Groven (Vestlandsforskning), Carlo Aall (Vestlandsforskning)
- Kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon: Cecilie Øyen (SINTEF), Oddbjørn Gjerde (SINTEF), Carlo Aall (Vestlandsforskning)

De ulike delrapportene er skrevet med tanke på å kunne leses uavhengig av hverandre. Derfor vil noe av bakkgrunnsinformasjonen om prosjektet og innretningen av vårt arbeid være felles for de ulike delrapportene.

Sogndal/Bergen/Oslo/Trondheim 31. januar 2011

Carlo Aall (Vestlandsforskning)

prosjektleder

Innhold

TABELLER OG FIGURER	5
INNLEDNING.....	8
METODE.....	10
HOVEDTILNÆRMING	10
VURDERING AV KLIMASÅRBARHET	12
EGNE ANALYSER AV SÅRBARHET FOR KLIMAENDRINGER	19
AREALFORVALTNING	19
BYGG	37
KOMMUNECASE BYGG	44
VANNFORSYNING OG AVLØPSHÅNDTERING	62
TRANSPORT OG TRANSPORTINFRASTRUKTUR.....	78
KRAFTOVERFØRING OG ELEKTRONISK KOMMUNIKASJON	94
OPPSUMMERING	104
TEMATISK OPPSUMMERING	104
SAMLET OPPSUMMERING	106
REFERANSER	108

Tabeller og figurer

TABELL 1 TEMA SOM VIL BLI ANALYSERT	10
TABELL 2 ULIKE REGIONINNDELINGER SOM LIGGER TIL GRUNN FOR INNDELINGEN ANVENDT I DENNE RAPPORTEN	12
TABELL 3 TYPOLOGI FOR VURDERING AV KLIMASÅRBARHET INNEN KOMMUNAL OG FYLKESKOMMUNAL INFRASTRUKTUR	13
TABELL 4 KLIMAPARAMETRE VALGTE FOR DE NASJONALE KLIMAANALYSENE FORDELT PÅ PROSJEKTETS FEM TEMA	13
TABELL 5 MULIGE UTVIKLINGSTREKK NÅR DET GJELDER FYSISK INFRASTRUKTUR SOM KAN SKJE UAVHENGIG AV KLIMAENDRINGER (SELSTAD, 2008; 2010; AALL MFL, 2010)	14
TABELL 6 EKSEMPEL FRA SOGN OG FJORDANE PÅ VARIASJONER I VÅRE NEDSKALERINGER FOR FORVENTEDE ENDRINGER I NEDBØR (FRA 1961-90 TIL ÅR 2050)	15
TABELL 7 FORSLAG TIL EN TYPOLOGI FOR LOKALISERING AV ULIKE TYPER USIKKERHET VED ANALYSE AV SÅRBARHET FOR KLIMAENDRINGER OG VURDERING AV MULIGE TILTAK FOR TILPASNING TIL KLIMAENDRINGER. ILLUSTRERT FOR TEMAET "BYGNINGER"	17
TABELL 8 FORVENTEDE KLIMAENDRINGER I FREDRIKSTAD KOMMUNE SAMMENLIGNET MED 1960-91	32
TABELL 9 FORVENTEDE KLIMAENDRINGER I VOSS KOMMUNE FRAM MOT 2050 SAMMENLIGNET MED 1960-91	34
TABELL 10 USIKKERHETSPROFIL FOR VURDERING AV KLIMASÅRBARHET FOR JORDBRUKSPRODUKSJON OG LOKALISERING AV FYSISK INFRASTRUKTUR	36
TABELL 11. PARAMETRE INNENFOR ULIKE SÅRBARHETSKATEGORIER, MED TILHØRENDE KONSEKVENSER FOR BYGNINGER.	38
TABELL 12 USIKKERHETSPROFIL FOR VURDERING AV KLIMASÅRBARHET FOR OFFENTLIGE BYGG	42
TABELL 14. KOMMUNALE BYGNINGER I LYNEN KOMMUNE, SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE.	47
TABELL 15. KLIMASCENARIO FOR LYNEN 2050 (VERSTEFALL) MED TILHØRENDE KONSEKVENSER FOR BYGNINGER.	48
TABELL 17. KOMMUNALE BYGNINGER I FREDRIKSTAD KOMMUNE SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE.	54
TABELL 18. KLIMASCENARIO FOR FREDRIKSTAD 2050 I FORHOLD TIL PERIODEN 1960-1991. VERSTEFALL MED TILHØRENDE KONSEKVENSER FOR BYGNINGER.	56
TABELL 19. KOMMUNALE BYGNINGER I MELHUS KOMMUNE, FORDELT PÅ BYGNINGSTYPE. KILDE: MELHUS KOMMUNE.	61
TABELL 20 DE VIKTIGSTE EFFEKTER AV KLIMAENDRINGER FOR VANN- OG AVLØPSSYSTEMET.....	64
TABELL 21: FORVENTET MIDDEL TEMPERATUR- OG NEDBØRSENDRING OVER ÅRET I 2050 I EKSEMPELKOMMUNENE, GJENNOMSNIITTSVERDIER, MIN OG MAKS AV DE 4 MODELLERNE SOM ER BRUKT I SIMULERINGENE. ANTALL FRYSE-TINE-PERIODER OG HAVNIVÅSTIGNING (ENDRING I CM AV GJENNOMSNITT OG STORMFLO)	72
TABELL 22: STATUS I EKSEMPELKOMMUNENES VÅ-SYSTEM.....	73
TABELL 23 USIKKERHETSPROFIL FOR VURDERING AV KLIMASÅRBARHET FOR VANN OG AVLØP.....	77
TABELL 24 PARAMETRE SOM ER ANTATT Å VÆRE VESENTLIG I Å BESTEMME SÅRBARHET FOR KLIMAENDRINGER INNEN KOMMUNAL OG FYLKESKOMMUNAL TRANSPORTINFRASTRUKTUR OG TRANSPORT	79
TABELL 25 REGIONAL VARIASJON I FORVENTEDE ENDRINGER I TEMPERATURPARAMETRE FRAM MOT 2050 SAMMENLIGNET MED PERIODEN 1960-1990	80
TABELL 26 REGIONAL VARIASJON I FORVENTEDE ENDRINGER I NEDBØRPARAMETRE FRAM MOT 2050 SAMMENLIGNET MED PERIODEN 1960-1990.....	80
TABELL 27. RELATIV HAVNIVÅSTIGNING (CM) OG MULIG STORMFLO (CM OVER SJØKARTNULL, NN1954) FRA 2000 TIL 2050. KILDE: VASSKOG (2007).....	84
TABELL 28. KLIMARELEVANT OG IKKE KLIMARELEVANT VEDLIKEHOLDSETTERSLEP PÅ FYLKESVEGNETTET I TROMS I 2010, MILL. KR. KILDE: STATENS VEGVESEN, AVD. TROMS.	88
TABELL 29 USIKKERHETSPROFIL FOR VURDERING AV KLIMASÅRBARHET FOR VEGGER OG HAVNER.....	93
TABELL 30 DE VIKTIGSTE EFFEKTER AV KLIMAENDRINGER FOR KRAFTOVERFØRING OG ELEKTRONISK KOMMUNIKASJON	95
TABELL 31 USIKKERHETSPROFIL FOR VURDERING AV KLIMASÅRBARHET FOR INFORMASJONSTEKNOLOGI OG KRAFTFORSYNING	102
TABELL 32 OPPSUMMERING AV VÅRE VURDERING OMKRING KLIMASÅRBARHET INNEN HVER KATEGORI AV KOMMUNAL OG FYLKESKOMMUNAL INFRASTRUKTUR	107
TABELL 33 OPPSUMMERING AV VÅRE VURDERINGER OMKRING REGIONAL VARIASJON I DEN SAMLEDE KLIMASÅRBARHETEN INNEN HVER KATEGORI AV KOMMUNAL OG FYLKESKOMMUNAL INFRASTRUKTUR	107
FIGUR 1 ANALYSEMODELL.....	9
FIGUR 2 FORVENTEDE ENDRINGER FRA 1960-90 TIL 2050 FOR NEDBØRSRELATERTE KLIMAPARAMETRE SOM ER RELEVANTE FOR JORDBRUKSPRODUKSJON	21

FIGUR 3 FORVENTEDE ENDRINGER FRA 1960-90 TIL 2050 FOR TEMPERATURRELATERTE KLIMAPARAMETRE SOM ER RELEVANTE FOR JORDBRUKSPRODUKSJON	22
FIGUR 4 OMFANG AV OG ENDRINGER I JORDBRUKSAREAL I DRIFT PR FYLKE, 1999 OG 2009 (STATENS LANDBRUKSFORVALTNING 2010 I RIKSREVISJONEN 2010)	24
FIGUR 5 ANTALL BYGNINGER INNENFOR KARTLAGTE OMRÅDER FOR STEIN OG SNØSKRED PR 1000 INNBYGGERE, 2008 (RIKSREVISJONEN 2010).....	26
FIGUR 6 ANTALL BOSATTE PERSONER INNENFOR KARTLAGTE OMRÅDER FOR STEIN OG SNØSKRED PR 1000 INNBYGGERE PR REGION, 2008 (RIKSREVISJONEN 2010, SSB 2010)	27
FIGUR 7 ANTALL BOSATTE PERSONER INNENFOR KARTLAGTE OMRÅDER FOR STEIN OG SNØSKRED PR 1000 INNBYGGERE PR FYLKE 2008 SAMMENSTILT MED INDEKSERING AV MAKSVERDIEN FOR FORENTEDE ENDRINGER I EKSTREMNE DBØR MOT 2050 SAMMENLIGNET MED 1960-1990 (RIKSREVISJONEN 2010, SSB 2010).....	27
FIGUR 8 INDEKSERING AV ANTALL BOSATTE PERSONER I OMRÅDER KARTLAGT FOR 500 ÅRS FLOM (RIKSREVISJONEN 2010) OG FORVENTEDE ENDRINGER I VINTERNE DBØR OG EKSTREMNE DBØR FRAM MOT 2050. VESTFOLD ER IKKE KARTLAGT NÅR DET GJELDER FLOMSONER	29
FIGUR 9 PERSONER SOM BOR INNENFOR KARTLAGTE OMRÅDER FOR TO KATEGORIER AV FLOM I 2010, PER 1.000 INNBYGGERE (RIKSREVISJONEN, 2010).....	30
FIGUR 10 AREAL AV DYRKA OG DYRKBAR JORD SOM ER OMDISPONERT ETTER PLAN- OG BYGNINGSLOVEN OG JORDLOVEN I FREDRIKSTAD FRA 2005 – 2009 (KILDE SSB-KOSTRA)	33
FIGUR 11 AREAL AV DYRKA OG DYRKBAR JORD SOM ER OMDISPONERT ETTER PLAN- OG BYGNINGSLOVEN OG JORDLOVEN I VOSS FRA 2005 – 2009. (KILDE SSB-KOSTRA).....	35
FIGUR 12. PROSENTVIS ØKNING I EKSTREMNE DBØR OM HØSTEN OG NE DBØRSMENGDE OM VINTEREN FRA PERIODEN 1961-1990 TIL 2050. VERSTEFALLSSCENARIO BLANT NEDSKALERINGER FRA FIRE KLIMAMODELLER.	39
FIGUR 13. RÅTEINDEKS FOR NORGE I DAG (VENSTRE) OG FOR ÅR 2100 (HØYRE). (ØYEN, ALMÅS, HYGEN & SARTORI 2010).	40
FIGUR 14 FORVENTET HAVNIVÅSTIGNING FRAM MOT 2050 IFHT PERIODEN 1960-91 (SNITT FOR ALLE KYSTKOMMUNER=100)	40
FIGUR 15 ABSOLUTT TEMPERATURENDING (°C) FRA PERIODEN 1961-90 TIL 2050 PÅ ÅRSTIDSBASIS. VERSTEFALLSSCENARIO BLANT NEDSKALERINGER FRA FIRE KLIMAMODELLER.	41
FIGUR 16. PROSENTVIS ENDRING FOR NE DBØR (HØST), EKSTREMNE DBØR (HØST), FRYSEPUNKTPASSASJER (ÅR) OG VINDHASTIGHET (VINTER) FRA PERIODEN 1961-90 TIL 2050. VERSTEFALLSSCENARIO BLANT NEDSKALERINGER FRA FIRE KLIMAMODELLER.	42
FIGUR 17. TIL VENSTRE, LYGENHALVØYA (KILDE: GEO NORGE.NO). TIL HØYRE BYGNINGENE I LYGEN KOMMUNE MARKERT SOM GRØNNE PRIKKER (KILDE: PHD A.J. ALMÅS). LENGES TIL HØYRE, KLIMADATA FOR LYGEN (VÆRSTASJON ”91260 LYGSEIDET IV”)......	45
FIGUR 18. ANTALL BYGNINGER I LYGEN KOMMUNE, SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE (KILDE: PHD A.J. ALMÅS).....	46
FIGUR 19. ANTALL KOMMUNALE BYGNINGER I LYGEN KOMMUNE SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE	46
FIGUR 20. ANTALL KVADRATMETER KOMMUNALE BYGNINGER I LYGEN KOMMUNE SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE	47
FIGUR 21. ANTALL BYGNINGER I LYGEN KOMMUNE SOM VIL STÅ I VANN VED 1 METER HAVNIVÅSTIGNING (KILDE: PHD – A.J. ALMÅS).	49
FIGUR 22. LYGSEIDET, KOMMUNESENTERET I LYGEN (FOTO: SVEIN SAMUELSEN). (UNDER) SENTRUM AV LYGSEIDET I DAG (A), VED 1 METER HAVNIVÅSTIGNING (B) OG VED 3 METER STORMFLO (C).	50
FIGUR 23. ANTALL BYGNINGER I ULIKE RÅTERISIKOKLASSE R I LYGEN KOMMUNE I DAG (BLÅ) OG FOR ET HADA2 UTSLIPPSSCENARIO FOR ÅR 2100 (KILDE: PHD – A.J. ALMÅS).	51
FIGUR 24 FREDRIKSTAD KOMMUNE (VENSTRE) OG BYGNINGSMASSE N (HØYRE) I FREDRIKSTAD KOMMUNE MARKERT MED GRØNNE PUNKTER. KLIMADATA FOR FREDRIKSTAD (VÆRSTASJON ”3050”) (KILDE: PHD – A.J. ALMÅS).	54
FIGUR 25. ANTALL BYGNINGER I FREDRIKSTAD KOMMUNE SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE (KILDE: PHD A.J. ALMÅS).	54
FIGUR 26. ANTALL KOMMUNALE BYGNINGER I FREDRIKSTAD SORTERT ETTER BYGNINGSTYPE.	55
FIGUR 27. BYGNINGSAREAL I KOMMUNALT EIDE BYGNINGER I FREDRIKSTAD (M ²).	55
FIGUR 28. ANTALL BYGNINGER SOM BLIR BERØRT VED 1 METER HAVNIVÅSTIGNING I FREDRIKSTAD KOMMUNE. KILDE: PÅGÅENDE PHD-ARBEID A.J. ALMÅS.	57
FIGUR 29. ANTALL BYGNINGER I FREDRIKSTAD KOMMUNE SOM VIL STÅ I VANN VED 1 METER HAVNIVÅSTIGNING (KILDE: PHD – A.J. ALMÅS).	58
FIGUR 30. FREDRIKSTAD SENTRUM VED SJØKANTEN (FOTO: FREDRIKSTAD KOMMUNE). FREDRIKSTAD SENTRUM I DAG (A), VED 1 METER HAVNIVÅSTIGNING (B) OG HAVNIVÅSTIGNING KOMBINERT MED STORMFLO (C) FOR ÅR 2100. KILDE: PÅGÅENDE PHD-ARBEID A.J. ALMÅS	58
FIGUR 31. RÅTERISIKO FOR BYGNINGSMASSE N I FREDRIKSTAD KOMMUNE I DAG (BLÅ STOLPE) OG FOR 2100 BASERT PÅ KLIMASCENARIOET HADA2 (RØD STOLPE). PÅGÅENDE PHD-ARBEID A.J. ALMÅS.	59
FIGUR 32 FORVENTEDE ENDRINGER I NE DBØR FRAM MOT 2050 IFHT PERIODEN 1960-1991 (KLIMAMODELLENE SOM GIR STØRST FORVENTET ØKNING)	71
FIGUR 33 SPILLVANNSNETT FORDELT PÅ PERIODE OG ANDEL FORNYET SPILLVANNSNETT, GJENNOMSITT FOR TRE SISTE ÅR.....	72

FIGUR 34 INDIKATORER FOR NATURLIG KLIMASÅRBARHET FOR KOMMUNALE OG FYLKESKOMMUNALE VEGER UBASERT PÅ TALL FOR SAMLET KOMMUNAL OG FYLKESKOMMUNAL VEILENGDE OG FRAMSKRIVING AV KLIMAENDRINGER TIL 2050	81
FIGUR 35 INDIKATORER FOR DEN REGIONALE VARIASJONEN I NATURLIG KLIMASÅRBARHET FOR OFFENTLIGE HAVNER BASERT PÅ DATA FOR SAMLET GODSMENGDE I TONN OVER KOMMUNALE HAVNER OG ANTALL HAVNER	82
FIGUR 36. ABSOLUTT TEMPERATURENDRING (°C) FRA PERIODEN 1961-90 TIL 2050 PÅ ÅRSTIDSBASIS. VERSTEFALLSSCENARIO BLANT NEDSKALERINGER FRA FIRE KLIMAMODELLER.	83
FIGUR 37. PROSENTVIS ENDRING FOR NEDBØR (HØST), EKSTREMNEDBØR (HØST), FRYSEPUNKTPASSASJER (ÅR) OG VINDHASTIGHET (VINTER) FRA PERIODEN 1961-90 TIL 2050. VERSTEFALLSSCENARIO BLANT NEDSKALERINGER FRA FIRE KLIMAMODELLER.	83
FIGUR 38. ENDRING I ANTALL DAGER MED SNØDEKKE I HORDALAND FRA 1961-1990 TIL 2171-2100. KILDE: WWW.SENORGE.NO	84
FIGUR 39. DEKKESTANDARD PÅ DET GAMLE FYLKESVEGNETTET I ØSTFOLD 1997-2009. KILDE: STATENS VEGVESEN AVDELING ØSTFOLD (2009).	87
FIGUR 40. ENDRING I VINDHASTIGHET (%) FRA PERIODEN 1961-90 TIL 2050 OM I DE FIRE NORDLIGE KYSTRREGIONENE. VERDIER FOR BESTEFALL OG VERSTEFALL BLANT FIRE KLIMAMODELLER (A1B UTSLIPPSSCENARIO).	90
FIGUR 41 INDEKSETERTE VERSTEFALL FORVENTEDE PROSENTVISE ENDRINGER I NEDBØRSRELATERTE KLIMAPARAMETRE SOM ANTAS Å VÆRE RELEVANT FOR KRAFTOVERFØRING OG ELEKTRONISK KOMMUNIKASJON. ENDRINGER I 2050 IFHT PERIODEN 1960-1991 (100 = LANDSGJENNOMSNITT)	97
FIGUR 42 INDEKSETERTE VERSTEFALL FORVENTEDE PROSENTVISE ENDRINGER I TEMPERATURRELATERTE KLIMAPARAMETRE SOM ANTAS Å VÆRE RELEVANT FOR KRAFTOVERFØRING OG ELEKTRONISK KOMMUNIKASJON. ENDRINGER I 2050 IFHT PERIODEN 1960-1991 (100 = LANDSGJENNOMSNITT)	98
FIGUR 43 ENDRINGER FOR ULIKE KLIMAPARAMETRE I DE UTVALGTE CASEKOMMUNENE I 2050 IFHT PERIODEN 1960-1991, BASERT PÅ VERSTEFALLSSCENARIO	100

Innledning

Om prosjektet

Denne rapporten inngår i prosjektet "Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur" for KS-forskning som skal utrede følgende to forhold:

- *Sårbarhetsstudie*: vurdere konsekvenser klimaendringene vil få for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur.
- *Tilpasningsstudie*: vurdere tiltak som kan gjennomføres innenfor kommunale sektorområder og innen kommunal og regional planlegging, gitt eksisterende klimaframskrivninger

Med fysisk infrastruktur mener vi følgende:

- Arealforvaltning
- Vannforsyning
- Avløps- og overvannshåndtering
- Offentlige bygg
- Offentlig transport
- Transportinfrastruktur
- Kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon

Med *kommunal* fysisk infrastruktur mener vi følgende:

- Infrastruktur *eid* av kommuner eller fylkeskommuner (for eksempel offentlige bygg).
- Infrastruktur som disse har et primæransvar for å *drive* (for eksempel infrastruktur knyttet til vann, avløp og renovasjon).
- Annen offentlig infrastruktur der dette er *indirekte* relevant for kommunesektoren (for eksempel ledningsnett for kraftoverføring).

I et tidligere klimatilpasningsprosjekt for KS-forskning ble det utviklet en modell som skiller mellom klima- og samfunnsendringer (jf figuren under). Denne modellen ble utviklet i KS-prosjektet "Storm, skred, flom og oljeutslipp – ansvar, myndighet, roller og finansiering av sikringstiltak og skadeforebyggende arbeid" ¹ ledet av Vestlandsforskning, og er senere videreutviklet i prosjektet "Lokal klimatilpasning og klimasårbarhet i Norge" (NORADAPT)² ledet av CICERO. Det er to viktige poeng med en slik todelt modell: Å få fram at samfunnets framtidige klimasårbarhet er en sumeffekt av hvordan klimaet og samfunnet endrer seg, og å få fram skillet mellom en virknings- og årsaksinnretning av klimatilpasningsarbeidet. Et ensidig fokus på den partielle effekten av klimaendringer kan lede oppmerksomheten ensidig i en virkningsinnretning, forstått som tiltak rettet inn mot en gitt virkning av klimaendringer (eks bygge rasvoller mot ras). Et fokus også på samfunnsendringer kan gjøre det enklere også å legge til grunn en årsaksinnretning, forstått som å gjøre noe med årsaken til at samfunnet blir rammet av naturskade utløst av klimaendring - for eksempel i tilfellet "ras" og det å styre utbyggingsmønsteret vekk fra mulige rasutsatte områder.

Ut fra figuren på neste side skal prosjektet gjøre følgende analyser:

1. Hva er situasjonen *i dag* med hensyn på sårbarhet for klimapåvirkning?
2. Hvordan kan forventede *framtidige klimaendringer* angitt ut fra et utvalg relevante *klimafaktorer* påvirke den samlede klimasårbarheten?
3. Hvordan kan forventede *framtidige samfunnsendringer* forsterke eller svekke virkningen av klimaendringer?
4. Hva er sumeffekten av (2) og (3)?
5. Hvilke *strategier* og *tiltak* kan kommunene eller fylkeskommunene sette i verk for å forebygge uønskede virkninger av klimaendringer?

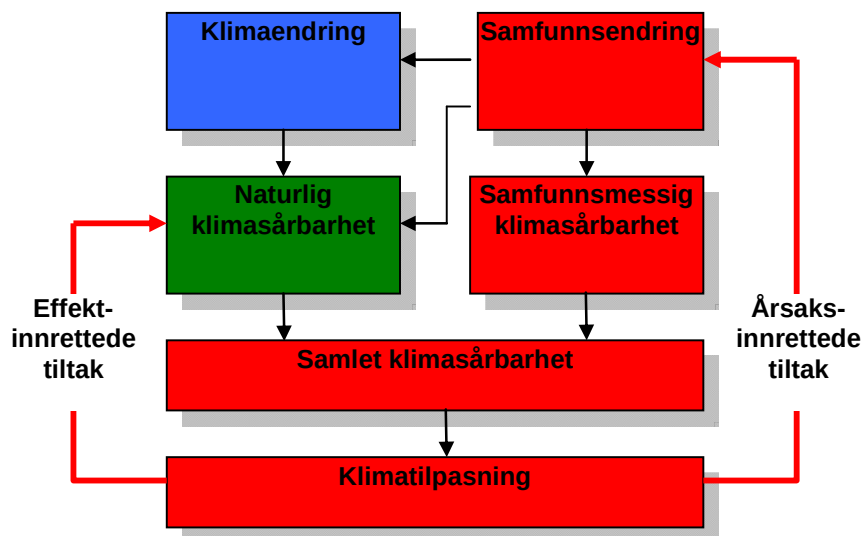
Situasjonen *i dag* når det gjelder hvordan samfunnet blir påvirket av klima er en naturlig inngang til å diskutere virkninger av mulige framtidige klimaendringer. En typisk problemstilling her gjelder etterslepet i vedlikehold av infrastruktur som veger og offentlige bygninger.

Når det gjelder *klimafaktorer* vil vi ta utgangspunkt i følgende parametre: havnivåstigning, stormflo, nedbør, flom, skred, temperatur og ekstrem vind. Vi vil benytte de klimaframskrivningene som ble sammenstilt av Norsk klimasenter på oppdrag fra NOU klimatilpassing³. Disse vil bli drøftet og supplert der det er nødvendig ut fra en vurdering av klimafaktorer som kan være spesielt relevante i forbindelse med våre studier.

¹ <http://www.ks.no/tema/Samfunnsansvar/Klima-og-miljo/Kommunene-og-klimautfordringene---ansvar-og-sikring/>

² <http://www.vestforsk.no/index.html/prosjekt/lokal-klimatilpasning-og-klimasaarbarhet-i-norge-noradapt>

³ Klima i Norge 2100, se http://nou-klimatilpassing.no/Klima_Norge_2100_fUR-M.pdf.file



Figur 1 Analysemodell

Om rapporten

I anbudsutlysningen fra KS står bl.a. følgende bestilling:

- Systematisere kunnskap om hvordan klimaet i dag påvirker kommunesektorens infrastruktur direkte og indirekte.
- Studere klimaendringenes påvirkning på kommunal infrastruktur i dag
- Studere mulige konsekvenser av klimaendringer på kommunal infrastruktur ut fra eksisterende klimaframskrivninger

Den foreliggende rapporten belyser disse punktene. Rapporten er organisert som følger:

- Først omtaler vi hovedtilnærmingen når det gjelder metode (lik omtale i alle delrapportene).
- Deretter presenterer vi den metodiske tilnærmingen som gjelder spesielt for denne rapporten.
- Så analyserer vi klimasårbarheten for hver av de fem temaene, der vi skiller mellom analyser på to nivå: nasjonalt (generelle innsikter og regional variasjon) og lokalt (eksempler fra utvalgte case kommuner).

Metode

Hovedtilnærming

Vi har brukt en tredelt tilnærming i våre egne analyser av sårbarhet for klimaendringer:

1. En innledende oppsummering av kunnskapsstatus med basis i det vi har dokumentert i delrapport 1 ("Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur - Oppsummering av kunnskapsstatus").
2. Analyse av regionale variasjoner i klimasårbarhet ut fra foreliggende kunnskap oppsummert i punkt (1) og mulige klimaendringer for to tidsvinduer: 2050 og 2100. Dette er for øvrig den samme oppløsningen som nå er lagt til grunn i veileder i kommunal klimatilpasning fra www.klimatilpasning.no⁴.
3. Illustrere, konkretisere og utdype analysene gjort i punkt (2) gjennom avgrensede casestudier gjennomført i et begrenset utvalg kommuner.

I det videre vil vi kort omtale den metodiske tilnærmingen som ligger bak punkt (2) og (3), men for en mer utførlig omtale av den delen av metodikken som gjelder produksjon av klimascenarioer vises til delrapport 2 fra Bjerknessenteret. Men først presiserer vi hva vi legger i de fem analysetemaene arealforvaltning, bygg, vannforsyning og avløpshåndtering, transport og transportinfrastruktur, og kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon. Tabellen under gir en samlet framstilling av den tematiske innretningen i prosjektet.

Tabell 1 Tema som vil bli analysert

Kategorier av fysisk infrastruktur	Direkte relevant: Eid/drevet av kommuner	Direkte relevant: Eid/drevet av fylker	Indirekte relevant: Eid/drevet av andre
1. Arealforvaltning	Kommunearealplan	Fylkesarealplan	Ikke relevant
2. Bygg	Skoler, administrasjonsbygg, helseinstitusjoner, kommunale boliger, o.a.	Videregående skoler, administrasjonsbygg, o.a.	(Private boliger behandlet under "arealforvaltning")
3. Vannforsyning og avløpshåndtering	Kommunale og interkommunale anlegg	Ikke relevant	Ikke relevant
4. Transport og transportinfrastruktur	Kommunale veger, kommunale havner, transport som del av tjenesteproduksjon	Fylkeskommunale veger, kollektivtransport	Ikke omfattet
5. Kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon	Ikke relevant	Ikke relevant	Leverandør til kommunale/fylkeskommunale bygg og tjenesteproduksjon

Arealforvaltning

Arealforvaltning skiller seg fra de andre temaene gjennom først og fremst å være et aspekt ved de andre temaene. Arealforvaltning er et typisk årsaksinnrettet virkemiddel ved at arealplanlegging kan påvirke graden av eksponering for klimapåvirkning for fysisk infrastruktur. Risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS) knyttet til arealplanen er ett slikt virkemiddel. Et annet kan være å sette av hensynssoner i arealplanen ut fra en ROS, der det for eksempel legges begrensninger på oppføring av bygninger og annen infrastruktur. Men det er også mulig å se for seg arealmessige konsekvenser i Norge av klimaendringer i *utlandet*. Vi vil i denne sammenhengen konsentrere oss om én slik kategori av konsekvenser: Endring av verdien av dyrka og dyrkbar mark. Klimaendringer i andre land enn Norge kan føre til at den globale matvaresikkerheten blir svekket, noe som igjen kan øke prisen på matvarer og i siste instans øke verdien av dyrka og dyrkbar mark i Norge. Her er det også relevant å peke på konfliktpotensialet i forhold til utslippsdelen av klimapolitikken, der man ut fra prinsippet om transportreduserende arealplanlegging kan ønske å planlegge boliger på sentrumsnær dyrka mark, mens man ut fra hensynet til faren for redusert global matvaresikkerhet ønsker å ta vare på jordbruksarealer av høy kvalitet.

⁴ Jf <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/kampanjer/klimatilpasning-norge-2/veileder-til-klimatilpasning.html?id=614277>

Bygg

Private boliger, og da spørsmålet om *lokalisering* av disse, blir dekt av temaet arealforvaltning, slik at temaet *bygg* avgrenses til kommunale og fylkeskommunale bygg av typen skoler, helseinstitusjoner, administrasjonsbygg mv. Her vil det være lokalisering, utforming, materialbruk og vedlikehold av bygg som vil være i fokus. Videre vil vi også berøre spørsmålet om offentlig bygningskontroll/tilsyn og spørsmålet om lokal tilpasning versus nasjonal standardisering når det gjelder utforming og materialbruk av bygg. Kommunen innehar mange roller i forbindelse med bygget miljø; byggherre og -eier for egne bygg og iverksetter av plan- og bygningslovens bestemmelser gjennom planlegging og byggesaksbehandling. Gjennom sin forvaltning av egen bygningsmasse gir kommunen også viktige signaler til publikum, blant annet i forhold til valg av gode, klimatilpassete løsninger.

Vannforsyning og avløpshåndtering

Vannforsyning og avløpshåndtering (VA) omfatter i denne rapporten de kommunale systemene som trengs for å forsyne innbyggerne med godt drikkevann og ta hånd om avløpsvannet. Systemene omfatter renseanlegg og transportsystemer, som bla.a. består av rør, pumpestasjoner, bassenger og overløp. Gjenskaffelsesverdien av de kommunale VA-systemene i Norge ble i 2001 estimert til over 400 mrd NOK⁵.

Transport og transportinfrastruktur

Transportnettet er en viktig del av den kommunale og fylkeskommunale infrastrukturen, noe som også er forsterket gjennom den gjennomførte reformen hvor fylkeskommunen har fått ansvaret for hoveddelen av det som tidligere var klassifisert som riksveger. Vegnettet utgjør ikke bare en stor del av de verdier som forvaltes, men er også av avgjørende betydning for verdiskaping og øvrig samfunnsaktivitet. Vegnettet er stedvis sårbart for ekstreme værforhold som kan forårsake ras, flom, snøfokk mm. Klimaendringer med hyppigere og mer ekstreme værforhold vil dels forsterke dagens problemer, dels skape problemer på steder som hittil har vært forsånet. Dårligere regularitet med økonomisk tap og dårlig forutsigbarhet for næringslivet er én alvorlig konsekvens av stengte veger. Betraktet dimensjonen med samfunnsendring, vil arealet som omfattes av vegnettet også bli benyttet av annen infrastruktur. I dag ligger mye av vann- og avløpsledninger lokalisert til veggrunnen, mens det i framtiden vil være langt flere aktører som vil ønske å benytte dette arealet. Dette gjelder blant annet rør for fjernvarme, elektronisk infrastruktur (bredbånd), el.- og telekabler. Når det gjelder havner og kaianlegg er disse dimensjonert til dagens havnivå og ut fra bølgepåvirkninger som opptrer med gitte årsintervall. Ved klimaendringer kan vi få både en endring av havnivået og kraftigere og hyppigere ekstremværsituasjoner enn disse anleggene er dimensjonert for. Det har også vært en utvikling i dimensjonen på fartøyene og dette vil også kreve en oppgradering av en rekke kai- og havneanlegg.

Med kommunal og fylkeskommunal transport mener vi følgende: Den delen av kollektivtransporten som eies, drives eller på annen måte forvaltes og styres av kommuner og fylkeskommuner (dvs i praksis all kollektivtransport på sjø og veg, og på skinner i byer, mens jernbane og fly er et statlig ansvar); skoleskyss; helsetransport; og reiser i forbindelse med pleie og omsorg (for eksempel hjemmehjelp). Disse påvirkes hovedsakelig av klima på en indirekte måte gjennom tilstanden til transportinfrastrukturen. En tilleggsdimensjon ved transport er knyttet til beredskap: Stengte veger betyr i verste fall at både varetransport og persontransport må innstilles. Der det mangler alternative transportmuligheter kan lokalsamfunn bli isolert slik at krisetiltak må iverksettes. Eksempelvis kan det være behov for å sette opp kollektive kriseruter ved stenging av transportårer.

Kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon

I utlysningen er informasjonsteknologi nevnt som ett av de tema man ønsker utredet. Vi har tolket dette til å omfatte *kraftforsyning og elektronisk kommunikasjon*, et område som Justis- og politidepartementet definerer å høre inn under kritisk infrastruktur; dvs. anlegg og systemer som er helt nødvendige for å opprettholde samfunnets kritiske funksjoner som igjen dekker samfunnets grunnleggende behov og befolkningens trygghetsfølelse⁶.

Kraftforsyningen er forskjellig fra de andre infrastrukturen som behandles i dette prosjektet da kommunene ikke har direkte påvirkning på infrastrukturen, men likevel må håndtere (deler av) konsekvensene som kan oppstå som følge av hendelser her.

Kraftforsyningen kan i grove trekk struktureres i to hovedfunksjoner. Den første er produktet energi (i hovedsak elektrisitet i Norge, men også noe produksjon av fjernvarme i enkelt større byer og tettsteder). Dette kan

⁵ Opplysningsutvalget for VA-ledningsnett – www.ovalinfo.no

⁶ NOU 2006:6 Når sikkerhet er viktigst, se <http://www.regjeringen.no/nb/dep/jd/dok/nouer/2006/nou-2006-6/5/1.html?id=157439>

sammenlignes med andre varer og tjenester i samfunnet, slik som drikkevann, helsetjeneste og teletjeneste. Den andre hoveddelen består av den fysiske infrastrukturen som produserer og distribuerer elektrisk kraft eller fjernvarme til sluttbrukerne. Eksempler på dette er demninger, kraftstasjoner, transformatorer, kraftlinjer og rør til transport av varmt vann.

Kraftnettet deles ofte inn i tre nivåer:

- Sentralnettet er hovedveiene i kraftsystemet og knytter produksjon og forbruk i ulike deler av landet sammen. Sentralnettet omfatter også utenlandsforbindelsene, og har vanligvis spenningsnivå 300 – 420 kV.
- Regionalnettene har normalt spenningsnivå 33 – 132 kV og er bindeleddet mellom sentralnettet og distribusjonsnettene. Kraftkrevende industri og hoveddelen av kraftproduksjonen er knyttet til regionalnettene og sentralnettet.
- Distribusjonsnettene sørger normalt for distribusjon av kraft til sluttbrukere innen husholdninger, tjenesteyting og industri. Distribusjonsnettene har normalt spenninger på 11 – 22 kV, men kraften transformeres ned til 230 V for levering til vanlige kunder.

Det samlede linjenettet i Norge er omtrent 300 000 km. De fleste nettselskapene er helt eller delvis eid av en eller flere kommuner. Statnett SF, som eier om lag 87 % av sentralnettet, er eid av staten.

Kommuner og fylkeskommuner eier om lag 52 % av produksjonskapasiteten i Norge. Staten, gjennom Statkraft SF, eier om lag 36 % og private selskaper om lag 12 %. Kraftforsyningen er underlagt en rekke lover og forskrifter, i første rekke håndhevet av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Direktoratet for Samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). NVE er underlagt Olje- og energidepartementet og har blant annet en sentral rolle i beredskapen mot flom og vassdragsulykker, leder den nasjonale kraftforsyningsberedskapen, og står for monopolreguleringen av nettselskapene. DSB er tilsvarende underlagt Justis- og politidepartementet. DSB forvalter blant annet tilsynet med kraftforsyningen gjennom "Lov om tilsyn med elektriske anlegg".

Samfunnet blir stadig mer avhengig av informasjonsteknologi, og er derfor mer og mer sårbart for manglende mobildekning eller brudd på datakommunikasjon. Noen enkle eksempler er kommunikasjon via telenett, mobilnett og datanett, men et slikt brudd vil også påvirke trafikkstyringssystemer og dermed avvikling av trafikal kommunikasjon (f.eks. tog og flytrafikk), kommunikasjon for å sikre sivil beredskap osv. Det er i tillegg en gjensidig avhengighet mellom kraftsystemet og de IT-systemer som benyttes for å styre og overvåke kraftsystemet.

Vurdering av klimasårbarhet

Vi skal i denne og de to neste delrapportene gjøre analyser på to geografiske nivå:

- Et *nasjonalt* nivå der vi også analyserer *regionale* variasjoner
- Et *lokalt* nivå der vi illustrerer de nasjonale analysene gjennom egne analyser i utvalgte casekommuner.

For de *nasjonale* analysene har vi tatt utgangspunkt i de to ulike regioninndelinger som er benyttet i klimaanalysene gjort av Bjerknessenteret (temperatur- og nedbørsregioner). I noen tilfeller har vi forenklet denne til den ordinære fylkesinndelingen.

Tabell 2 Ulike regioninndelinger som ligger til grunn for inndelingen anvendt i denne rapporten

Temperaturregioner	Nedbørregioner
Østlandet	Østfold
Vestlandet	Østlandet
Trøndelag	Sørlandet
Nordland/Troms	Sørvestlandet
Finnmarksvidda	Sunnhordland og Ryfylke
Varanger	Sogn og Fjordane og Nordhordland
	Dovre/Nord Østerdal
	Møre og Romsdal
	Inntrøndelag
	Trøndelag/Helgeland
	Hålogaland
	Finnmarksvidda
	Varanger

Forslag til typologi

I figur 1 har vi vist analysemodellen som ligger til grunn for vår grunnleggende tilnærming til det å analysere klimasårbarhet og –tilpasning. Her har vi bl.a. skilt mellom naturlig og samfunnsmessig sårbarhet. I det videre vil

vi splitte den siste kategorien i to underkategorier: samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet. Den første betyr hvor eksponert samfunnet er i en fysisk forstand for samfunnsendringer, mens den andre betyr samfunnets evne til å redusere klimasårbarheten ved å gjennomføre tilpasningstilak – i denne sammenhengen avgrenset til offentlige (statlig, fylkeskommunal og kommunal) institusjoners evner. Videre har vi skilt mellom to typer klimapåvirkning: ekstremvær og hverdagsvær. Det første inkluderer alle former for ekstreme værhendelser i betydningen sterkt tidsavgrenset og med store impulser; eks ekstremnedbør til forskjell fra "vanlig" nedbør, eller ekstrem vind til forskjell fra "lite" vind. Det er et poeng her å ikke bruke begrepet "naturskade", i og med at naturskade kan oppstå som et resultat av både ekstremvær og hverdagsvær, evt. en kombinasjon av disse. For eksempel vil framtidige eventuelle økninger i naturskade fra stormflo være en kombinert effekt av høyere havnivå ("hverdagsvær") og ekstrem vind og høy flo ("ekstremvær").

Tabell 3 Typologi for vurdering av klimasårbarhet innen kommunal og fylkeskommunal infrastruktur

Typer klimasårbarhet	Ekstremvær	Hverdagsvær
Naturlig sårbarhet: Klimaparametre som indikerer samfunnets klimapåvirkning	Eks sterk vind	Eks gjennomsnittlig årsnedbør
Samfunnsøkonomisk sårbarhet: Samfunnsøkonomiske parametre som indikerer samfunnets eksponering for klimapåvirkning	Eks lokalisering av fysisk infrastruktur	Eks grad av vedlikehold av fysisk infrastruktur
Institusjonell sårbarhet: Institusjonelle parametre som indikerer samfunnets evne til å redusere klimasårbarheten	Eks rutiner for ROS analyse	Eks antall årsverk med relevant kompetanse

Naturlig sårbarhet

Vi vil i tråd med prosjektbeskrivelsen legge *størst* vekt på å få fram den *naturlige* sårbarheten, forstått som den sårbarheten vi kan lese ut av endringer i utvalgte klimaparametre. Delrapport 2 fra Bjerknessenteret inneholder alle de klimaparametrene vi har funnet å være relevante som indikatorer på den naturlige sårbarheten for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur; jf tabellen under.

Tabell 4 Klimaparametre valgte for de nasjonale klimaanalysene fordelt på prosjektets fem tema

Klimaparametre	Areal	Bygg	Vann	Transport	Kraft
Temperatur					
• Temperaturvariasjoner generelt	•	•	•	•	•
• Lengde vekstsesong	•				
• Tidlige varmeperioder om våren	•			•	
• Sommertørke	•				
• Fryse-tine perioder	•	•		•	
• Ising					•
Nedbør					
• Nedbørsvariasjoner generelt	•	•	•	•	•
• Ekstremnedbør	•	•	•	•	•
• Høstnedbør	•				
• Snøvarighet	•		•	•	
Vind		•		•	•
Avrenning	•	•	•	•	
Havnivå og stormflo		•	•	•	

Det er imidlertid viktig her å være klar over at klimaparametre bare er den ene "halvdelen" av den naturlige sårbarheten. Den andre "halvdelen" gjelder endringer i "naturen" utløst av klimaendringer; ofte betegnet som "effektparametre". Vi har med noen slike parametre (eks grunnvannstand), mens andre som "flom-" og "skredfare" ikke er formulert her, rett og slett fordi det ikke er gjort samlede og systematiske vurderinger på dette området ennå. Vi må derfor bruke klimaparametre som indirekte indikatorer på mulige framtidige endringer i den indirekte naturlige sårbarheten.

Samfunnsøkonomisk sårbarhet

For vurdering av den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten har vi lagt til grunn den tilnærmingen som ble utviklet i et tidligere prosjekt for KS forskning om naturskade (Selstad, 2008) og et pågående prosjekt i prosjektet om lokal klimatilpasning (NORADAPT) (Selstad, 2010). I denne tilnærmingen er det bl.a. lagt vekt på hvordan endringer i

lokalisering av og vedlikehold og utforming av fysisk infrastruktur bestemmer eksponeringen for klimapåvirkning. I tabellen under

Tabell 5 Mulige utviklingstrekk når det gjelder fysisk infrastruktur som kan skje uavhengig av klimaendringer (Selstad, 2008; 2010; Aall mfl, 2010)

Tema og undertema	Lokalisering	Drift/utforming
Forvaltning av dyrka og dyrkbar mark	- Nedbygging av dyrka mark i sentrale strøk - Nedlegging av bruk i perifere strøk	- Økende pris på kunstgjødsel og fossil energi - Gjengroing av utmarka - Økt mekanisering
Private bygninger	- Lokalisering nærmere vassdrag og strandlinje - Sentralisering nasjonalt og innen kommuner	- Plassering av husene med tanke på å skape ønskelig vindretning i gatene - Utforming av tomten med tanke på å gi nok plass til snørydding langs vegene og overflateavrenning langs vegene
Kommunale og fylkeskommunale bygninger	Regional sentralisering	Vedlikeholdsetterslep
Kommunale og fylkeskommunale veier	Hoveddelen av utbygging av norske veier på det nærmeste slutført	- Økt mobilitet - Økt krav til tilgjengelighet
Kommunale kaier	Sentralisering gir behov for å opprettholde færre små kommunale kaier	- Økt varetransport generelt - Økt varetransport på sjø
Kommunal og fylkeskommunal transport	Lokal sentralisering av skole, sykehus og sosial omsorg	- Økt transportbehov - Økt krav til tilgjengelighet
Vann- og avløpsanlegg	- Fortetting - Sentralisert urbanisering	- Stort vedlikeholdsetterslep - Underdimensjonering i store byer
Kratflinjer	- Økt utbygging av fornybar energi - Økt eksport av elektrisitet - Flere nye linjestrekk	Økt behov for opprusting og vedlikehold av eksisterende nett
Anlegg for telekommunikasjon	Økt behov for fysisk infrastruktur	Økte krav til kapasitet og kvalitet på elektronisk kommunikasjon

Institusjonell sårbarhet

Når det gjelder institusjonell sårbarhet har vi et enda svakere kunnskapsgrunnlag for å operasjonalisere mulige utviklingstrekk enn det som gjelder for den samfunnsøkonomiske sårbarheten. Poenget her er å ta med oss viktige endringer i kommunale og fylkeskommunale institusjoner som arbeider med forvaltning av fysisk infrastruktur, som for eksempel:

- Reduksjon av den kommunale administrative kapasiteten innen forvaltning av fysisk infrastruktur, miljøvernområdet og arealplanlegging
- Økning av den fylkeskommunale administrative kapasiteten innen miljøvernområdet
- Økende krav til kommunal og fylkeskommunal tjenesteproduksjon som en kombinasjon av et strammere arbeidsmarked (tilgang på relevant kompetanse) og økte behov (særlig knyttet til "eldrebølgen")
- Hel- eller delprivatisering av driftsoppgaver innen offentlig virksomhet
- Styrking av sektorisering og spesialisering og svekking av sektorovergripende koordinering

Vurdering av risiko

Det å prøve å forholde seg til muligheten for klimaendringer innebærer at man må bestemme seg for hvordan forholde seg til risiko. Rent generelt kan vi tenke oss tre prinsipielt ulike tilnærminger, her relatert til hvordan forholde seg til spådommer om klimaendringer:

- "Risk lover": man tar utgangspunkt i de *minst* dramatiske framskrivingene av klimaendringer og satser på at det ikke blir verre
- "Best shot": man tar utgangspunkt i gjennomsnittsverdiene for framskrivingene av klimaendringer

- "Risk averter": man tar utgangspunkt i de *mest* dramatiske framskrivingene av klimaendringer og satser på at det ikke blir verre

NOU klimatilpasning tar til orde for en "risk averter" tilnærming og anbefaler derfor følgende når det gjelder analyser av klimasårbarhet (s. 206):

Den eller dei klimaframskrivingane som inneber størst utfordringar blir brukt som utgangspunkt for vurderingar av moglege konsekvensar og tiltak.....Det vil normalt vere høg framskriving som inneber størst utfordringar, fordi ho viser størst endringar samanlikna med klimaet i dag, men dette bør avvegast i det enkelte tilfellet. Risiko for tørke og skogbrannfare bør for eksempel vurderast opp mot låg nedbørfamskriving, mens det for flaumrisiko blir tilrådd å vurdere konsekvensar og tiltak med utgangspunkt i høg nedbørfamskriving.

NOU klimatilpasning har lagt til grunn følgende tilnærming for å skille mellom "høy" og "lav" framskriving (s 45):

I rapporten er klimaframskrivingane delte i tre grupper. Middelveidien av dei nedskalerte temperatur- og nedbørfamskrivingane er oppgitt som M (middelframskriving). I tillegg er det presentert ei høg framskriving (H), der berre ti prosent av framskrivingane har høgare verdi. Tilsvarende er det presentert ei låg framskriving (L), der berre ti prosent av framskrivingane har lågare verdi

De har valgt tre utslippsscenarioer (B1, A1B og A2) og ulike klimamodeller og laget 72 ulike framskrivinger for temperatur og 22 for nedbør. Vi har valgt en noe annerledes og enklere måte å framstille klimascenarioene. Vi har for det første valgt ett utslippsscenario (A1B) og fire klimamodeller som dermed gir bare fire framskrivinger for hver klimaparameter. Det innebærer at vi ikke kan gjøre den formen for sannsynlighetsvurdering som NOU klimatilpasning har fått gjort av sine framskrivninger. Det er også et spørsmål om hvor rett det er å gjøre slike statistisk baserte sannsynlighetsvurderinger. Vår tilnærming er heller enn å fokusere på en eller annen form for gjennomsnittsverdi, å få fram variasjonsbredden i de framskrivningene som de ulike klimamodellene gir. Vår forståelse av materialet er at de ulike verdiene innenfor denne variasjonsbredden i prinsippet er like sannsynlige. Når det for eksempel for et "nedbørsfylke" som Sogn og Fjordane kommer fram at variasjonsbredden for framskriving av vinternedbøren fram mot 2050 er på over 20 prosentpoeng (fra - 5,8 % til + 20,5 %), og at ingen av verdiene innen dette intervallet (heller ikke gjennomsnittsverdien) er den "mest sannsynlige", så gjenstår det naturlige spørsmålet: Hvilke verdier bør man ta utgangspunkt i for vurdering av den naturlige sårbarheten? Vår tilnærming her har vært å legge til grunn en *verstefallstilnærming*; altså velge det anslaget (øvre eller nedre) som innebærer de største utfordringene i tilpasningsarbeidet.

Tabell 6 Eksempel fra Sogn og Fjordane på variasjoner i våre nedskaleringer for forventede endringer i nedbør (fra 1961-90 til år 2050)

Årstid	Nedre anslag	Øvre anslag	Variasjonsbredde
Vinter	- 5,8 %	+ 14,7 %	20,50 %
Vår	+ 1,3 %	+ 2,5 %	1,20 %
Sommer	- 8,2 %	+ 9,9 %	18,10 %
Høst	+ 13,6 %	+ 25,8 %	12,20 %

Vurdering av usikkerhet

Vurdering av usikkerhet er svært sentralt i framstilling av sårbarhet for klimaendringer og i neste omgang for vurdering av tilpassing til denne sårbarheten. På den ene siden er det viktig å ha klart for seg at det er knyttet stor usikkerhet til dette feltet; samtidig er det viktig å ikke bli handlingslammet ut fra en oppfatning av at "alt" er usikkert. Utgangen av dette dilemmaet kan være å prøve å differensiere usikkerheten. I det pågående NORADAPT-prosjektet har det vært gjort et første forsøk på en slik differensiering (Heiberg mfl, 2008). Dette er så forsøkt videreutviklet i Clim-ATIC prosjektet (Aall, 2010). Under har vi forsøkt å ta dette videre til en praktisk anvendelig modell for hvordan tilnærme seg spørsmålet om usikkerhet.

Et viktig poeng for oss har vært å prøve å få fram en typologi på usikkerhet som kan gjøre det enklere for beslutningstakere å forholde seg til usikkerhet når man skal utvikle strategier og tiltak for klimatilpasning. Ett hovedgrep har derfor vært å bevege seg vekk fra usikkerhet "i" til usikkerhet "for". Usikkerhet "i" henspiller for eksempel på det å fokusere på usikkerheten i klimaprognosene, mens usikkerhet "for" henspiller på den usikkerheten beslutningstakeren opplever når det skal fattes beslutninger om strategier og tiltak for klimatilpasning. Disse to dimensjonene – "i" og "for" – trenger nemlig ikke være like. Vi har over vist hvordan en stor variasjonsbredde i nedskaleringer av klimaendringer ikke er det samme som at usikkerheten er større enn hvis vi har en situasjon med mindre variasjonsbredde. Usikkerheten "i" klimanedskaleringene er m.a.o. derfor ikke nødvendigvis større ved en stor enn en liten variasjonsbredde. Men usikkerheten "for" beslutningstakeren vil rimeligvis være større ved en stor variasjonsbredde.

Vi foreslår en todimensjonal tilnærming til usikkerhet. Den første akse gjelder *lokalisering* av usikkerheten; dvs hvor i tre ulike delsystemene usikkerheten oppstår:

- klima
- natur
- samfunn

Med "natur" mener vi her økosystemer – eks skoggrensen i fjellet eller vannføring i et vassdrag – og med "samfunn" mener vi den mer menneskeskapte delen av våre omgivelser, eks byer, veier osv. Landbruk kommer her i en mellomstilling, der "natur" er de fysiske produksjonsbetingelsene (eks tilgangen på fosfat brukt til kunstgjødsel) mens "samfunn" er slike ting som etterspørsel etter kunstgjødsel.

Den andre akse dreier seg om *type* usikkerhet. Her er det et poeng ikke bare å skille mellom *grader* av usikkerhet (stor-liten) men også *kvalitative* forskjeller. Vi vil i det videre operere med fire hovedtyper av usikkerhet:

- **Grunnleggende usikkerhet:** Vi kjenner ikke de grunnleggende årsak-virkning sammenhengene eller disse sammenhengende styres utelukkende av tilfeldigheter. Det vil per definisjon alltid være årsak-virkningsmekanismer vi ikke kjenner som kan spille inn når det gjelder å bestemme systemenes utvikling (både i "klima", "natur" og "samfunn"). I tillegg vil det være enkelte forhold som trolig er styrt av tilfeldigheter som vanskelig lar seg modellere eller forutsi. Ett slikt eksempel kan være hvor langt nord den dominerende lavtryksbanen mot vestkysten av Norge vil være i framtiden. Dette forholdet er svært utslagsgivende for hva vi kan forvente mhp øst-vest fordelingen av nedbør i Sør-Norge. Dette kan være en grunnleggende usikkerhet som vi rett og slett må leve med og som ikke lar seg redusere.
- **Modell usikkerhet:** Vi har en grunnleggende innsikt når det gjelder årsak-virkning, men vi har ikke klart å utvikle gode nok modeller for å ta hensyn til disse forholdene på en tilfredsstillende måte i våre framtidsscenarioer. Eks arbeider man nå med innen IPCC å modellere bedre virkningene på den samlede drivhuseffekten av endringer i havis og negative tilbakekoblingsmekanismer mellom temperaturøkning, smelting av permafrost og økt utslipp av metangass.
- **Skalausikkerhet:** Vi har en grunnleggende innsikt når det gjelder årsak-virkning og vi har klart å modellere disse sammenhengene, men vi får store variasjoner mellom ulike framskrivinger når vi prøver å skalere ned. Et typisk eksempel her er variasjon i framskrivinger av nedbørsendringer langs øst-vest akse i Norge, der noen modeller gir økning mens andre gir reduksjon i nedbør på hhv øst- og vestlandet.
- **Data usikkerhet:** Vi har en grunnleggende innsikt når det gjelder årsak-virkning og vi har klart å modellere disse sammenhengene, men har ikke tilstrekkelig datagrunnlag til å få nok pålitelige resultater fra modellene. Eksempel kan det være mangel på gode *lokale* meteorologiske data for å få fram gode nok nedskaleringer eller gode nok tolkninger av hvilke endringer som kan forventes i framtiden sett opp mot den lokale historiske normalsituasjonen.

I tabellen under har vi oppsummert vårt forsøk på å etablere en samlet usikkerhetstypologi for klimasårbarhet og klimatilpasning. Det er viktig å poengtere at det ikke ligger noen skala i form av økende usikkerhet fra modell- til datausikkerhet. Vårt hovedpoeng er å få fram kvalitative forskjeller mellom ulike typer usikkerhet, for dermed å få fram at ulike typer usikkerhet kan betinge ulike strategier for å redusere usikkerheten slik den oppleves for en beslutningstaker. En "stor" usikkerhet knyttet til datausikkerhet vil rimeligvis betinge helt andre tiltak når det gjelder å redusere usikkerheten for beslutningstakere enn en "stor" usikkerhet knyttet til skalausikkerhet.

I tabellen under har vi brukt "bygninger" som eksempel for å konkretisere typologien. Eksempelet er ikke utfyllende, i den forstand at ikke alle relevante momenter er tatt med, og er derfor først av alt ment som en konkretisering av typologien.

Gitt at man har en rimelig god innsikt når det gjelder årsak-virkning, gode modeller og godt datagrunnlag – altså at den grunnleggende, modell-, skala- og datausikkerheten er liten – så er det i prinsippet mulig å angi størrelse og fordeling av usikkerhet og sannsynligheter. En slik situasjon vil normalt oppfattes som mer "sikker", eller den vil i alle fall være mer oversiktlig – i den forstand at vi har mer presis informasjon om usikkerheten. Eksempler på slike situasjoner kan være (fortsatt med eksempel hentet fra "bygg"):

- **Klima:** Konsekvenser av havnivåstigning: Her har man gode modeller som gir nedskalerte data med relativt liten variasjon, og dataene presenteres med en anslått usikkerhet.
- **Natur:** Konsekvenser av flom i store historiske flomutsatte vassdrag, der klimaendringer sannsynligvis bare vil mer marginale endringer og framskriving av historiske data i mange tilfeller derfor fortsatt vil ha relativt stor gyldighet.

- Samfunn: Offentlig tilsyn med bygninger og offentlig planlegging (institusjonell sårbarhet), der man i de fleste tilfeller med relativt stor sikkerhet (ikke minst fordi man lokalt vil kunne bestemme dette selv) vet den framtidige kapasiteten og kompetansen lokalt.

Tabell 7 Forslag til en typologi for lokalisering av ulike typer usikkerhet ved analyse av sårbarhet for klimaendringer og vurdering av mulige tiltak for tilpasning til klimaendringer. Illustrert for temaet ”bygninger”.

Typer usikkerhet	Lokalisering av usikkerheten		
	Klima	Natur	Samfunn
Grunnleggende usikkerhet	Ekstremvind (vi har ikke tilstrekkelig kunnskap om hva som styrer forekomsten av ekstremvind)	Skred (vi har ikke tilstrekkelig kunnskap om hva som styrer forekomsten av alle typer skred)	Internasjonal økonomi (vi har ikke tilstrekkelig kunnskap om hvordan den internasjonale økonomien vil utvikle seg de neste 100 årene, og hvordan dette vil virke inn på etterspørsel etter og bruken av bygninger i Norge)
Modellusikkerhet	Konsekvenser av ekstremvind (modellene klarer ikke å si godt nok om vi får mer ekstremvind)	Konsekvenser av skred (modellene klarer ikke å si godt nok om vi får mer skred for alle typer skred)	Utbyggingsmønstre og utforming av bygninger (vi har ikke gode nok modeller for å spå med 50 årsperspektiv hvordan det framtidige utbyggingsmønster og utformingen av bygninger vil bli)
Skalausikkerhet	Fordeling av generell nedbørsendring (stor variasjon mellom ulike klimamodeller i framskriving av nedbør langs øst-vest akse i Norge)	Fordeling av regnflom i mindre vassdrag (delvis som en følge av skalausikkerhet når det gjelder nedbør klarer vi ikke å si godt nok hvor nye forekomster av regnflom i mindre vassdrag kan opptre)	Fordeling av etterspørsel etter og bruken av bygninger (vi har ikke gode nok befolkningsprognoser med 50 årsperspektiv til å spå befolkningsutviklingen lokalt, og dermed også viktige rammer for etterspørsel etter og bruk av bygninger)
Datausikkerhet	Ekstremnedbør (manglende lokale registreringer av ekstremnedbør)	Skred (for de typer skred der vi har gode modeller og der skalausikkerheten også er lav, kan det mangle lokale data for å si noe mer presist om skredfaren)	Eksponering for klimapåvirkning i eksisterende bygningsmasse (vi mangler i mange tilfeller data om tilstand i bygningsmassen lokalt)

Praktisk gjennomføring av sårbarhetsanalysene

For hvert av våre tema vil vi derfor gjøre følgende:

1. Vurdere følgende typer sårbarhet:
 - a. Naturlig sårbarhet (ut fra definerte klimaparametre).
 - b. samfunnsøkonomisk sårbarhet (ut fra mulige utviklingstrekk som gjelder lokalisering og drift av fysisk infrastruktur)
 - c. Institusjonell sårbarhet (ut fra mulige utviklingstrekk innenfor kommunal og fylkeskommunale institusjoner)
2. Angi så langt mulig den regionale variasjonen av sårbarheten for klimaendringer.
3. Vurdere usikkerhetsprofil med utgangspunkt i følgende:

- a. Hvor er usikkerheten *lokalisert* ifht delsystemene "klima", "natur" og "samfunn"
 - b. Hvilke *typer* usikkerhet er det snakk om: Grunnleggende, modell-, skala- eller datausikkerhet?
4. Illustrere konklusjonene fra punktene over gjennom lokale caseanalyser.

Egne analyser av sårbarhet for klimaendringer

Arealforvaltning

Innledning

I dette kapitlet har vi på bakgrunn av globale utfordringer for matproduksjonen sett på nasjonale utfordringer for fremtidig matproduksjon. Vi har først vurdert den naturlige sårbarheten for jordbruksproduksjon, dernest den samfunnsøkonomiske sårbarheten. Så gjennomgår vi hvordan arealplanlegging og klimaendringer kan påvirke naturskade utløst av hhv normale og ekstreme værbegivenheter. Sist i kapitlet har vi illustrert problemstillingene gjennom casestudie i to kommuner: Fredrikstad og Voss.

Global matvaresikkerhet

I delrapport 2 viser vi til IPCC (2007) som konkluderer med at klimaendringene vil kunne få alvorlige negative konsekvenser for global matproduksjon, og nyere forskning (Battisti og Naylor, 2009) som viser at ikke bare tropiske og subtropiske områder på kloden risikerer å få redusert produksjon, men også tempererte strøk bl.a. som følge av hyppigere ødeleggende hetebølger.

I følge FAO (2009) står landbruket i det 21. århundre framfor et mangfold av utfordringer. Den framtidige globale matvaresikkerheten er utfordret av en rekke kritiske faktorer av global karakter i tillegg til globale klimaendringer, så som:

- Befolkningsøkning
- Økt matinntak per person
- Økt forbruk av kjøtt til fordel for vegetabilsk kost
- Økt konkurranse mellom matproduksjon og andre produksjoner (fiber og energi) på arealer egnet for matproduksjon, og mellom matproduksjon og fysisk infrastruktur
- Peak oil
- Peak phosphorus
- Teknologisk utvikling innen matproduksjon

FAO regner med at jordens befolkning vil øke med 2,3 milliarder fram mot 2050, noe som krever at matproduksjonen må øke med 70 % i forhold til nivået i 2005-2007. I tillegg til matproduksjon må jordbruket dekke en stigende etterspørsel etter fiber⁷ og bioenergi⁸. Befolkningsveksten vil også innebære økt behov for arealer til bosetting og infrastruktur, rent vann og energi som vil konkurrere med behovene i jordbruket. Viktige produksjonsarealer for jordbruk befinner seg ved de store byene i U-land som forventer den kraftigste befolkningsveksten i årene fram mot 2050. FAO regner med at energibehovet vil fordobles fram mot 2050.

Det internasjonale energibyrået (IEA 2010) mener nå at vi har passert "peak oil"; altså at produksjonstoppen for kjente forekomster av konvensjonell olje ble nådd i 2010, og de regner derfor med at tidsepoken med billig olje er forbi. Høyere oljepriser vil ha store og mangfoldige konsekvenser for verdens matvareproduksjon. Prisen på olje vil påvirke prisene på matvarer bl.a. gjennom prisene på nitrogengjødsel, plantevernmidler og drivstoff til maskiner og transport. Moderne jordbruk i industriland er avhengig av olje som energitilførsel i alle ledd i matproduksjonen. I tillegg kommer at høyere oljepriser vil kunne forsterke presset på arealene ved at jordbruket i større grad må bruke arealene til produksjon av bioenergi.

I løpet av dette hundreåret vil knapphet også på fosfor – "peak phosphorus" – kunne få stor betydning for jordbruksproduksjonen. Matproduksjon krever tilgang på fosfor, og moderne jordbruk er avhengig av fosfortilførsel som utvinnes av mineralsk fosfat, en ikke fornybar ressurs. I følge Cordell mfl (2009) vil de økonomisk drivverdige forekomstene av fosfat med dagens forbruk kunne være tømt i løpet av 50 til 100 år. Etterspørselen etter fosfor på verdensmarkedet er forventet å øke med 50 -100 % innen 2050 i takt med økt matproduksjon, endrete dietter og produksjon av bioenergi. Det er forventet at den globale produksjonen vil nå et maksimumsnivå (peak) i 2030, men det eksakte tidspunktet for "Peak Phosphorus" er i følge Cordell mfl.(2009) omdiskutert. Det er imidlertid enighet om at kvaliteten på gjenværende fosfatreserver går nedover og at produksjonskostnadene er økende. Reservene av mineralsk fosfat i drivverdige forekomster kontrolleres av en håndfull stater, i hovedsak Marokko

⁷ De siste 10 år har forbruket av fiber til klær alene øket med 60 % (FAO 2009).

⁸ I følge Der Spiegel 50/2010 ble det i Tyskland i 2010 dyrket mais til biogassproduksjon på 21 510 km², et areal som er om lag det doble av Norges jordbruksarealer. Dette har ført til stigende priser på bygg og poteter.

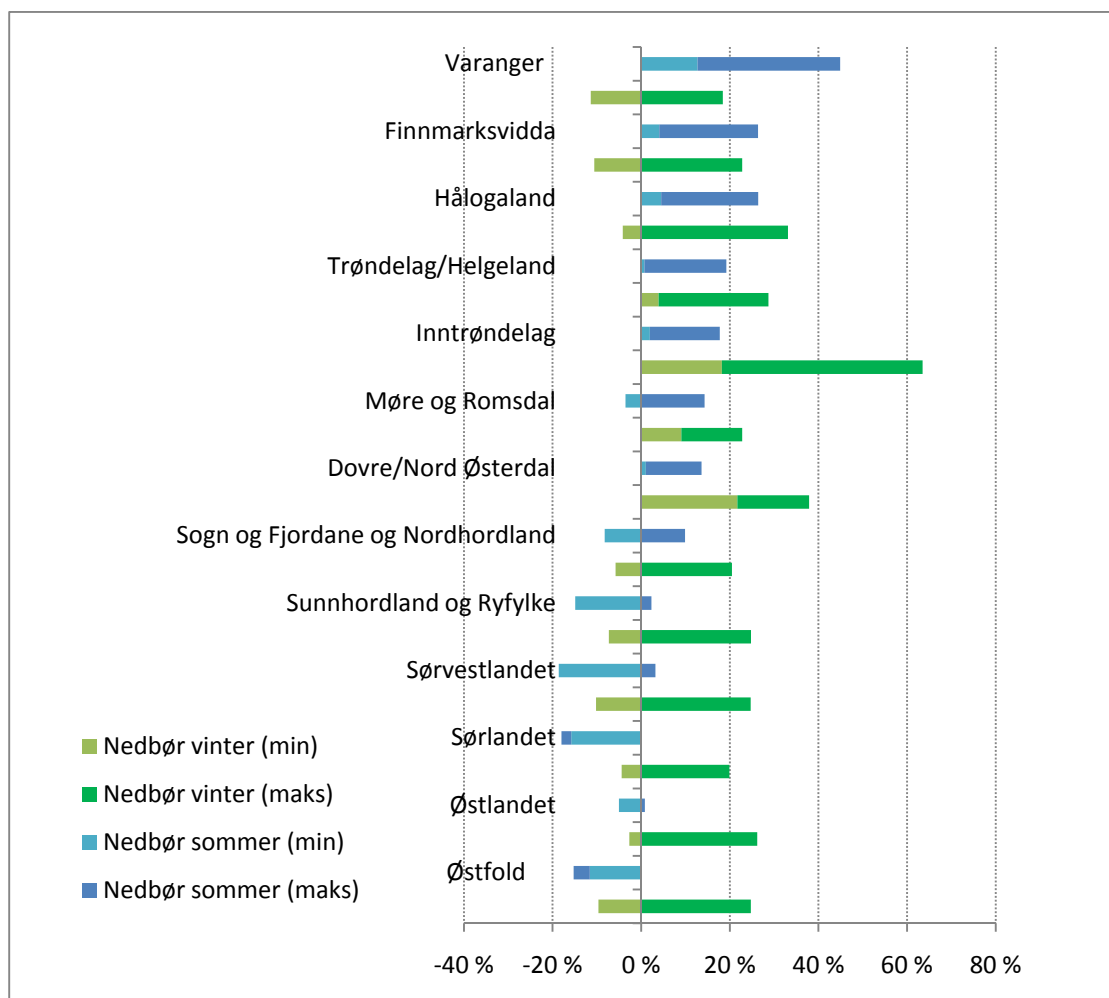
(med kontroll over Vest Sahara), Kina og USA. Kina har redusert eksporten dramatisk for å sikre innenlands behov og USA har bare reserver igjen til ca 30 års drift. En situasjon der etterspørselen i verdensmarkedet overstiger tilbudet, og noen få land kontrollerer produksjonen, forventes å føre til sterkt økende priser på fosfat. Samlet sett vil faktorene omtalt over kunne svekke den globale matvaresikkerheten dramatisk det kommende hundreåret, og det er mer sannsynlig at klimaendringer i sum vil kunne forsterke denne utviklingen i en negativ enn i en positiv retning.

Naturlig sårbarhet

I delrapport 1 ga vi en kunnskapsgjennomgang når det gjelder jordbrukets klimasårbarhet. De ulike undersøkelsene vi viste til der, bygger på ulike klimascenarioer, både med hensyn til valg av modeller, utslippsscenarioer og tidsbilder. Analysene gjennomført i Klima i Norge 2100 og våre egne analyser av klimaendringer mot 2050 i rapport 2 gir en del resultater som avviker noe fra de klimascenarioene flere av undersøkelsene vi har vist til bygger på. Endringene gir ikke grunnlag for å endre de grovmaskete konklusjonene vi trekker opp i delrapport 1, men de viser noen nyanser og ulike geografiske utslag av endringer i en del klimaparametre. I forhold til mange tidligere analyser kommer variasjonene i modellsimuleringer fra ulike globale klimamodeller tydelig frem, fordi vi har simulert en del klimaparametre med bruk av ett og samme utslippsscenario (A1B), men med bruk av flere ulike klimamodeller. Et viktig resultat av våre analyser i forhold til potensialet for matproduksjon er at de viser flere ulike framtidsbilder når det gjelder nedbør i de samme geografiske områdene, fordi ulike klimamodeller viser ulik regional fordeling av nedbøren.

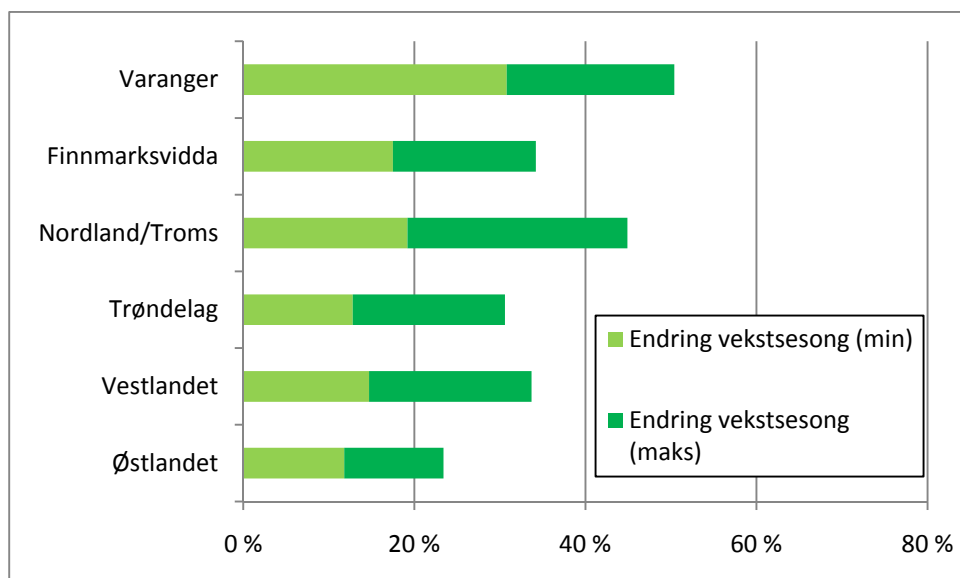
Klima i Norge 2100 konkluderer med at det blir mer nedbør i hele landet og at i gjennomsnitt for Norge vil årsnedbøren øke med 5 til 30 prosent mot slutten av århundret. Vinternedbøren kan øke med over 40 prosent i deler av Øst-, Sør- og Vestlandet mot slutten av århundret. Sommernedbøren på Sør- og Østlandet anslås videre å avta mot slutten av århundret. For øvrig beregnes nedbøren å øke i gjennomsnitt for alle årstider og i alle regioner. Våre analyser viser at ulike klimamodeller gir ulike resultater når det gjelder den geografiske fordelingen av nedbøren. Det er for eksempel meget store variasjoner i forventninger for vinternedbør i flere regioner, med Inntrøndelag og Hålogaland som de mest størst variasjoner (hhv 45 og 33 %). Det er også stor variasjonsbredde langs øst-vest akse i Sør-Norge. For sommernedbør er denne tendensen noe tilsvarende, men med en klart større variasjonsbredde for Vestlandet.

De analyser Bjerknessenteret har gjort i vårt prosjekt viser at vi ikke kan gå ut fra at klimaendringer innebærer at vinternedbøren kommer til å øke i alle regioner. Som tabellen over viser kan for eksempel Østlandet og Sørlandet like gjerne oppleve redusert vinternedbør som økning. Det samme gjelder Vestlandet og kystområdene i Nord-Norge. I vurdering av klimasårbarhet og tilpassing til klimaendringer må jordbruket dermed ta høyde for både en mulig reduksjon og en mulig økning i vinternedbøren. En økning i vinternedbøren tilsier for eksempel at arealer med høstpløying i erosjonsutsatte kornområder bør forsøkes minimert. Klima i Norge 2100 viser at sommeren skiller seg ut som årstiden som viser noen nedgang i nedbør i noen regioner. Om sommeren tilsier et flertall av framskrivningene at nedbøren vil avta på Øst- og Sørlandet. En del modeller gir også redusert sommernedbør på Sørvest- og Vestlandet. Våre klimaframskrivninger for 2050 viser noe større forventet nedgang i sommernedbør på Øst- og Sørlandet enn Klima i Norge 2100. Nedbørregioner 2 og 3 (Øst- og Sørlandet) kan i verste fall forvente nedgang i sommernedbør (5-20 %). Dette indikerer økt fare for sommertørke, særlig i området Rogaland-Jæren som allerede er tørrere enn Østlandet om sommeren basert på klimatologisk normalverdier. Sommertørke på Østlandet er nevnt i de rapportene vi viser til når det gjelder klimasårbarhet i jordbruket, men muligheten for sommertørke på Vest- og Sørlandet er ikke omtalt i våre konklusjoner i delrapport 2. Redusert nedbør om sommeren sammen med kortere snøsesong og dermed redusert avrenning om våren og sommeren kan gi utfordringer i forhold til tørke i vekstsesongen. I følge Klima i Norge 2100 blir snøsesongen kortere i hele landet. Reduksjonen blir størst i lavlandet, hvor 2-3 måneders reduksjon er beregnet mot 2100. Ifølge *Klima i Norge 2100* vil sommeren få redusert avrenning i store deler av landet. De største endringene beregnes i Troms og Finnmark, der avrenningen kan avta så mye som 40 til 60 %.



Figur 2 Forventede endringer fra 1960-90 til 2050 for nedbørsrelaterte klimaparametre som er relevante for jordbruksproduksjon

Klima i Norge 2100 tar utgangspunkt i at lufttemperatur er en av de viktigste begrensende faktorer for vekstsesongen i Norge. Vi har definert vekstsesong som perioden der døgnmiddeltemperaturen er over 5 °C. Denne definisjonen ble også brukt i *Klima i Norge 2100*. Våre resultater (jf tabellen under) viser en 2–6 uker lengre vekstsesong sammenlignet med normalperioden 1961–90. En del av den prosjekterte økningen i vekstsesonglengde har allerede skjedd. Vekstsesongen forventes å bli 1–2 uker lenger over størsteparten av landet (*Klima i Norge 2100*). Utdrag fra den omtalte rapporten viser også at i perioden 1979–2008 er vekstsesongen lengst ytterst langs kysten av Vestlandet, og maksimalverdien for vekstsesong i dette området har økt fra 225 døgn i 1961–90-perioden til 238 døgn (tabellen under viser lavere tall, fordi disse gir gjennomsnittlige tall for hele Vestlandet). Eksisterende framskrivninger gir økning i vekstsesongen på inntil en måned i mesteparten av landet fram mot 2050. Fram mot slutten av århundret gir alle framskrivningene i *Klima i Norge 2100* store områder med økning på mellom en og to måneder. Våre framskrivninger indikerer største økninger langs kysten og nest største i høyereliggende områder. Videre har våre tall en klart større variasjonsbredde i framskrivningene for Nordland og Troms enn for resten av landet.



Figur 3 Forventede endringer fra 1960-90 til 2050 for temperaturrelaterte klimaparametre som er relevante for jordbruksproduksjon

I delrapport 1 viste vi til Aaheim et al (2009) som i en kunnskapsoppsummering for klimatilpassingsutvalget konkluderte med at klimaendringer antakelig vil føre til størst forandringer i vekstsesongen på vestlandet, i Nordland og i de nordlige delene av landet. Oslo, Trondheimsområdene og indre deler av Finnmarksvidda vil få minst endring. Konklusjonen var bl.a. basert på Skaugen og Tveito (2004) som viser en romlig fordeling av vekstsesongen som samsvarer med vår, men som viser noe større endringer i høyereliggende områder. Våre resultater viser det samme bildet som Skaugen og Tveito (2004) når det gjelder de områdene i landet som vil få minst endringer i vekstsesong. Dette omfatter landets viktigste jordbruksområder; det sentrale Østlandsområdet og Trøndelagsregionen. Det er en temperaturøkning og forlenget vekstsesong som i første rekke vil bidra til større avlinger og at større arealer kan bli egnet til nydyrking, men kvantifisering av mulige avlingsøkninger er komplisert. Bioforsk omtaler de undersøkelsene som er gjennomført i Norge til nå som meget overordna og nokså kvalitative konsekvensanalyser for norsk landbruk. De er baserte mye på endringer i vekstsesongens lengde ut fra enkle kriterier og akkumulerte temperatur-summer innenfor definert vekstsesong (f.eks. Skaugen & Tveito 2004). Det er ikke nyansert for ulike veksters forskjellige krav til temperatur og daglengde når det gjelder vekststart, fenologisk utvikling og vekstavslutning. I denne enkle tilnærminga er det også i liten grad tatt hensyn til at den sterkt avtakende lystilgangen spesielt på seinhøsten på våre breddegrader, vil begrense vekst og vekstsesong sjøl om temperaturen i seg sjøl er høg nok til å oppnå netto produksjon (Eltun mfl 2010). I tillegg kan mulig økning i sommertørke redusere potensialet for avlingsøkning. Våre analyser viser at det er mulig at det kan bli mer sommertørke i flere av landets viktigste jordbruksområder, både på Østlandet og Sør-Vestlandet med Jæren.

Forlenget vekstsesong gir muligheter for økt produksjon og en mer mangfoldig produksjon av jordbruksprodukter i Norge. I litteraturen finnes anslag på for eksempel 14 % økning i hveteavlingene i de mest produktive jordbruksarealene og økning på hele 25 til 40 % i potetavlingene i deler av landet. Beregningene tar imidlertid ikke hensyn til alle faktorer som kan begrense potensialet for avlingsøkning. Våre klimafremskrivninger viser at potensialet for økte avlinger som følge av høyere temperatur og forlenget vekstsesong kan begrenses av flere faktorer:

- Mulig økt sommertørke og redusert sommeravrenning i store deler av de viktigste jordbruksområdene i landet.
- Økningen i vekstsesongens lengde forventes å bli minst i to av landets viktigste jordbruksområder; Østlandet og Trøndelag.
- Økning i nedbør i vekstsesongen i distrikt som i dag har tilstrekkelig nedbør
- Økt jorderosjon som følge av økning i ekstremnedbør
- Økt jorderosjon som følge av redusert snødekke om vinteren og økning i nedbør som regn.

Samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet i jordbruksproduksjon

Klimatilpassingsutvalget (2010) mener at selv om primærnæringene er svært utsatte for endringer i klimaet er de ikke spesielt sårbare. Utvalget viser til at den samlede institusjonelle kapasiteten innenfor landbruk i Norge vurderes av utvalget å være relativt høy, med tydelige styringsstrukturer. Næringene er og har vært utsatte for store svingninger og har utviklet tilpassingsstrategier for å tilpasse de ulike kulturplantene, husdyr og skogstrær til klima med sikte på å optimalisere produksjonen.

Vi vil likevel peke på flere utviklingstrekk som kan svekke tilpassingskapasiteten i jordbruket og fungere som barrierer for mulighetene til å opprettholde eller øke jordbruksproduksjonen i Norge i fremtiden. Den viktigste er at jordbruket som næring har forvitret eller er i ferd med å forvitte i mange distrikt i Norge. Dette kan vi se på som et vedlikeholdsetterslep i form av dårligere fysisk vedlikehold av jordbruksareal i drift, knyttet til omfattende nedlegging av bruksenheter, en økende andel leiejord og gjengroing av kulturlandskap. Det er store regionale variasjoner i tilstand og utvikling i jordbruket. Trenden viser en økende konsentrasjon av jordbruksbedrifter på Østlandet, på Jæren og i Nord-Trøndelag og en nedbygging i Nord-Norge, Agder-fylkene og Vestlandet utenom Rogaland.

- *Nord-Norge:* nedbyggingen av jordbruket startet tidligere enn i de andre fylkene. Den største reduksjonen i antall jordbruksbedrifter siden 1969 finner vi i Finnmark(87 %) og Troms(86 %) og Nordland (81 %), men disse fylkene er også blant de med størst prosentvis reduksjon i antall bruk de siste 10 år. Troms er blant de 3 fylkene med færrest gårdbrukere som tror på videre drift av bruket.
- *Midt Norge:* Andelen sysselsatte innenfor landbruket er redusert noe mer enn landsgjennomsnittet, og Sør-Trøndelag er blant de fylker som har hatt stor prosentvis nedlegging av bruksenheter de siste 10 årene. Fylkene kommer samlet bra ut sammenlignet med andre regioner. Nord-Trøndelag er det fylket med minst andel leiejord. Sør-Trøndelag er blant de fylker der gårdbrukeren har mest tro på videre drift.
- *Vestlandet:* Vestlandsfylkene er, med unntak av Rogaland blant de fylkene som har hatt størst reduksjon i antall bruksenheter det siste tiåret, både i antall bruk og i prosentvis reduksjon av antall bruk. Fylkene er, fortsatt med unntak av Rogaland, blant dem med lavest tro på at driften vil holde fram.
- *Sørlandet:* Agderfylkene er blant de fylkene som har hatt størst prosentvis reduksjon i antall bruk det siste tiåret, og har høy andel leiejord.
- *Østlandet:* Det sentrale Østlandet framstår som de fylkene som kommer best ut. Det er her vi finner størst tro på videre drift av brukene, og en lavere andel leiejord og nedlagte bruk enn i de fleste andre fylker. Østlandet sett under ett har lavere nedgang i sysselsettingsandelen i jordbruket enn landsgjennomsnittet. Men også her er det stor variasjon mellom fylkene. Telemark var blant de fylkene som hadde størst prosentvis reduksjon i antall bruk den siste tiårsperioden og har en høy andel leiejord. Hedmark og Oppland har opplevd mange bruksnedleggelser siste tiåret.

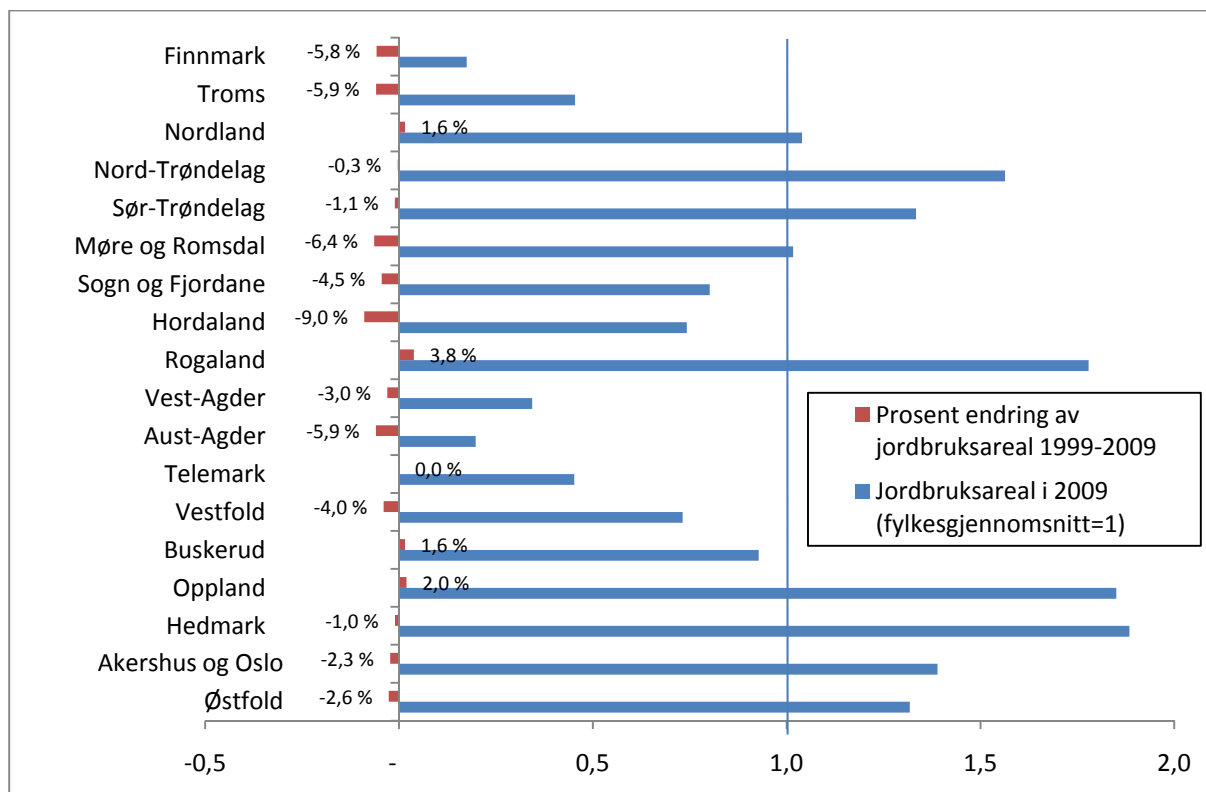
I tillegg til de utfordringene som er nevnt over kan kapasiteten innenfor jordbruksproduksjon bli begrenset av forhold som:

- Mulige endringer i rammebetingelsene for jordbruk
- Redusert sysselsetting i jordbruket og knapphet på arbeidskraft
- Manglende rekruttering til jordbruket i visse produksjoner og distrikter
- Manglende rekruttering til agronomstudier
- Manglende rekruttering til og finansiering av relevant forskning
- Høy grad av spesialisering på den enkelte jordbruksbedrift

En avgjørende faktor for den samfunnsøkonomiske sårbarheten er *tap av jordbruksarealer*. Det totale jordbruksarealet i Norge har holdt seg relativt stabilt til tross for en omfattende nedlegging av jordbruksbedrifter. Dette skyldes i hovedsak at arealer på nedlagte jordbruksbedrifter har blitt leid bort som tilleggsjord til gjenværende jordbruksbedrifter. Videre er nedbygging av jordbruksareal kompensert med nydyrking. Jordbruksareal i drift er redusert med 198 000 dekar i perioden 2006-2010, mens den delen som er fulldyrka er redusert med 256 000 dekar. Fra 2008 til 2010 gikk det fulldyrka jordbruksarealet ned med knapt 1 prosent hvert år (SSB 2010)⁹. En avgang på 1 % i året av fulldyrka areal er dramatisk, men skyldes i stor grad at fulldyrka mark går over i kategorien innmarksbeite. Noe går også ut av produksjon. De største sammenhengende jordbrukslandskapene finnes på Østlandet, på Jæren og i Trøndelag. Hedmark og Oppland er de to fylkene som

⁹ <http://www.ssb.no/emner/10/04/10/jordbruksareal/>

forvalter flest dekar av jordbrukets kulturlandskap (Riksrevisjonen 2010b). Arealene med korndyrking og oljevekster til modning er stort sett begrenset til Østlandet og Trøndelag. På Vestlandet og i Nord-Norge er produksjonen i stor grad avgrenset til eng og beiter, med Rogaland som det store husdyrfylket. Under er vist en fylkesvis oversikt for et lengre tidsrom: 1999-2006. På landsbasis er fulldyrket areal i drift blitt redusert i alle fylker, til sammen med om lag 1 prosent, i perioden fra 1999 til 2009 (Bye mfl. 2010). For noen fylker har det vært en økning, og viktig her er økningen i to av de jordbruksfylkene med størst produksjon og størst jordbruksareal; nemlig Rogaland og Oppland. Samtidig har det vært en stor nedgang i det fylket med størst jordbruksareal: Hedmark. Også andre store jordbruksfylker har opplevd en nedgang – som Akershus og Østfold. I tillegg har to fylker på Vestlandet der jordbruket har en særlig høy andel av sysselsettingen – Sogn og Fjordane og Møre og Romsdal – opplevd en dramatisk nedgang både i prosent og absolutte tall.



Figur 4 Omfang av og endringer i jordbruksareal i drift pr fylke, 1999 og 2009 (Statens landbruksforvaltning 2010 i Riksrevisjonen 2010)

Statistisk sentralbyrå fører løpende statistikk over omdisponering av dyrka og dyrkbar mark etter plan- og bygningsloven og som enkelt saker etter jordloven. Statistikken kommer fram ved at kommunene rapporterer til KOSTRA hvor mye dyrket jord som er omdisponert fra jordbruk til utbyggingsformål i nye kommunale planer hvert år. Bye mfl (2010) understreker at det fremdeles er knyttet usikkerhet til tall over omdisponering av dyrka og dyrkbar jord. Dette skyldes delvis kvaliteten i kommunenes rapportering til KOSTRA, delvis omlegging av rapporteringssystem. Det går ikke fram av KOSTRA når den omdisponerte jorda faktisk blir utbygd (Riksrevisjonen 2007). Omdisponeringen av dyrket mark i perioden 1994–2009 var på om lag 13 400 dekar årlig. De 20 kommunene som hvert av de siste 5 årene har omdisponert mest areal, står for 40-50 % av all omdisponert dyrka jord det enkelte år. Så godt som alle disse kommunene ligger i områder med svært gode vilkår for jordbruk. En stor del av denne omdisponeringen går derfor på bekostning av noen av de mest verdifulle jordressursene vi har (Grønningsæter 2010).

Regjeringen har brukt 13 400 dekar som utgangspunkt for sitt mål om å halvere omdisponeringen innen 2010. Når en trekker fra arealene som ikke inngår i regjeringens mål, dvs. areal til skogplanting som blir omdisponert etter jordlova og areal som blir regulert til landbruk etter plan- og bygningslova, blir tallet 11 440 dekar i snitt per år. Regjeringen sitt mål utgjør dermed en maksimal omdisponering av dyrka mark på 5 700 dekar per år innen 2010. I 2009 ble det omdisponert 8 300 dekar dyrka jord til andre formål enn landbruk (Riksrevisjonen 2007). I tillegg ble det omdisponert 4 700 dekar dyrkbar jord til andre formål enn landbruk. Tar vi i tillegg med areal til skogplanting og til landbruk blir det samlede omdisponerte tallet på 15 200 dekar.

Samla areal dyrka mark i Norge i 2010 er 10,05 millioner dekar. Av dette er 8,29 millioner fulldyrka mark og 3,0 millioner dekar kornareal. I følge SSB er befolkningsmengden i Norge i 2010 ca 4,9 millioner. Det innebærer at jordbruksarealet i Norge er på bare vel 2 dekar per person, og det fulldyrka arealet er bare ca 1,7 da per person. Dette er lave tall internasjonalt. Statistikk fra 2005¹⁰ viste at Norge da hadde 2,2 dekar pr person, Sverige 3,5, Danmark og Frankrike 4,8, mens Sveits og Tyskland hadde 2,0 og Nederland 1,2. Om lag halvparten av den jordbruksbaserte matvaremengden som forbrukes i Norge dag, blir produsert i landet, regnet på energibasis. En del av det som produseres i norsk jordbruk, og som regnes med i selvforsyningsgraden, er imidlertid basert på importert fôr og importerte fôrstoffer, slik at selvforsyningsgraden i realiteten er noe lavere. I 2009 var den totale andelen norske råvarer i kraftfôr til husdyr 71 prosent (Riksrevisjonen 2010b).

Naturskade og lokalisering av fysisk infrastruktur

Relevante klimaparametre for naturskade er i første rekke knyttet til nedbør, spesielt ekstremnedbør, som kan utløse naturskade som flom og skred. Avrenning. Temperaturparametre som økning i fryse-tineperioder kan utløse steinsprang. Havnivåstigning og stormflo er videre relevant for naturskade i kystområder. Videre er vind relevant.

Kunnskapsgjennomgangen i delrapport 1 viser at bygninger og infrastruktur i store deler av landet er utsatt for naturskade som følge av flom og/eller skred, storm og stormflo også ved dagens klima. Et stort antall mennesker bor på steder som er eller kan være utsatt for naturskade. Det er store geografiske forskjeller når det gjelder hvilke områder som er særlig utsatt for ulike typer naturskade.

Samfunnsutviklingen har i betydelig grad påvirket hvor sårbart samfunnet og infrastrukturen er for naturskade. Lokalisering av fysisk infrastruktur til utsatte områder, som langs flomutsatte elver, og i områder utsatt for skred og stormflo har øket sårbarheten. En rekke analyser understreker betydningen av arealplanlegging for å redusere sårbarhet, først og fremst gjennom å lokalisere bygninger og annen infrastruktur til områder som ikke er utsatt for naturulykker som skred og flom.

Det er store kunnskapshull når det gjelder sårbarhet for naturskade. Vi vil særlig peke på at de nasjonale kartleggingene av skred og flom ikke tar hensyn til klimaendringer, men bygger utelukkende på historiske data. Samtidig er det kjent at klimaendringer fører til nye typer naturulykker på nye steder, for eksempel flom og jordskred knyttet til små bekker, der det ikke tidligere har forekommet. Slike fareområder fanges altså ikke opp i dagens kartlegginger av mulige fareområder. Videre kommer at dagens farevurderinger ikke har fanget opp endret risiko pga klimaendringer. De nasjonale kartleggingene dekker heller ikke alle områder i landet som gitt dagens klima antas å være utsatt for flom og kvikkleireskred.

NOU Klimatilpasning har vurdert sårbarheten innenfor vann- og avløpssektoren som høy, fordi tilpassingskapasiteten etter utvalgets vurdering er lav. Vurderingen av transportsektoren og bygninger gir et mer sammensatt bilde av sårbarhet og tilpassingskapasitet. Den samlede vurderingen er likevel at infrastruktur og bygninger peker seg ut som særlig sårbare samfunnsområder. Utvalget peker på at ulike typer kritisk infrastruktur er innbyrdes avhengige av hverandre, og at dette øker sårbarheten. Store deler av infrastrukturen har dessuten lang levetid, noe som betyr at det som blir bygget i dag må dimensjoneres for de belastningene som kommer i fremtiden.

Skred

Våre klimafremskrivinger viser øket nedbørintensitet om høsten og vinteren. Sammenhengene mellom klimaparameter og skred er fortsatt ikke godt kjent, men det antas at økning i vinternedbør vil øke skredfaren i bratte nedbørsfelt, som vi særlig finner på Vestlandet og i Nord-Norge. Variasjonen i nedbørsmenge i de nedskalerte klimafremskrivingene er betydelige. I et skredutsatt fylke som Sogn og Fjordane viser ulike klimamodeller for eksempel endringer i vinternedbøren i 2050 i forhold til perioden 1961 -1990 på fra en økning på over 14 % til en reduksjon på nærmere 6 % i store deler av fylket. En konsekvens av dette er at skredfaren i fremtiden muligens kan bli redusert i forhold til dagens situasjon.

Tining av permafrost vil bidra til å øke skredfaren i Nord-Norge. Et område i Norge hvor det er påvist både permafrost og fare for utglidning er Nordnesfjellet i Troms. Her er det en rekke ustabile fjellpartier som beveger seg opptil 3 cm i året. Utglidninger av fjellmasser vil her kunne føre til en flodbølge som kan ramme bebyggelsen langs Lyngenfjorden, i tillegg til at E6 går rett under de utsatte skråningene(Aaheim mfl. 2009).

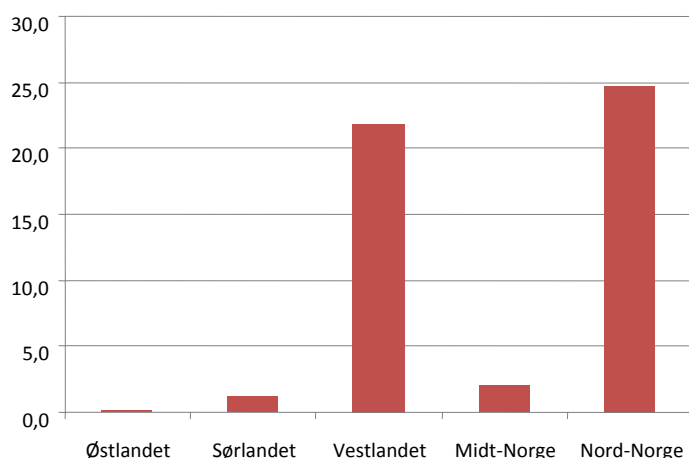
¹⁰ http://www.nationmaster.com/graph/agr_agr_lan_sq_km_percap-land-sq-km-per-capita

Riksrevisjonen (2010) ga NGI i oppdrag å utarbeide en oversikt over hvor mange bygg og personer det er i områder som NVE har kartlagt som ligger innenfor aktsomhetsområde for steinsprang og snøskred. Kartleggingen gjelder dagens klima, og har ikke med eventuell økning av skredfare som følge av klimaendringer. Andre typer skred, jordskred og løsmasseskred er ikke med i tallene. Faren for tsunamier som følge av store fjellskred er heller ikke inkludert i disse tallene. Til sammen ligger over 40 000 bygninger innenfor områder som er kartlagte aktsomhetsområder for steinsprang og snøskred. Tallene er generert på grunnlag av en kartserie over aktsomhetskart for snøskred- og steinsprangfare som ikke dekket hele landet, men 70 % av de arealene som er mest utsatte for steinsprang og/eller snøskred (Solheim 2010). Det er få områder som er kartlagt i Aust-Agder, Vest-Agder, Telemark, Oppland og Nord-Trøndelag. Det forelå i 2008 ikke aktsomhetskart for Østfold, Akershus, Oslo, Hedmark, Buskerud og Vestfold, det vil si i 6 av 19 fylke. Tallene tar ikke hensyn til at det kan være utført sikringstiltak for eksempel i form av flomforebygging og skredforebygging i de kartlagte områdene (Solheim 2010).

NGI har senere produsert en ny kartserie ved hjelp av digitale terrengmodeller som dekker hele landet. Dersom opptellingen av bygg innenfor faresonen var gjennomført etter den nye kartleggingen ville antall bygninger vært langt høyere. Dette skyldes for det første at den nye kartserien dekker hele landet, og dessuten at metoden gir større aktsomhetsområder. Kvaliteten på den siste kartserien er imidlertid ikke bedre enn den gamle serien. Den første kartleggingen, som bare dekker områder med bebyggelse, ble kvalitetssikret med enkle feltbefaringer. Det er ikke tilfelle med den nye kartserien (Solheim 2010). Mange kommuner, der det foreligger både ny og gammel kartserie, er blitt rådet til å legge den gamle kartserien til grunn for aktsomhetsvurderinger (Solheim 2010).

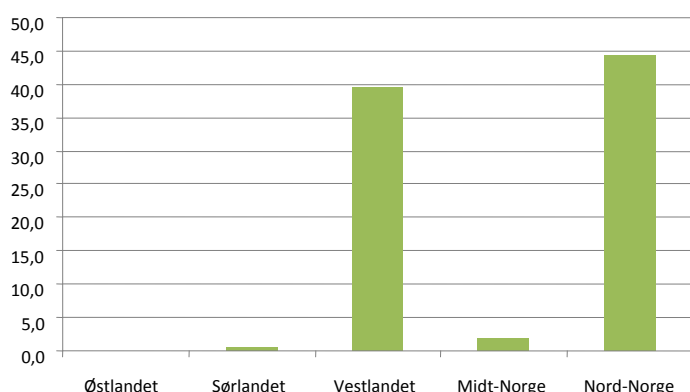
Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane er de fylkene med flest bygninger og innbyggere i aktsomhetsområder for stein- og snøskred. Omkring 60 prosent av de som bor i potensielt skredutsatte områder, bor i disse to fylkene. Vel 24 000 av disse er boliger der det bor rundt 72 000 mennesker.

Resultatene av undersøkelsen og den fylkesvise fordelingen er gjengitt i delrapport 1, her har vi brukt tallene for å beregne antall utsatte bygninger og bosatte personer pr 1000 innbyggere.



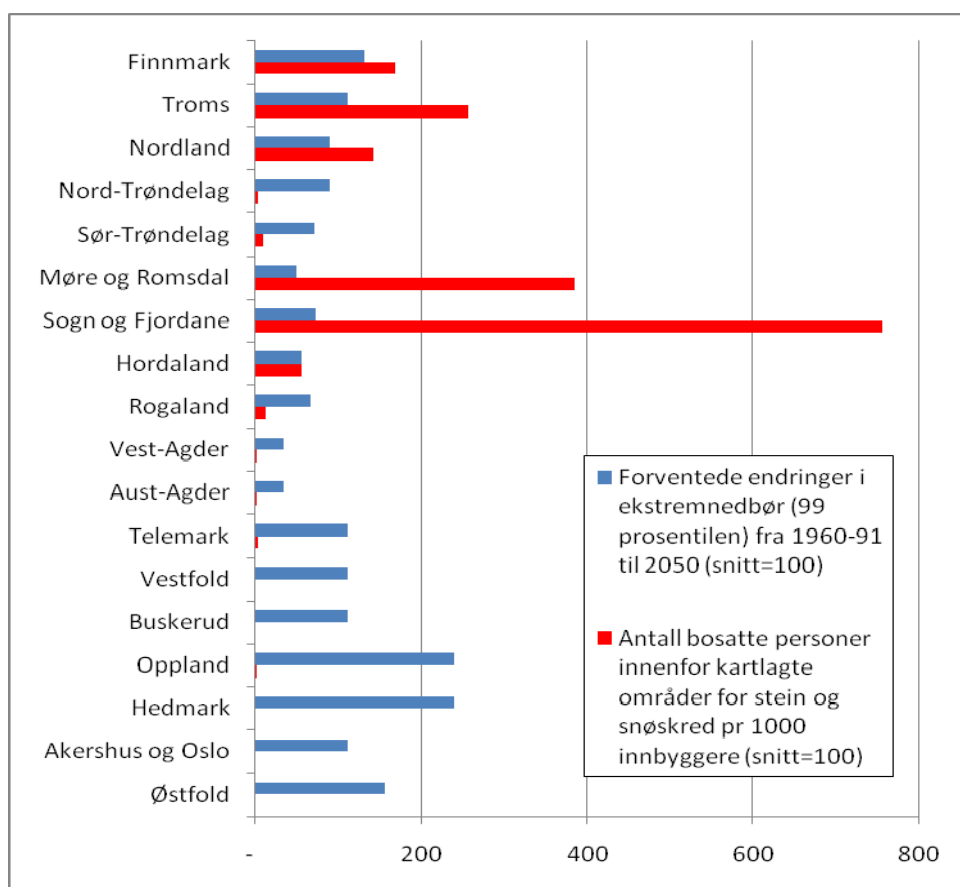
Figur 5 Antall bygninger innenfor kartlagte områder for stein og snøskred pr 1000 innbyggere. 2008 (Riksrevisjonen 2010)

Figuren viser at det er Vestlandet og Nord-Norge som skiller seg ut med hensyn til sårbarhet for stein- og snøskred. De store regionale forskjellene tilsier en sterk statlig medvirkning i finansiering av skredsikringstiltak.



Figur 6 Antall bosatte personer innenfor kartlagte områder for stein og snøskred pr 1000 innbyggere pr region, 2008 (Riksrevisjonen 2010, SSB 2010)

Også når det gjelder antall bosatte personer skiller Vestlandet og Nord-Norge seg ut som særlig sårbare. Innenfor hver av regionene er det imidlertid store forskjeller. I Sogn og Fjordane, som har det høyeste antallet, er det 180,7 bosatte personer per 1 000 innbyggere innenfor de kartlagte områdene, men det tilsvarende tallet i Rogaland er bare 3,0. Vi har ikke tall for variasjonene innenfor hvert fylke, men antar at de er betydelige. Tallene gir ikke svar på hvor omfattende skredsikring som er nødvendig. Til det er kartleggingene av skredfare for grovmaskete og enkle. Det er med andre ord nødvendig med mer detaljerte kartlegginger. Slike kartlegginger har kommunene ansvar for, men de utføres i liten grad i dag. I skredutsatte kommuner på Vestlandet og i Nord-Norge kan slike kartlegginger bli omfattende og ressurskrevende, og få kommuner har egen kompetanse til slike kartlegginger. Figuren under indikerer også hvor de største utfordringene kan komme som følge av klimaendringer.



Figur 7 Antall bosatte personer innenfor kartlagte områder for stein og snøskred pr 1000 innbyggere pr fylke 2008 sammenstilt med indeksering av maksverdien for forentede endringer i ekstremnedbør mot 2050 sammenlignet med 1960-1990 (Riksrevisjonen 2010, SSB 2010)

Statistikken viser at det var skred mot bebyggelse som tok flest liv i hundreårsperioden fra 1900 til 2000. Det omkom 445 mennesker i skred mot bebyggelse (57 prosent), 110 personer (14 prosent) omkom gjennom friluftaktiviteter, mens 49 personer (6 prosent) mistet livet pga. skred mot vei (NGU 2006). Det var snøskred som tok livet av flest personer i hundreårsperioden fra 1900 – 2000, fulgt av fjellskred. I senere tid er antall omkomne i snøskred mot bebyggelse redusert. Snøskredulykker i våre dager er i stor grad knyttet til friluftsliv.

Statistikk over skredhendelser på vei, som omfatter alle typer skred, viser at Midt-Norge er omtrent like utsatt som Vest-Norge, og mer utsatt enn Nord-Norge. På hovedvegnettet var det omkring 18 000 skredhendelser i perioden 1996 -2004, eller omkring 2 000 hendelser årlig.

Oppgaver over fylkes- og kommunale veier viser at Østlandet har flest km vei med 14 121 km, fulgt av vestlandet (11 025 km), Nord-Norge (6858 km), Midt-Norge (3882 km) og Sør-Norge (2703km). Ser vi på antall km vei pr 1000 innbyggere ser vi at Nord-Norge har flest km vei pr 1000 innbyggere, fulgt av Sørlandet og Midt-Norge. Det er imidlertid store forskjeller mellom fylker innenfor hver region. Det fylket som har mest veg pr innbygger er Sogn og Fjordane med 32,4 km kommunale og fylkeskommunale veier pr 1000 innbyggere, fulgt av Nord Trøndelag med 28,4 km og Finnmark med 28,1 km. Oslo har det laveste tallet med 1,9 km. Det er grunn til å anta en sterk sammenheng mellom snøskred- og steinsprangfare mot bosatte og tilsvarende fare mot kommunale og fylkeskommunale veier. Enkelte kommuner og Fylkeskommuner i Vest-, midt og Nord-Norge har dermed et uforholdsmessig stort ansvar for kartlegging av skredfare og skredsikring av veier.

Våre analyser viser en økning i antall fryse-tineperioder i vinterhalvåret i store deler av landet, men en reduksjon i ytre deler av kysten. NGU har antydnet at det kan være en sammenheng mellom utglidning av fjellskred og fryse-tineperioder, men denne sammenhengen er enda ikke dokumentert (Blikra et al 2009). I følge NGU et al (2006) utgjør fjellskred som setter opp en tsunami i trange fjorder den klart største trusselen for tap av menneskeliv og verdier i én enkelt naturulykke i Norge. I følge Carl Harbitz ved NGI kan et skred som omfatter hele det ustabile fjellpartiet Åkneset i Møre og Romsdal generere en flodbølge som skyller hele 20-40 meter opp over Hellesylt og Geiranger. Den første kartleggingen av regional flodbølgefaren er nå gjennomført i det nordøstlige Atlanterhavet, via FoU-prosjektet TRANSFER. Den største flodbølgefaren i regionen skyldes ustabile fjellsider med mulige fjellskred. Området for kartleggingen omfatter de europeiske kystene fra Nord-Frankrike og nordover, innbefattet Skandinavia og Island. Konklusjonene viser at den største flodbølgefaren i regionen skyldes ustabile fjellsider med mulige fjellskred på Vestlandet, blant dem Åkneset i Møre og Romsdal og Stampa-området i Sogn og Fjordane. Våre klimaframskrivninger viser en liten økning i antall fryse-tineperioder i Åknes-området, og en økning på omkring 5 dager i Aurland med det ustabile fjellområdet Stampa.

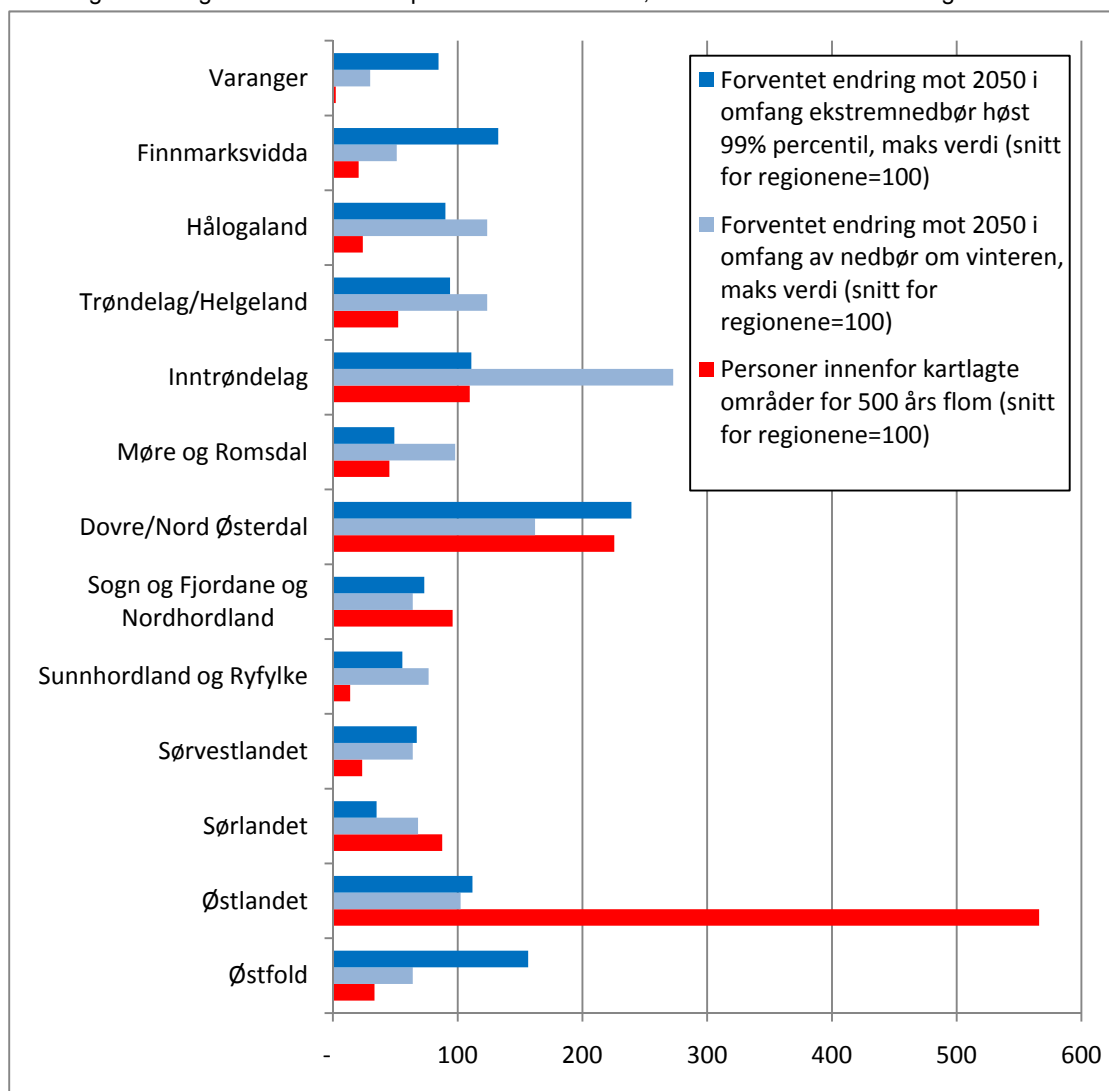
Dersom finansiering av skredsikring blir et kommunalt eller fylkeskommunalt ansvar vil enkelte fylker og kommuner få urimelig store belastninger. Dette vil i så fall trolig resultere i skjev prioritering av skredsikringstiltak, ved at enkelte regioner har økonomi til å sikre selv relativt lite skredutsatt områder, mens mer utsatte områder i andre fylker forblir usikret.

Flom

Flommer i Norge forårsakes av snøsmelting, snøsmelting i kombinasjon med regnvær, langvarig regnvær og intense skybrudd (Klima i Norge 2100). I tillegg kan flom skyldes ras eller oppdemming, jökullhlaup eller i kombinasjon med stormflo (Roald 2007). Ulike flomtyper opptrer til ulike tider av året og i ulike geografiske områder og har ulikt forløp. Østlandet er utsatt for flommer knyttet til de store vassdragene. De store vårflommene kommer ofte gradvis, dekker ofte store områder og har gjerne stort volum. De skyldes snøsmelting ofte i kombinasjon med mye regn. På Østlandet er nesten 20 000 mennesker bosatt i kartlagte 500-års flomsoner. I ytre strøk på Vestlandet, i Trøndelag og Nordland kan kraftige regnvær gi store vinterflommer (Roald 2007).

Indikatoren vi bruker for samfunnsøkonomisk sårbarhet for flom er antall mennesker bosatt innenfor kartlagte områder for 500-års flom. Det antas å være en nær sammenheng mellom antall bosatte i slike områder og antall kommunale og fylkeskommunale veier innenfor flomsonene. Det samme gjelder for infrastruktur knyttet til vann- og avløp. Flomsonekartleggingen som har vært gjennomført av NVE fra 1998 til 2008 dekker utvalgte

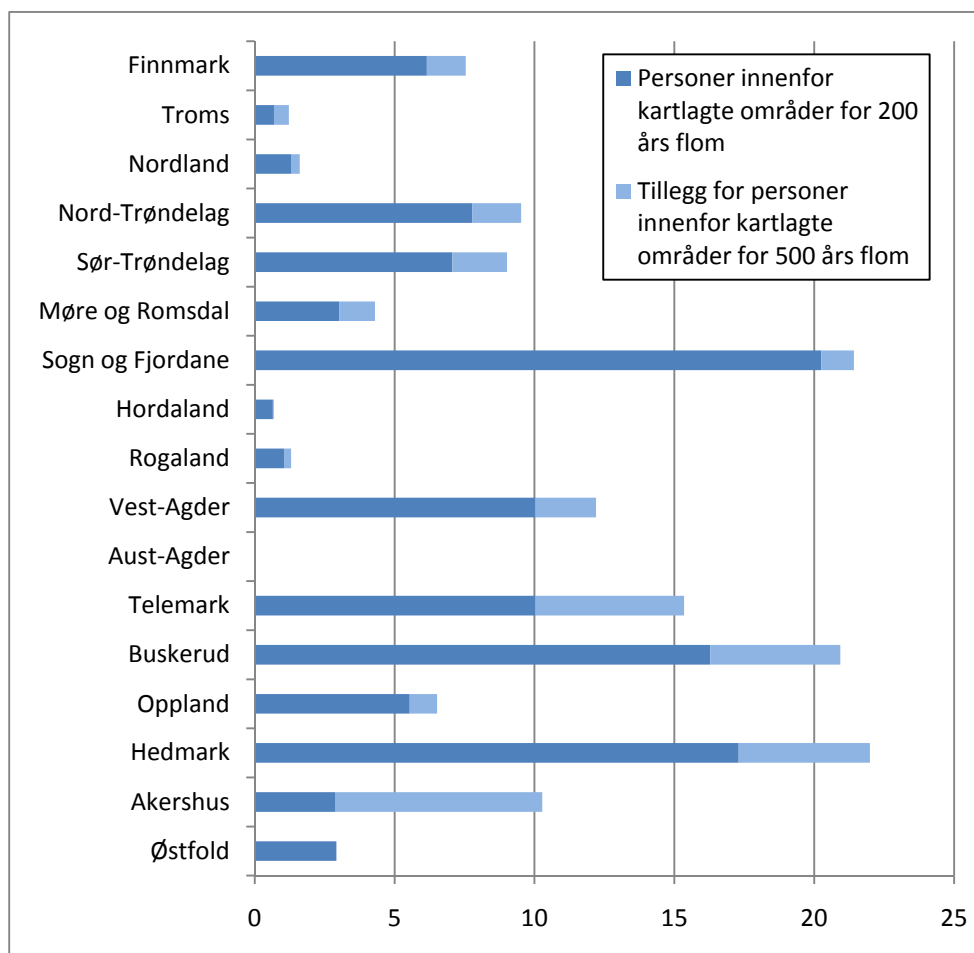
vassdragsstrekninger med stort skadepotensial i hele landet, til sammen 120 delstrekninger.



Figur 8 Indeksering av antall bosatte personer i områder kartlagt for 500 års flom (Riksrevisjonen 2010) og forventede endringer i vinternedbør og ekstremnedbør fram mot 2050. Vestfold er ikke kartlagt når det gjelder flomsoner

De største flomutfordringene i forhold til bygninger med bosetting er på Østlandet, både i forhold til 200-års flom og 500 års flom. Buskerud og Hedmark framstår som de fylkene på Østlandet som er mest utsatte for skader ved en 200-års flom. Skadene ved en 500 års flom vil bli enda større i Akershus enn i Buskerud og Hedmark. Vestlandet er den nest mest utsatte regionen, både for 200- og 500 –årsflom. Sogn og Fjordane skiller seg ut som det mest sårbare fylket.

Vi har også sett på antall bosatte innenfor de ulike flomsonene i forhold til innbyggertallet (se figur under). Sogn og Fjordane og Hedmark fylke skiller seg da ut som de fylkene som vil ha de størst utfordringer pr person, bl.a. i forhold til sikrings- og andre tilpassingstiltak, fulgt av Buskerud og Telemark.



Figur 9 Personer som bor innenfor kartlagte områder for to kategorier av flom i 2010, per 1.000 innbyggere (Riksrevisjonen, 2010)

NVE sin flomsonekartlegging angir flomsoneer med stor presisjon, men det er ikke lagt inn hensyn til klimaendringer. Flomsonekartprosjektet ble avsluttet i 2008, men kartleggingen videreføres som del av NVEs program for farekartlegging. NVE skal videreføre detaljkartlegging av flomsoneer etter prioriteringsliste over utsatte område med stort skadepotensial. Det skal videre utarbeides aktsomhetskart for flomfare med kartlegging av potensielt utsatte område langs vassdrag, innsjøer og kystområder. NVE skal videre utarbeide aktsomhetskart for flomskred¹¹. I samsvar med Flomdirektivet som er gjort gjeldende for EU-landene fra november 2007 skal NVE gjennomføre foreløpig flomrisikoanalyse, fare- og flomrisikokartlegging. Hvilke ambisjoner Norge skal ha, og hvordan flomdirektivet skal følges opp i vårt land, er nå til utredning i NVE i samråd med Olje- og energidepartementet¹².

Fordi flom skyldes en kombinasjon av mange faktorer, og fordi klimascenarier generelt er usikre når det gjelder den geografiske fordelingen av nedbør i Norge er det vanskelig å si noe sikkert om hvordan flombildet vil endre seg i fremtiden. I tillegg er den naturlige variasjonen stor (Hisdal mfl 2006). Flere mildværsperioder på vinteren kan gi flere vinterflommer, men redusere vårflommer (CICERO 2007). Mer nedbør om vinteren og mindre om sommeren vil føre til en forskyvning av flomsesongene. Vårflommene vil komme tidligere, og øket nedbør om høsten kan gi flere høstflommer (Roald mfl 2007). Økt nedbørsintensitet og hyppigere episoder med ekstremnedbør vil gi større risiko for flommer i mindre vassdrag, i sideelver og bekker. Skadeflommer som skyldes kraftige regnskyll blir vanligere i innlandsområder med beskjeden årsnedbør og der vassdragene har dårlig kapasitet til å ta unna nedbøren. I kystområdene forventes en økning i antall regnflommer (Roald mfl 2007). I følge Hisdal mfl (2006) kan man forvente en reduksjon i flomtoppene på Østlandet, en økning i flomtoppene på Vestlandet, mens i Midt- og Nord-Norge gir bruk av ulike klimamodeller ulike resultat.

¹¹ <http://www.nve.no/no/Flom-og-skred/Farekartlegging/>

¹² NVE 2009: <http://www.nve.no/no/Flom-og-skred/Flomdirektiv/>

Fordi flom skyldes en kombinasjon av mange faktorer, og fordi klimascenarioer generelt er usikre når det gjelder den geografiske fordelingen av nedbør i Norge er det vanskelig å si noe sikkert om hvordan flombildet vil endre seg i fremtiden. I tillegg er den naturlige variasjonen stor (Hisdal mfl 2006). Flere mildværsperioder på vinteren kan gi flere vinterflommer, men redusere vårflokker (CICERO 2007). Mer nedbør om vinteren og mindre om sommeren vil føre til en forskyvning av flomsesongene. Vårflokkene vil komme tidligere, og øket nedbør om høsten kan gi flere høstflommer (Roald mfl 2007). Økt nedbørsintensitet og hyppigere episoder med ekstremnedbør vil gi større risiko for flommer i mindre vassdrag, i sideelver og bekker. Skadeflokker som skyldes kraftige regnskyll blir vanligere i innlandsområder med beskjeden årsnedbør og der vassdragene har dårlig kapasitet til å ta unna nedbøren. I kystområdene forventes en økning i antall regnflommer (Roald mfl 2007). I følge Hisdal mfl (2006) kan man forvente en reduksjon i flomtoppene på Østlandet, en økning i flomtoppene på Vestlandet, mens i Midt- og Nord-Norge gir bruk av ulike klimamodeller ulike resultat.

Våre klimafremskrivninger tilsier at vi kan vente reduksjoner i vårflokkene i de store vassdragene på Østlandet, i samsvar med kunnskapsstatus. Til tross for øket nedbør, kan høyere temperatur og kortere snøsesong føre til at vi får en økning i flomsituasjoner om vinteren, men at vårflokkene blir mindre dramatiske. På vestlandet og i Nord-Norge forventes en økning i regnflommer om høsten.

Det forventes en økning i antall dager med store nedbørsmengder, og gjennomsnittlig nedbørmengde for disse dagene blir høyere i hele Norge og for alle årstider. Resultatene indikerer en økning i skadeflom som følge av episoder med ekstremnedbør som skaper flom og flomskred i mindre bekker og sidevassdrag. Dette stemmer overens med flomskader som er observert i mange deler av landet de siste årene. Erfaringer fra Oppland de siste 10 årene er at det ikke er flom i hovedvassdraget som har skapt problemer, derimot har flere hendelser oppstått i sidevassdragene som følge av episoder med uvanlig mye nedbør på kort tid (Husabø 2010). Infrastruktur som veier, tele, data og strøm går på langs av de store dalførene i fylket, mens værrelaterte problem som skred og flom fysisk sett går på tvers av dalen og rammer dermed infrastrukturen. Beredskapsmessig er problemet at samfunnet er blitt mer avhengig av kritisk infrastruktur og når flom eller skred først rammer dalførene, ryker alt på en gang (Husabø 2010). Denne typen flomfare er ikke fanget opp av NVE sin flomsonekartlegging. Våre resultater tilsier at de regionene som i perioden 1961 -1990 hadde mest ekstremnedbør målt i millimeter, også blir de som får mest ekstremnedbør i 2050. Vestlandskysten skiller seg ut her, deretter følger kysten av Nordland. Økningen i ekstremnedbør i millimeter fram mot 2050 ser ut til å bli størst i østre deler av Sør-Trøndelag og nordlige deler av Hedmark, i Nord-Hordaland og områdene sør for Sognefjorden og i Nordland og deler av Finnmarkskysten (Jfr. figur 15 i delrapport 2). Dette tilsier at en del områder med store utfordringer i forhold til flom i dag, slik som Sogn og Fjordane og Hedmark får økte problem. Det er imidlertid knyttet stor usikkerhet til klimascenarioer for ekstremnedbør, og ikke minst til den geografiske fordelingen av nedbøren. Økning i skadeflokker som følge av ekstremnedbør må påregnes å øke i hele landet.

Lokale sårbarhetsanalyser i utvalgte eksempelkommuner

For å illustrere temaet arealplan med eksempler fra norske kommuner, har vi valgt ut Voss og Fredrikstad, som vi mener kan illustrere noen av de sentrale poengene i dette kapittelet. Kommunene har samarbeidet med medlemmer i forskergruppen gjennom prosjektet NORADAPT, og vi henter kunnskaper om kommunene derfra. I tillegg har vi utført telefonintervju med sentrale personer i kommunene for å supplere kunnskapen. Vi stilte følgende spørsmål til et utvalg informanter i hver av de to kommunene:

- Er det gjort systematiske vurderinger av sårbarhet i forhold til klimaendringer innen ditt ansvarsområde?
- Hvordan er dette i tilfelle gjort?
- Hvordan vil du sammenfatte klimasårbarheten for ditt ansvarsområde?
- Hva er de største utfordringene?

Fredrikstad kommune

Spørsmål om klimatilpassing og –sårbarhet ble stilt til den personen som har ansvar for å lede klimatilpassningsarbeidet i kommunen. I tillegg intervjuet vi en overingeniør i vann- og avløpsetaten, for å få mer inngående kjennskap til et eksempel på hvordan arealplan og sårbarhet for overvann henger sammen.

Når det gjelder arealplan, er særlig havnivåstigning og ekstremnedbør viktige klimautfordringer for Fredrikstad kommune. Blant annet ligger deler av sentrum og sentrumsnære områder lavt over havnivået ved utløpet av Glomma, og er dermed sårbare for stormflo og generell havnivåstigning. I tillegg har vi vurdert spørsmålet om dyrka mark.

Tabell 8 Forventede klimaendringer i Fredrikstad kommune sammenlignet med 1960-91

Parameter	Endring
Endring i vekstsesong fram til 2050	Min: + 32 dager (+17 %). Max: + 48 dager (+26 %)
Fryse-tine perioder om vår fram til 2050	Min: -12 %. Max: -41 %
Fryse-tine perioder om høst fram til 2050	Min: -20 %. Max: -53 %
Ekstremnedbør snitt hele året fram til 2050	Min: + 6 %. Maks: + 18 %
Havnivåendring fram til 2050	+ 13 cm
Mulig stormflonivå i 2050	+ 156 cm over NN 1954
Havnivåendring fram til 2100	+ 53 cm
Mulig stormflonivå i 2100	+ 201 cm over NN 1954

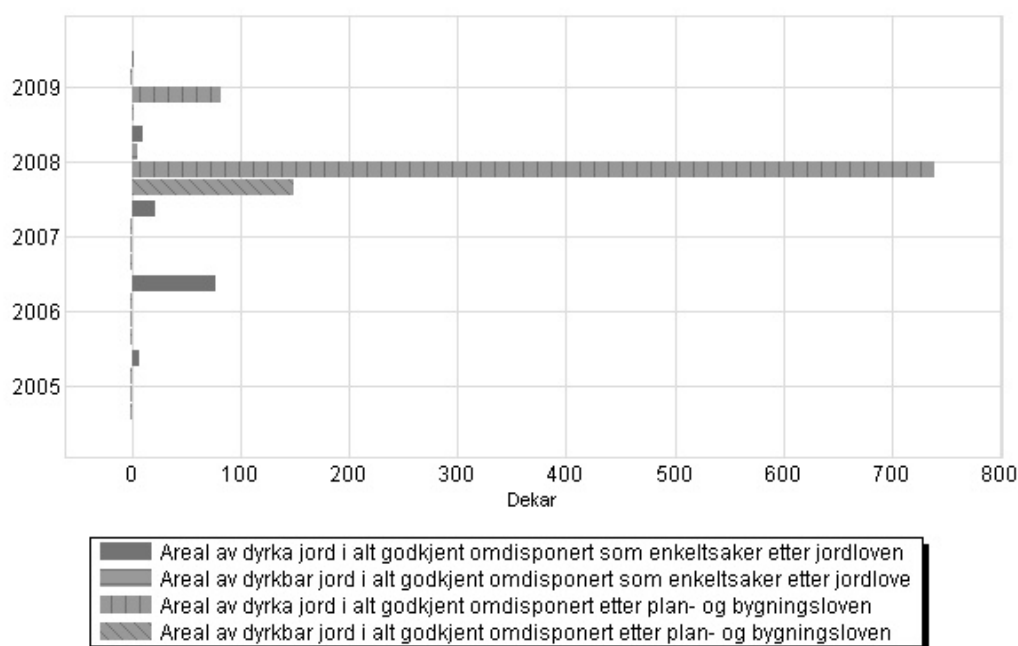
Fredrikstad kommune kan på mange måter regnes som en foregangskommune i klimapolitisk sammenheng: De har i mange år fokusert på arbeid for å redusere klimagassutslippene sine. Etter flere episoder med kraftig nedbør og overvann på 2000-tallet, har temaet klimatilpasning også fått høy legitimitet blant byens politikere og kommuneadministrasjon. Gjennom prosjektet NORADAPT har de fått tilgang på lokale klima- og samfunnsscenarioer, og grupper fra en rekke av kommunens etater har analysert klimasårbarhet og foreslått tiltak for sin sektor. Sektorene som var med inkluderer arealplan, jordbruk, vei, vann og avløp, helse og innbyggernes mulighet for å tilpasse seg klimaendringene. Resultatene er samlet i en sluttrapport som Vestlandsforskning har skrevet på oppdrag for kommunen (Sælensminde mfl., 2010).

Fredrikstad kommune har et fastlandsareal (med øyer) på 288,16 km². Skog utgjør 54 % av dette arealet og dyrka jord utgjør 25,1 % (72,47 km²). By- og tettstedarealet utgjør 7,6 % (21,91km²) (Statens kartverk 2010). Folketallet var 73 638 innbyggere pr. 1. januar 2010 (SSB 2010). Tabellen over viser en relativt stor endring i lengde på vekstsesongen (+17 til +26 %) og en stor nedgang i fryse-tine perioder om både vår og høst (-12 til -50 %). Fredrikstad er blant de kommunene i landet som har hatt mest stormfloskader. I følge Groven (2008) er høyeste registrerte stormflo i Fredrikstad 138 cm over landkartnull. Tabellen over viser at stormflonivået ifht dette nivået kan øke med 18 cm til 2050 og 63 cm fram mot 2100.

I Fredrikstad kommune er det registrert 10 500 dekar dyrkbar jord (Strand og Bekkhus, 2008). Tallene er fra kartlegging før 2004 og kan vise noe for høye tall ifht dagens situasjon, fordi areal som er omdisponert eller oppdyrket etter denne tid ikke er med. Trekker vi fra myr som utgjør vel 500 dekar, står vi tilbake med 10 000 dekar, som utgjør 1/7 av det nåværende jordbruksarealet. Potensialet vil ikke øke ved klimaendringer fordi alt areal i kommunen er i klimasoner som er alt er gunstig for jordbruk.

Figuren under viser at omdisponering av dyrka og dyrkbare areal i Fredrikstad i siste 5-årsperioden omfatter 941 dekar dyrka jord og 158 dekar dyrkbar mark. Det omdisponerte dyrkete arealet i Fredrikstad i perioden tilsvarer 1,3 % av det dyrkete arealet i kommunen. Per person utgjør det 0,012 dekar omdisponert dyrka mark i perioden. Tallet er nesten dobbelt så høyt som det omdisponerte arealet med dyrka mark pr person i hele landet i samme perioden (0,0079 dekar). Det representerer samtidig 2,4 % av arealet dyrka jord som ble omdisponert i Norge i samme tidsperiode¹³

¹³ Samlet areal omdisponert dyrka mark i Norge i perioden 2005-2009 er 38840 dekar (Statens landbruksforvaltning 2010, Statistikk og utvikling)



Kilde: Statistisk sentralbyrå

Figur 10 Areal av dyrka og dyrkbar jord som er omdisponert etter plan- og bygningsloven og jordloven i Fredrikstad fra 2005 – 2009 (Kilde SSB-KOSTRA)

Når det gjelder overvannshåndtering, er Fredrikstad kommune et godt eksempel på problemstillinger som særlig bykommuner kan møte ved økte nedbørsmengder. I perioden mellom 2002 og 2008 opplevde kommunen flere episoder med kraftige regnskyl, som gjorde at vann- og avløpssystemene ikke klarte å ta unna vannet. I ett tilfelle førte dette til oversvømmelse av et næringsbygg i sentrum, mens i flere andre tilfeller fikk bolighus tilbakeslag av vann og kloakk i kjellerne. Dette henger sammen med utforming og dimensjonering av avløpssystemet, men er også knyttet til arealplan og byggesak og illustrerer behovet for å se på tvers av sektorer. Problemene er ofte knyttet til økt påslag av vann oppstrøms, som kommer til overflaten når rørsystemer nedstrøms (og ofte i sentrale strøk ned mot Glomma og sjøen) blir for små til å ta unna vannet. Problemet har økt fordi utbygging av store bygg og harde flater øker avrenningen. Interessekonflikter mellom for eksempel boligutbyggere og byggesaksbehandling kan også føre til løsninger som ikke er optimale: Mens byggesaksbehandling gjerne legger vekt på at hus bør legges ned i terrenget, ønsker utbyggere innredning av kjellere med opplegg for vann og avløp. Resultatet kan da bli lite fall ned mot kommunens vann- og avløpssystemer, noe som øker faren for kjelleroversvømmelser. Kommunen er nå svært bevisst på denne typen problemer, og det er blant annet krav om at alle nye boligfelt må sikre at de ikke bidrar til økt avrenning. I enkelte nye boligområder lager man nye løsninger for overvannshåndtering. Likevel er ikke forsøk på å motvirke problemet alltid like effektive, og selv om utbyggere lager løsninger for lokal overvannshåndtering, vil ofte private huseiere sette stein, asfaltere eller gjøre andre tiltak på eiendommen som likevel øker avrenningen i etterkant av utbyggingen. Dette er det få muligheter til å regulere. Resultatet har i noen tilfeller ført til økt avrenning fra nyutbygde områder til områder som allerede er sårbare for overvann.

Godt samsvar mellom arealplan, byggesak og VA kan gjøre det lettere å motvirke problemer med overvann. Dette kan gjøre at kommunen gjennomfører grunnleggende, årsaksinnrettede tiltak, som beskrevet i tabell 5 i kapittelet om vann og avløp. Her er det viktig å påpeke at regnskylle på 2000-tallet ikke kan regnes som veldig ekstreme. Byen opplevde tilsvarende regnskyl på 1950-tallet, men hadde så flere tiår uten slike fenomener. Kort institusjonell hukommelse i en kommune kan med andre ord gjøre kommunen sårbare allerede for dagens klima. Å være bevisst på dagens utfordringer vil hjelpe, og kanskje til og med være avgjørende, for at kommunen skal kunne motvirke sårbarhet for klimaendringer der det blant annet kan bli vanligere med kraftig nedbør som kommer på kort tid.

Voss kommune

Vi har intervjuet Plan og miljøvernssjefen som har ledet arbeidet med sårbarhetsanalyser og klimatilpassing i kommunen.

Voss kommune har gjennom deltakelse i Noradapt-prosjektet arbeidet med kartlegging av sårbarhet for klimaendringer innenfor landbruket. Selstad (2010) beskriver Voss som en svakt dynamisk kommune med en relativt stabil befolkning i overkant av 14.000 innbyggere og solide kommunale institusjoner. Befolkningsveksten understøttes av en sterkere næringsvekst. Voss er en utpreget landbrukskommune. 6,8 % er sysselsatte innenfor primærnæringene; på landsbasis er andelen 4 %. Det er 416 aktive jordbruksbedrifter av 877 landbrukseiendommer. Andelen leiejord er som landsgjennomsnittet på omkring 40 % (Voss kommune 2010). Antallet bruk har gått ned i lang tid, men tendensen har flatet ut de siste årene i følge kommunen. Den gjennomsnittlige størrelsen på et gårdsbruk i kommunen er i dag på 137 daa der 97 daa er fulldyrka jord, 9 daa overflatedyrka og 31 daa innmarksbeite. Voss kommune har et fastlandsareal på 1805,84 km². Nær 60 % av arealet er klassifisert som åpent område, i hovedsak er dette fjell over tregrensen. Skog utgjør 32 % av arealet og dyrka jord 2,5 % (46,04 km²). By- og tettstedarealet utgjør 0,2 % (3,27km²) (Statens kartverk 2010). Folketallet var 13 902 innbyggere pr. 1. januar 2010 (SSB 2010).

Tabell 9 Forventede klimaendringer i Voss kommune fram mot 2050 sammenlignet med 1960-91

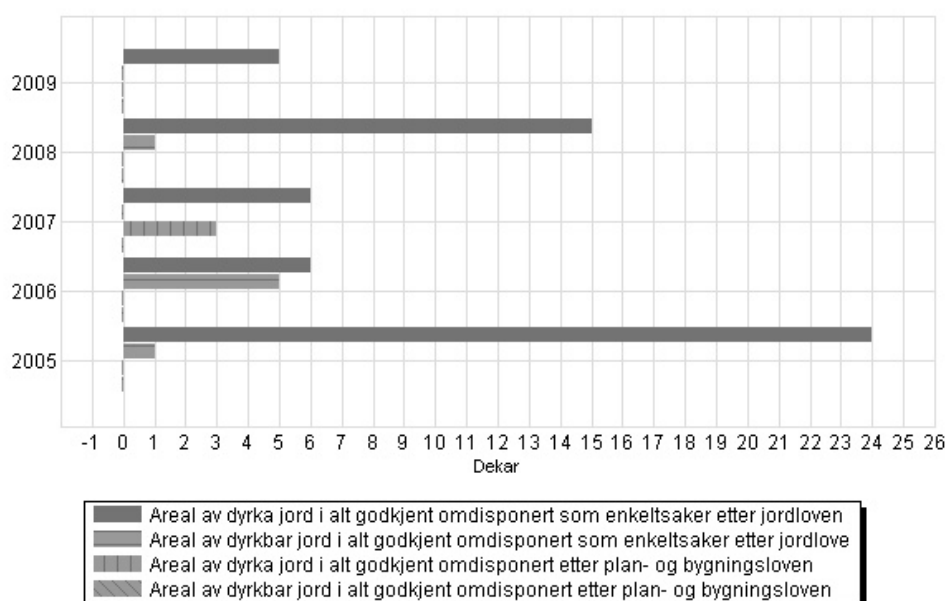
Parameter	Min	Maks
Endring i vekstsesong	+17 %	+ 38 %
Fryse-tine perioder om vår	+ 2 %	+ 25 %
Fryse-tine perioder om høst	- 10 %	- 27 %
Nedbør vinter	- 5 %	+ 16 %
Nedbør vår	+ 12 %	+ 28 %
Nedbør sommer	- 7 %	+ 6 %
Nedbør høst	+ 8 %	+ 14 %
Ekstremnedbør snitt hele året	+ 3 %	+ 13 %

Vår analyse av klimaendringer for år 2050 viser en økning i vekstsesongen på 17 til 38 % sammenlignet med perioden 1961–90. I dag nyttes nesten 98 % av jordbruksarealet på Voss til gressproduksjon. Før siste verdenskrig var åkerarealet opp i 30 % av de dyrkede arealene. Denne andelen gikk imidlertid fort nedover etter krigen og var alt i 1947 nede i 20 %. Etter den tid har det gradvis endra seg slik at det i dag bare er 2-3 % åpen åker (Voss kommune 2010). Med endret klima er det grunn til å anta at åkerarealet kan øke igjen, avhengig av utvikling av priser på ulike jordbruksprodukter.

Klimaendringer, med økt nedbør vår og høst (med en variasjonsbredde i framskrivningene fra + 8 % til + 28 %) kan begrense arealer med åpen åker i hellende og bratt terreng på grunn av økt erosjon. Forventet nedbørøkning om vinteren er lavere, med en middelerdi for modellkjøringene på under 10 %. Om sommeren antyder våre beregninger liten endring. På årsbasis ventes en midlere økning i nedbøren på omkring 10 %. Økning av nedbør om høsten er lite gunstig med tanke på eventuell kornproduksjon i framtiden. Det vil også føre til mer skade på jordene ved høsting av gress. I dag høstes nesten alle gressareal med forhøster.

I Voss er det registret 23 306 dekar dyrkbar mark. Av dette utgjør myr omkring halve arealer (11 907 dekar), skog 8 808 og annen jordeckt fastmark 2 591 dekar (Strand og Bekkhus, 2008). Tallene er fra kartlegging før 2004 og kan vise noe for høye tall, fordi areal som er omdisponert eller oppdyrket etter denne tid ikke er med. Trekker vi fra myrarealet sitter vi igjen med 11 400 dekar dyrkbar mark. Det dyrkede arealet i Voss kan dermed økes med om lag ¼ og komme opp i 57 400 dekar med dagens klimaforhold. Mye av den beste skogboniteten er i bratt terreng; noe som dermed reduserer verdien av dette arealet til jordbruksformål (Voss kommune 2010).

Statistikk fra KOSTRA når det gjelder omdisponering av dyrka og dyrkbar mark i Voss er bare tilgjengelig fra 2005. I perioden 2005 til 2009 er det i følge statistikken omdisponert 59 dekar dyrka jord og 7 dekar dyrkbart areal. Per person har omdisponeringen av dyrka mark i 5-års perioden vært på 0,004 dekar, bare omkring halvparten så mye som landsgjennomsnittet. Nesten all omdisponering har foregått som enkeltsaker etter jordloven. Omdisponering til boligformål utgjør 26 dekar av den samlede omdisponeringen. I følge opplysninger fra kommunene er det veibygging og utbygging av større reiselivsprosjekt som har stått for en stor del av omdisponeringen (Voss kommune 2010). I følge kommunens Plan og miljøvernssjef er det sterk politisk oppslutning om spredt boligbygging på Voss, og liten oppslutning om at boligbygging i samsvar med Rikspolitiske retningslinjer for samordnet areal og transportplanlegging skal foregå som fortetting i sentrum.



Kilde: Statistisk sentralbyrå

Figur 11 Areal av dyrka og dyrkbar jord som er omdisponert etter plan- og bygningsloven og jordloven i Voss fra 2005 – 2009. (Kilde SSB-KOSTRA)

Det mest systematiske arbeidet når det gjelder analyse av klimasårbarhet og –tilpasning i kommunen har vært gjort innenfor landbruk. En arbeidsgruppe med representanter fra organisasjoner og kommunalt ansatte innenfor landbruket har arbeidet i over ett år med en analyse av sårbarheten for klimaendringer innenfor landbruket. Gruppen har vært ledet av nåværende Plan og miljøvernssjef, og kommunens ROS-ansvarlige har deltatt. Det ble brukt en tilpasset ROS-metodikk, som også har fanget opp sårbarhet som følge av langsomme og gradvise endringer og ikke bare naturskade. Det ble også arbeidet med indirekte sårbarhet for klimaendringer utenfor Norge, men fokus på hva endringer i global matsikkerhet kan komme til å bety for landbruket og forvaltning av dyrka mark.

I forbindelse med revisjon av kommuneplanens arealdel har det vært gjennomført ROS-analyser (med klimavurderinger) og konsekvensanalyser i alle foreslåtte nye utbyggingsområder. Planen er på høring i 2010. Innenfor arealforvaltning for øvrig har det vært gjennomført vurderinger i forhold til flom. NVE utarbeidet et flomsonekart i 2006 som dekker sentrale deler av kommunen og opp mot Skulestadmoen. Kommunene fulgte opp med et notat om hvordan flomfare skulle behandles i byggesaksbehandling, der det ble lagt inn en ekstra forsiktighet i forhold til mulige klimaendringer. BKK har gjennomført en sårbarhetsvurdering i forhold til kraftverk (flomfare ved demningsbrudd og lignende). Kommunen har ikke gjort systematiske vurderinger av eksisterende bebyggelse og infrastruktur.

Flom er en årlig hendelse i kommunen, men skadeomfanget i dag er begrenset etter senkingen av flomvannstanden i Vangsvatnet omkring 1989. Det er vanlig med en del skade på jordbruksareal og -veier. Det bygges fortsatt en del enkle landbruksveier i flomutsatt områder, men de økonomiske skadene av flomepisoder vil være begrenset. Kommunen hadde et jordskred for noen år siden og snøskred fører av og til veistenging. Det gikk et jordskred for noen år siden som resultat av en kombinasjon av faktorer; grunnen hadde mye finmateriale, det hadde vært kraftig nedbør og en bonde hadde bygget et gjerde over en elv der det samlet seg materiale slik at man fikk oppstuvning av vann og elva tok nytt løp. Det var ikke personskade, men det var evakuering av folk og skade på jordbruksareal. En hytte er fraflyttet grunnet snøskredfare. Landbruket er trolig den sektoren som er mest utsatt for naturskade. Kommunale veier er ikke spesielt utsatt og kommunen har en byggegrense langs vassdrag på 50 m. Det kommunale vannverket bruker grunnvann, men en del private brønner kan muligens være utsatte.

Usikkerhet

I tabellene under har vi oppsummert de typene usikkerhet som er omtalt over når det gjelder vurdering av klimasårbarhet.

Tabell 10 Usikkerhetsprofil for vurdering av klimasårbarhet for jordbruksproduksjon og lokalisering av fysisk infrastruktur

Typer usikkerhet	Lokalisering av usikkerheten		
	Klima	Natur	Samfunn
Jordbruksproduksjon			
Grunnleggende usikkerhet		Sumeffekten av klimaendringer og samspilleffekter mellom klima- og økosystemendringer ifht jordbruksproduksjon	Sumeffekt av globale trender ifht global matvaresikkerhet
Modellusikkerhet	Feed back mekanismer og albedo-effekt	Ulike kulturveksters respons på klimaendringer og konsekvenser av endret forekomst av skadeorganismer	
Skalausikkerhet	Regional fordeling av endret nedbør og ekstremvær	Regional fordeling av sommertørke og tilgang til vatningsvann	
Datausikkerhet	Lokale nedbørsdata	Lokale data om produksjonsvilkår for kulturvekster	Utvikling av lokalkunnskap om bruk av utmarksressurser
Lokalisering av fysisk infrastruktur			
Grunnleggende usikkerhet	Mekanismene som styrer ekstremvind	Mangler kunnskap om sammenhengen mellom enkelte klimaparametre og ulike typer skred	
Modellusikkerhet	Forekomst av ekstremvind og modellering av vind i ulendt terreng	Forekomst av økt skred- og flomfare	
Skalausikkerhet	Regional fordeling av nedbør	Regional fordeling av flom, særlig regnflom i mindre vassdrag	Regional fordeling av framtidig utbyggingsmønster
Datausikkerhet	Lokale nedbørsdata	Lokale undersøkelser av skred- og flomfare	Utvikling av relevant kunnskap og kapasitet i enkeltkommuner og -fylker

Oppsummering

Den globale matvaresikkerheten vil sannsynligvis svekkes i fremtiden. Klimaendringer vil negativt forsterke den globale matvaresikkerheten i samspill med bl.a. befolkningsøkning, økt forbruk av kjøtt, peak oil og peak phosphorus.

Den naturlige sårbarheten når det gjelder jordbruksproduksjon i Norge er usikker. Det skyldes at det er stor usikkerhet omkring netto effekt av forventede endringer for de ulike klimaparametrene, i tillegg til at det er svært store lokale variasjoner i endringer av klimaparametre og de naturgitte forhold som kan bli påvirket av disse endringene. Effekten av økt vekstsesong kan for eksempel bli utjamnet av økt nedbør der det er nok nedbør i dag, økt problem med skadeorganismer og økt ekstremvær.

Vi har – i motsetning til flere andre analyser - vurdert at den samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet når det gjelder jordbruksproduksjon er relativt høy i Norge. Denne skyldes at vi har vurdert samspilleffekten av flere faktorer enn det andre analyser har gjort. Kombinasjonen av faktorer som lavt jordbruksareal per person, vedvarende tap av jordbruksarealer, vedvarende tap av jordbruksbedrifter, tap av tradisjonell kunnskap om bruk av utmarksressurser, og at Norge bare har 50 % nasjonal selvforsyning av mat på energibases (ut fra hva vi faktisk spiser), gjør at vi samlet sett vurderer den samfunnsøkonomiske sårbarheten som høy.

Det er store kunnskapshull når det gjelder hvordan klimaendringer kan påvirke mulig omfang av naturskade. Vi vil særlig peke på det forholdet at de nasjonale kartleggingene av skred og flom i dag ikke tar hensyn til klimaendringer, men bygger utelukkende på historiske data. Dette innebærer at nye typer naturulykker på nye steder som følge av klimaendringer, som flom og jordskred knyttet til små bekker og sidevassdrag ikke er kartlagt, og at dagens farevurderinger ikke har fanget opp endret risiko pga klimaendringer. De nasjonale kartleggingene dekker heller ikke alle områder i landet som gitt dagens klima antas å være utsatt for flom og kvikkleireskred.

Bygninger og infrastruktur i store deler av landet er utsatt for naturskade som følge av flom og/eller skred, storm og stormflo ved dagens klima. Et stort antall mennesker bor på steder som er eller kan være utsatt for

naturskade. Det er store geografiske forskjeller når det gjelder hvilke områder som er særlig utsatt for ulike typer naturskade. Samfunnsutviklingen har i betydelig grad påvirket hvor sårbart samfunnet og infrastrukturen er for naturskade. Større avhengighet av kritisk infrastruktur og lokalisering av fysisk infrastruktur til utsatte områder, som langs flomutsatte elver, og i områder utsatt for skred og stormflo har øket sårbarheten.

Vestlandet og Nord-Norge skiller seg ut som de regionene der det er flest bygninger og boliger innenfor kartlagte aktsomhetsområder for *skred* (steinsprang og snøskred). Det er stor variasjon innenfor hver region, og Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane skiller seg ut som særlig sårbare. I Sogn og Fjordane bor 18 % av innbyggerne innenfor slike aktsomhetsområder. Det er fremdeles kunnskapsmangel når det gjelder sammenhenger mellom ulike klimaparameter og ulike typer skred. Tining av permafrost forventes å øke skredfaren i Nord-Norge. Den betydelige økningen i vinternedbør som klimafremskrivningene viser vil trolig øke faren for skred og steinsprang i bratte nedbørsfelt, som vi særlig finner på Vestlandet og i Nord-Norge. Våre klimaframskrivninger viser at modellering med ulike klimamodeller viser stor variasjon med hensyn til geografisk fordeling av nedbøren. Det innebærer en mulighet for at for eksempel vinternedbøren kan avta i deler av landet, og dermed redusere skredfaren. Store fjellskred som setter opp en tsunami i trange fjorder vurderes som den største trusselen for tap av menneskeliv og verdier i én enkelt naturulykke i Norge. En økning i fryse-tineperioder antas å kunne øke faren for utgliding, men denne mulige sammenhengen er ikke fullt ut godgjort vitenskapelig. Våre klimaframskrivninger viser en økning i antall fryse-tineperioder i to kjente områder med fare for store fjellskred (Åknes-området i Møre og Romsdal og Stampa-området i Sogn og Fjordane). De nasjonale kartleggingene av skredfare er for grovmaskete og enkle til at de kan brukes i arealplanlegging og tar ikke hensyn til klimaendringer. Kommunene har ansvaret for mer detaljerte kartlegginger, og dette stiller skredutsatte kommuner på Vestlandet og i Nord-Norge overfor store utfordringer.

De største *flomutfordringene* i forhold til bygninger med bosetting og tilhørende infrastruktur er i dag på Østlandet, både i forhold til 200-års flom og 500 års flom. Buskerud og Hedmark framstår som de fylkene på Østlandet som er mest utsatte for skader ved en 200-års flom. Skadene ved en 500 års flom vil kunne bli enda større i Akershus enn i Buskerud og Hedmark. Vestlandet er den nest mest utsatte regionen, både for 200- og 500 –årsflom. Sogn og Fjordane skiller seg ut som det mest sårbare fylket. Sogn og Fjordane og Hedmark fylke skiller seg ut som de fylkene som har flest bosatte i flomsoner i forhold til innbyggertallet, fulgt av Buskerud og Telemark. Våre klimafremskrivninger tilsier at vi kan vente reduksjoner i vårflommene i de store vassdragene på Østlandet, men en økning når det gjelder vinterflommer. På vestlandet og i Nord-Norge forventes en økning i regnflommer om høsten. Resultatene indikerer en økning i skadeflom som følge av episoder med ekstremnedbør som skaper flom og flomskred i mindre bekker og sidevassdrag. I de store dalførene på Østlandet går infrastruktur som veier, tele, data og strøm på *langs* av de store dalførene, mens nye værrelaterte problemer som skred og flom fysisk sett går *på tvers* av dalen og rammer dermed infrastrukturen. Våre resultater tilsier at de regionene som i perioden 1961 - 1990 hadde mest ekstremnedbør målt i millimeter, også blir de som får mest ekstremnedbør i 2050.

Vestlandskysten skiller seg ut her, deretter følger kysten av Nordland. Økningen i ekstremnedbør fram mot 2050 ser ut til å bli størst i østre deler av Sør-Trøndelag og nordlige deler av Hedmark, i Nord-Hordaland og områdene sør for Sognefjorden og i Nordland og deler av Finnmarkskysten. Dette tilsier at en del områder med store utfordringer i forhold til flom i dag, slik som Sogn og Fjordane og Hedmark får økte problem. Det er imidlertid knyttet stor usikkerhet til klimascenarioer for ekstremnedbør, og ikke minst til den geografiske fordelingen av nedbøren. Økning i skadeflommer som følge av ekstremnedbør må påregnes å øke i hele landet.

Bygg

Innledning

I dette kapitlet gjennomgår vi generelle trekk ved klimasårbarheten for kommunale og fylkeskommunale bygninger. Først gir vi en kort omtale av kunnskapsstatus basert på delrapport 1 og lister opp sårbarhetskategorier med tilhørende parametre og konsekvenser for bygninger. Videre gir vi noen overordnede vurderinger av regionale variasjoner i klimasårbarheten.

Det er gjort en mer omfattende caseundersøkelse i byggkapitlet enn for de andre kapitlene. Vi har derfor funnet det hensiktsmessig å skille ut disse som et eget hovedkapittel, som følger etter konklusjonene fra byggkapitlet. Konklusjonskapitlet har imidlertid fanget opp også de erfaringene vi har fått fram i det etterfølgende casekapitlet.

Generelt om klimasårbarhet

Delrapport 1 omtaler kunnskapsstatusen for klimasårbarhet i bygningssektoren. Mye av kunnskapen vi har om dette temaet under norske forhold er generert under forskningsprogrammet "Klima 2000" i regi av SINTEF Byggforsk. Her blir det dokumentert at sårbarhet for dagens klima gir seg uttrykk i et stort byggskaedomfang, der ulike former for fuktskader utgjør den viktigste skadetyper. Det pekes på at klimavariasjonene mellom ulike deler av landet er nedfelt i dimensjonerende laster gitt i NS 3491 for snø- og vindlast og for temperaturendringer, mens det ikke eksisterer noen tilsvarende lastinndeling eller prosjekteringsmetodikk når det gjelder dimensjonering mot fuktproblemer. Flere studier under Klima 2000 har tatt utgangspunkt i denne mangelen, bl.a. ved å dele inn landet i ulike soner basert på slagregnmengde, råtefare i utvendige trekonstruksjoner og fare for frostnedbryting av teglmurverk. Dette er arbeider som har gitt grunnlag for nye og reviderte anvisninger i Byggforskserien. Delrapport 1 omtaler også flere studier rundt vedlikeholdsetterslep for offentlige bygg, uten at klimasårbarhet behandles spesielt. En av disse er en kartlegging av den bygningstekniske situasjonen i kommunal sektor utført for KS FoU (Multiconsult 2008). Den viser at bygningsmassen kan deles i tre like store kategorier for god/tilfredsstillende tilstand, delvis utilfredsstillende og utilfredsstillende/dårlig med store tekniske behov. Kostnadene ved å rette på manglene er estimert til 94 og 142 milliarder kr for henholdsvis akseptabelt og fullgodt nivå. Det er få arbeider som beskriver sårbarheten til bygninger under endrede klimaforhold; Den mest konkrete analysen i så måte er utført av SINTEF Byggforsk på oppdrag fra NOU Klimatilpassing (Øyen mfl., 2010), der det bl.a. presenteres nasjonale tall for økning i råterisiko. I denne rapporten bruker vi samme metode og datagrunnlag som i Øyen (2010) for å analysere sårbarheten for klimaendringer hos bygningsmassen i to casekommuner.

Vi skiller mellom tre kategorier sårbarhet: naturlig, samfunnsøkonomisk og institusjonell. Det er hovedsaklig den naturlige sårbarheten som har blitt utredet hittil. Tabellen nedenfor viser de tre kategoriene med tilhørende parametre som vi anser som mest relevante for bygningers sårbarhet. Kolonnen til høyre lister opp hvilke konsekvenser som kan følge av en økning i den aktuelle parameteren.

Tabell 11. Parametre innenfor ulike sårbarhetskategorier, med tilhørende konsekvenser for bygninger.

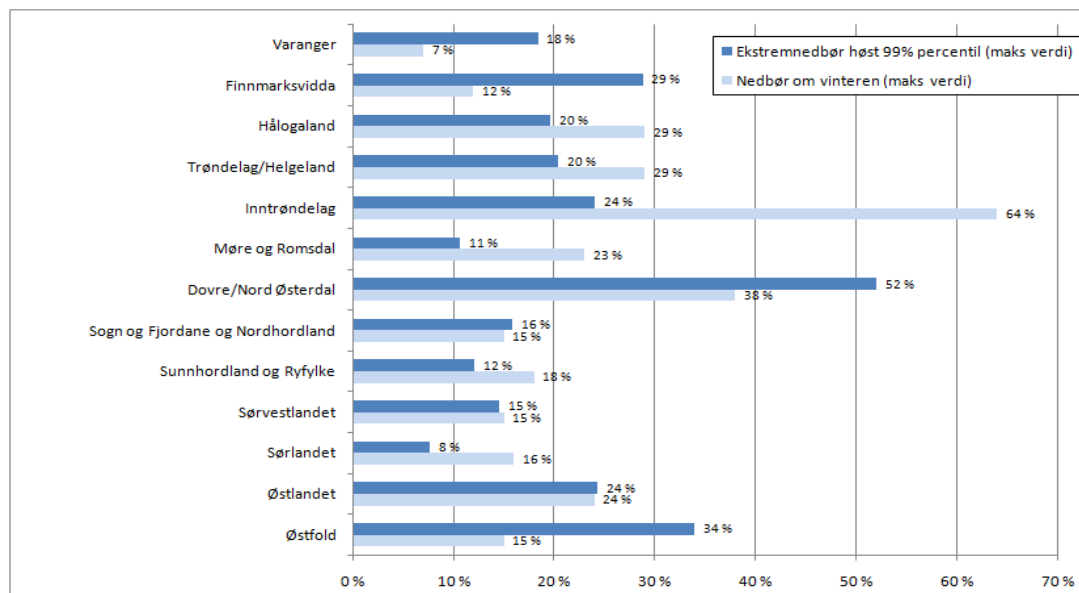
Sårbarhetskategorier	Aktuelle parametre	Konsekvenser for bygninger
Naturlig sårbarhet	Temperatur – vinter	Mindre kondensering på innvendige overflater
	Nedbør – vinter	Større snølast på tak Mer oppdemming av vann Inntrenging av vann i bygningen Ising på tak
	Nedbør – sommer og høst	Fuktpåkjenning på tak Inntrengning av vann gjennom tak, vegg, vinduer og konstruksjoner under terreng Mer fuktighet i grunnen – kapillært fuktoppsug i konstruksjoner under terreng
	Nedbør – år	Byggfukt i byggeperioden
	Snølast	Skade på tak og resten av bygningen, i verste fall kollaps
	Slagregn	Vann trenger gjennom tak, vegg og vinduer
	Vind	Skade på bygningskonstruksjoner, særlig tak. Følgeskader ved at nedbør trenger inn i bygningen
	Antall 0-punkts passeringer – år	Frostskader på mineralske bygningsmaterialer (tegl, betong) Teleskader
	Havnivåstigning	Korrosjonsskader Inntrenging av vann i kjellere Andre følgeskader
	Stormflo	Stor, men midlertidig, påkjenning på bygninger nær havoverflaten Fuktskader, oversvømmelse av kjellere Korrosjonsskader Andre følgeskader
	Tining av permafrost	Setningsskader på bygninger
Samfunnsøkonomisk sårbarhet	Uheldig lokalisering av bygninger	Klimarelatert skade knyttet til skred, flom, vind, slagregn m.v.
	Byggefeil	Fuktskader, vindskader
	Byggfukt pga for dårlig tildekking under byggeperioden	Fukt lukkes inne i konstruksjonen. Kan gi muggvekst
	Industrialisering og standardisering av	Byggskader pga. manglende tilpasning til lokale forhold

Institusjonell sårbarhet	løsninger for bygnings- utforming	
	Vedlikeholdsetterslep gir dårlig ytre vedlikehold	Byggskader, særlig ved at fukt trenger inn
	Svake styrings- og planleggingssystemer	Dårlig utførte bygg og svikt i drift og vedlikehold
	Forvitring av kommunal byggfaglig kompetanse	Mindre klimarobust bygningsmasse
	Manglende dokumentering og overføring av lokalkunnskap	Feil valg av løsninger med påfølgende byggskade
	Manglende fokus på klimatilpasning i virkemidler	Klimarobuste løsninger blir ikke valgt av økonomiske årsaker

De kvantitative klimaanalysene er basert på to genereringer. For år 2050 er resultater fra delrapport 2 benyttet (Bjerknessenteret). For år 2100 er klimaanalysene basert på et samarbeid mellom SINTEF Byggforsk og Meteorologisk institutt, hvor Meteorologisk institutt har generert klimadata basert på klimamodellen fra Hadley Center (HAD) og Scenario A2, dvs. HADA2. Scenario A2 tilsier delt verden med høy befolkningsvekst og mindre bekymring for rask økonomisk utvikling. Scenarioet tar utgangspunkt i en befolkning på 15 milliarder mennesker i 2100. Atmosfærens CO₂-innhold er 836 ppm. Grunnen til at vi i dette kapittelet har tatt med vurderinger helt fram til 2100 er at utgangspunktet for utvikling av analyseverktøyet og -metoden er gjort i et arbeid for NOU klimatilpasning der man hadde valgt tidshorisont fram til 2100.

Regionale variasjoner

Under viser vi regionale variasjoner for noen av de klimaparametrene vi anser har størst potensial til å påvirke sårbarheten for bygninger. Det gjelder nedbørmengde om vinteren, ekstremnedbør om høsten, råtefare og havnivåstigning.

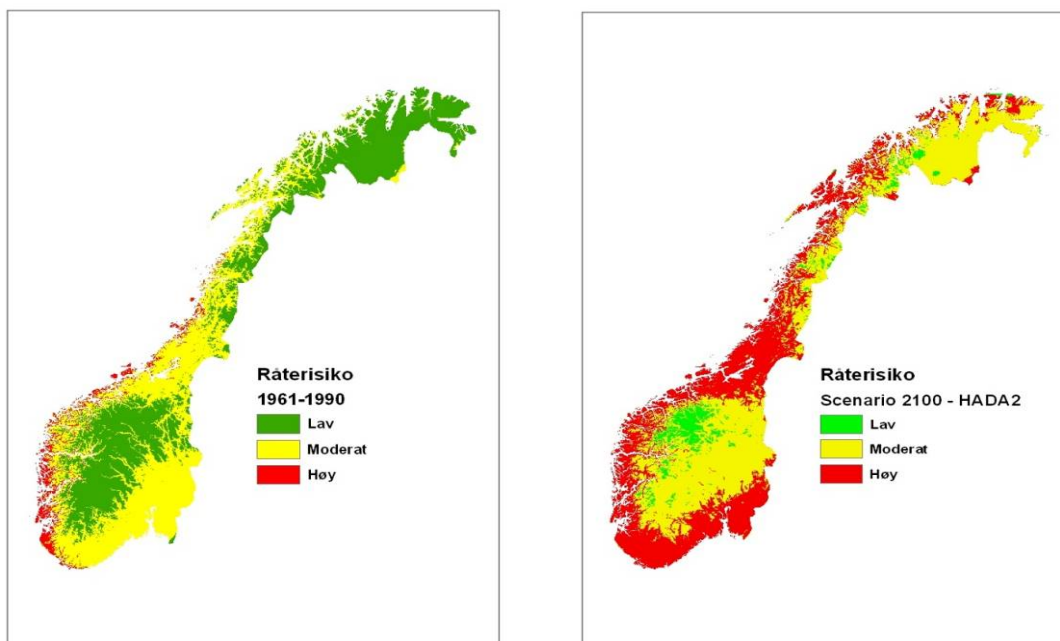


Figur 12. Prosentvis økning i ekstremnedbør om høsten og nedbørmengde om vinteren fra perioden 1961-1990 til 2050. Verste fallsscenario blant nedskaleringer fra fire klimamodeller.

For nedbør om vinteren viser verste fallsscenarioet markert større prosentvis økning i nedbørregionen "Inntrøndelag" enn i noen annen landsdel, med hele 64% økning fra normalperioden til 2050. Dovre/Nord-Østerdal og områdene fra Trøndelag nord til Vest-Troms ser også ut til å få større prosentvis økning i vinternedbøren enn landsgjennomsnittet. Finnmark er den landsdelen som i scenarioet får minst økning i vinternedbøren.

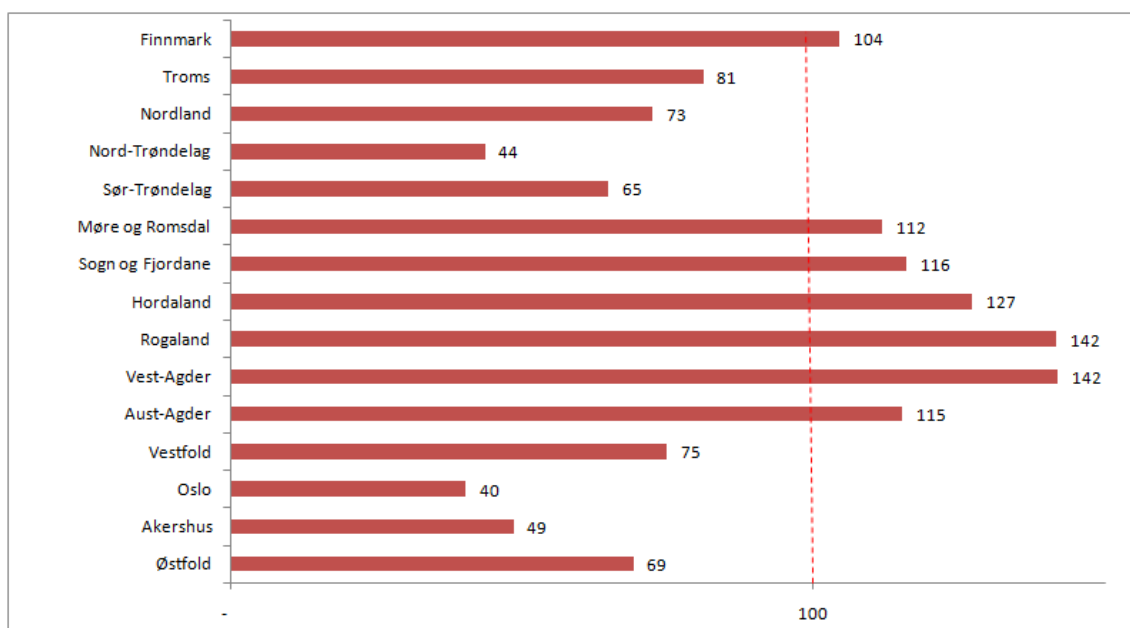
For ekstremnedbør om høsten (den nedbørmengden som bare blir oversteget én av hundre dager) er det Dovre/Nord-Østerdal som peker seg ut med kraftigst økning fram mot 2050, med et verste fallsscenario på 52%

økning fra 1961-1990 til 2050. Østfold, Finnmarksvidda, Inntrøndelag og Østlandet kan også få en markert økning på inntil 24-34% i denne perioden.



Figur 13. Råteindeks for Norge i dag (venstre) og for år 2100 (høyre). (Øyen, Almås, Hygen & Sartori 2010).

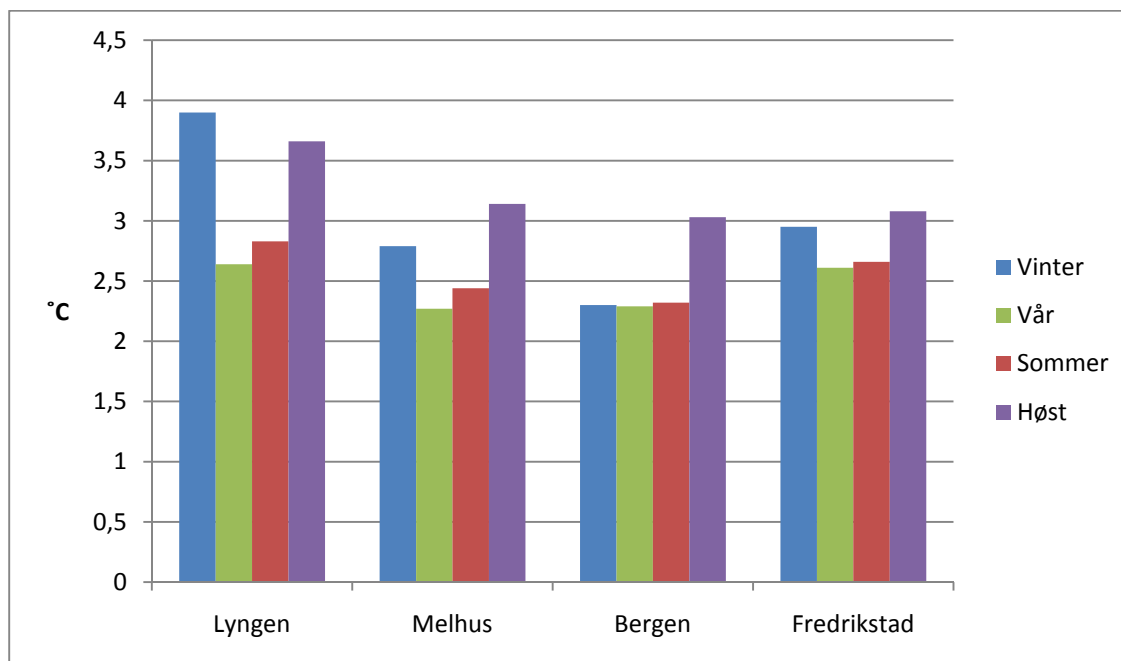
Råterisiko er avhengig av temperatur og fuktighet (her nedbør). Kartene over viser at det generelt sett blir høyere råterisiko i hele landet i år 2100. Store områder vil gå fra å ligge i moderat råterisikoklasse til høy råterisikoklasse. I dag ligger omtrent 600.000 bygninger i høy råterisikoklasse. I år 2100 vil tallet øke til 2.4 millioner, dvs. over 60 % av bygningene i Norge (Øyen, Almås, Hygen & Sartori 2010). Dette innebærer en alvorlig økning av sårbarheten for bygninger i store deler av landet. Det er rimelig å anta at utslagene vil bli størst i kystområder som rykker opp fra lav til høy råterisiko (kystområder i Nord-Norge), og fra moderat til høy (et bredt belte langs kysten i resten av landet). De mest kontinentale innlandsstrøkene som har vært vant til lav råtefare, vil også kunne oppleve store omstillingsutfordringer når råteindeksen går opp til "moderat".



Figur 14 Forventet havnivåstigning fram mot 2050 ifht perioden 1960-91 (snitt for alle kystkommuner=100)

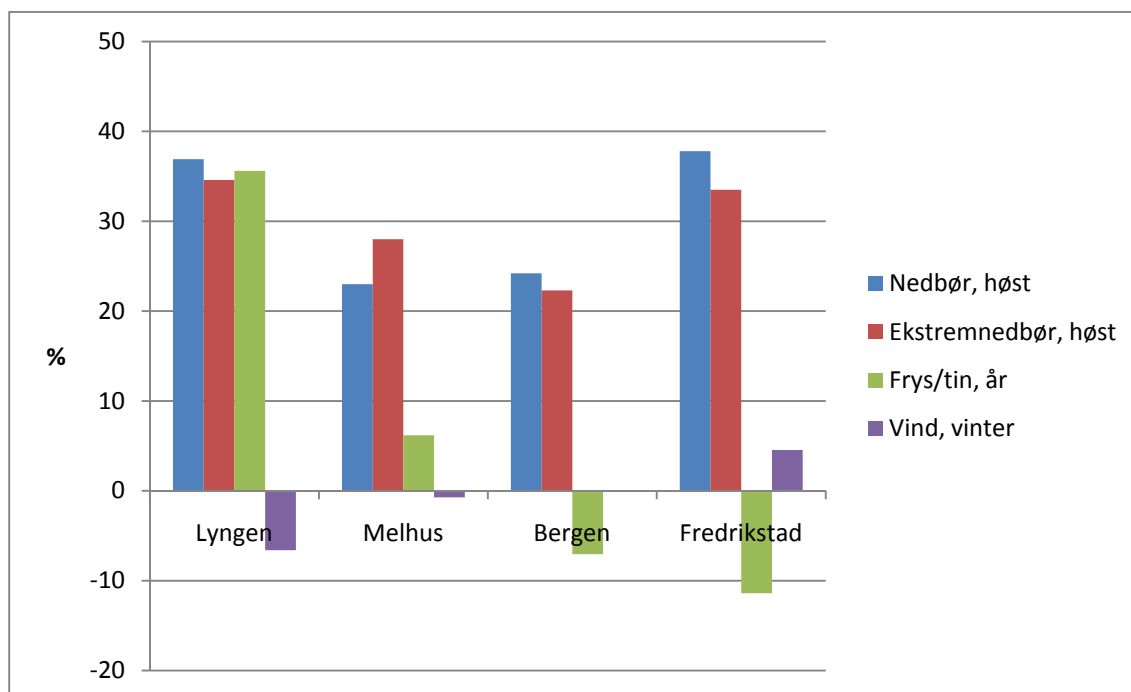
Havnivåstigning vil, sammen med stormflo, føre til økte problemer med fuktskader, inntrenging av vann i kjellere og korrosjonsskader på bygninger nær havnivå. Figuren under viser fylkesvise variasjoner i havnivåstigning fram mot 2050, der verdien 100 representerer snittet for alle kystkommuner. Vi ser at Sør- og Vestlandet (dvs. kyststrekningen fra Aust-Agder til og med Møre og Romsdal) pluss Finnmark, kan vente større havnivåstigning enn landsgjennomsnittet. Dette henger sammen med at landhevingen etter siste istid er mindre her enn i resten av landet.

De to diagrammene nedenfor viser framskrivninger for året 2050 for en rekke klimaparametre, basert på delrapport 2 (Bjerknessenteret). Her er de regionale variasjonene illustrert gjennom verstefallsscenarioer (den mest ugunstige blant fire tilgjengelige nedskaleringer, sett fra et klimasårbarhetsperspektiv) for de fire casekommunene vi behandler i dette kapittelet.



Figur 15 Absolutt temperaturendring (°C) fra perioden 1961-90 til 2050 på årstidsbasis. Verstefallsscenario blant nedskaleringer fra fire klimamodeller.

Figuren over viser at temperaturstigningen ventes å bli størst i nord og minst i sør, med størst endring for vintertemperaturen i Lyngen (nesten 4°C økning). For Bergen skiller høsten seg ut med markert høyere temperaturstigning enn de øvrige årstidene, mens for Lyngen, Melhus og Fredrikstad kommer både høst og vinter ut med høyere temperaturstigning enn vår og sommer.



Figur 16. Prosentvis endring for nedbør (høst), ekstremnedbør (høst), frysepunktpassasjer (år) og vindhastighet (vinter) fra perioden 1961-90 til 2050. Verste fallsscenario blant nedskaleringer fra fire klimamodeller.

Figuren over viser prosentvis endring av fire ulike klimaparametre. Høstnedbøren i 2050 ventes i verste fall å bli 37 % høyere i Lyngen og 38 % i Fredrikstad sammenliknet med normalperioden, mens tilsvarende tall for Melhus og Bergen ligger rundt 25 %. Ekstremnedbør om høsten (99-prosentilnedbøren) kan i verste fall øke med knappe 35 % i Lyngen og Fredrikstad, og noe mindre i Melhus og Bergen. Figuren viser også fryse-tineprosesser (nullpassasjer) målt som endring i antall nullpassasjer som kommer i tillegg til døgnvariasjonen i temperatur. Fordi det er relativt få slike nullpassasjer, kan de prosentvise utslagene bli store, slik tilfellet er for Lyngen. I temperaturregion 4 (Nordland, Troms og Vest-Finnmark) er det ca 27 slike fryse-tineperioder, så en økning på ca 35 % tilsvarer ca 10 flere nullpassasjer i løpet av et år. For Melhus er det snakk om en liten prosentvis økning, og i Bergen og Fredrikstad ser det ut til å bli færre nullpassasjer på årsbasis. Framskriving av vindhastighet er mer usikker enn for andre klimaparametre, så det er ikke grunnlag for å trekke konklusjoner ut fra dette materialet. For vindhastighet om vinteren er det bare Fredrikstad som ligger an til å få en (mindre) økning. Også scenarioene for ekstremvind viser nedgang over nesten hele landet.

Usikkerhet

I tabellene under har vi oppsummert de typene usikkerhet som er omtalt over når det gjelder vurdering av klimasårbarhet.

Tabell 12 Usikkerhetsprofil for vurdering av klimasårbarhet for offentlige bygg

Typer usikkerhet	Lokalisering av usikkerheten		
	Klima	Natur	Samfunn
Grunnleggende usikkerhet	Mekanismene som styrer ekstremvind	Mangler kunnskap om sammenhengen mellom enkelte klimaparametre og ulike typer skred	
Modellusikkerhet	Forekomst av ekstremvind og modellering av vind i ulendt terreng	Forekomst av økt skred- og flomfare	
Skalausikkerhet	Regional fordeling av nedbør	Regional fordeling av flom, særlig regnflom i mindre vassdrag	Regional fordeling av framtidig utbyggingsmønster
Datausikkerhet	Lokale nedbørsdata	Lokale undersøkelser av skred- og flomfare	Utvikling av relevant kunnskap og kapasitet i enkeltkommuner og -fylker

Konklusjon

Caseundersøkelsen og gjennomgangen av klimaparametrene anvendt på de to kommunene der vi har gjort de mest uttømmende dybdestudiene, bekrefter langt på vei flere funn fra annen forskning og undersøkelser dokumentert i kunnskapsgjennomgangen. Funnene våre her bekrefter videre at det er store individuelle forskjeller mellom casekommunene. Dette gjenspeiler både geografiske og topografiske forskjeller, forskjellige klimasoner og følgelig forskjeller i virkninger av klimaendringene. Ettersom det er store regionale variasjoner i klimapåkjenninger i dag, tydeliggjøres og forsterkes funn fra annen forskning om at det er behov for forskjellige tilnærminger avhengig av klimasoner, og at det vil være en sterk økning i behovet for klimadifferensierte løsninger. Sårbarheten i bygningsmassen for klimaendringer er også avhengig av robustheten i bygningenes klimaskall og evne til å motstå klimapåkjenninger. Lav grad av robusthet øker den naturlige sårbarheten for klimapåkjenninger og -endringer, og tilsvarende minsker høy grad av robusthet den naturlige sårbarheten. Robustheten i bygningsmassen er et uttrykk for og resultat av samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet. Tiltak som øker robustheten, som at utformingen er i tråd med lokalt tilpasset byggeskikk, og riktige valg av løsninger og materialer i henhold til kunnskap om lokale klimapåkjenninger og -endringer, viser at den samfunnsøkonomiske og institusjonelle sårbarheten er styrket.

På grunnlag av informasjon fra casekommunene har vi her vist at det er mulig å utvikle en sårbarhetsprofil for den kommunale bygningsmassen, ved å anvende tall som hver enkelt kommune innehar eller enkelt kan fremskaffe. På grunnlag av det generelle stoffet om klimaendringer, endring i klimapåkjenninger, en kommunal sårbarhetsprofil for klimaendringer og vil gi verdifull informasjon om hvordan en kommune bør

Naturlig sårbarhet

Den naturlige sårbarheten i den kommunale bygningsmassen anses å være middels. Dette er relatert til at det er stort potensial for materiell skade, og store regionale variasjoner i klimapåkjenninger og utfall av klimaendringer. Det store skadepotensialet er knyttet spesielt til råteskaderisiko for både eksisterende og ny bygningsmasse, og til havnivåstigning og nedbørs-/ekstremnedbørsrelaterte problemstillinger primært i eksisterende bygningsmasse. Det er ikke så ofte klimarelaterte skader på bygninger i Norge fører til tap av menneskeliv, men det er tidvis eksempler på at særlig ekstremværhendelser som ekstremnedbør og påfølgende jordras, snøras og flom fører til bygningsrelaterte ulykker som forårsaker tap av menneskeliv.

Alle klimaparametrene vi har vurdert i denne rapporten vil i fremtiden påvirke sårbarheten i det eksisterende bygde miljø. Innenfor enkelte av parametrene ser vi en synkende grad av sårbarhet, dette gjelder f.eks. økende temperaturer og mulig synkende risiko for kondensering på flater i ytterveggkonstruksjonen. Et annet eksempel på at klimaendringene kan føre til lavere sårbarhet er synkende forekomster av temperaturpasseringer rundt 0°C i deler av landet, og dermed synkende risiko for frostsprengning i tegl, mur og betongkonstruksjoner. Imidlertid ser vi at den generelle sårbarheten øker. Vi har her trukket frem enkelte av de viktigste konklusjonene for utvikling av naturlig sårbarhet i forhold til kommunal og fylkeskommunal bygningsmasse.

Råteskaderisiko vil øke over hele landet, men med uttalte regionale variasjoner. Dette vil generelt øke sårbarheten i eksisterende bygningsmasse, og sette store krav til både drift og vedlikehold av eksisterende bygningsmasse. Det er mye bebyggelse i Norge i dag med tre som hovedmateriale, som er spesielt utsatt for råte hvis løsningsvalg ikke er optimalt og tilpasset lokale klimaforhold, og der vedlikeholdet ikke er tilstrekkelig. Sårbarheten for råteskader er for eksisterende bygningsmasse tett knyttet til vedlikeholdskvalitet og robusthet i bygningenes klimaskall. Uten å sette inn tiltak som øker robustheten i bygningsmassen, vil økende råteskaderisiko øke sårbarheten i bygningsmassen markant i fremtiden.

Havnivåstigning vil i mange kommuner ikke nødvendigvis være et stort problem i nær fremtid, men problemene vil sannsynligvis øke utover i århundret. Stormflo er derimot allerede et stort problem mange steder, og vil som havnivåstigning ha effekter som kan føre til mange fukt- og korrosjonsrelaterte skader. Stormflo betyr store påkjenninger på bygninger nær havoverflaten, om enn av midlertidig karakter. Med havnivåstigning og stormflo øker sårbarheten for inntrengning av vann i kjellere og vannpåkjenning/vanntrykk på konstruksjoner som tidligere ikke har vært utsatt for slike påkjenninger eller er konstruert for det. Havnivåstigning og stormflo kan gi stor grad av følgeskader. Det er et lite antall kommunalt eide bygninger i Lyngen, noe fler i Fredrikstad, som vil bli berørt av havnivåstigning. I flere, større kommuner vil havnivåstigning og stormflo kunne gjøre langt større skade, noe man har sett flere ganger f.eks. ved bryggen i Bergen.

Nedbør og ekstremnedbør kan gi både store direkte og indirekte skader i bygningsmassen. Våt nedbør i store mengder setter store krav til takutforming, nedløp og -kapasitet, avrenning på grunnen, vanntrykket mot

grunnmuren øker osv. Vi har ikke sett på store skadevirkninger av f.eks. flom, men det er ikke tvil om at store nedbørmengder over tid, og kraftige forekomster av ekstremnedbør som kan føre til flom med erosjon som følge, og vaske vekk grunnen under fundamenter. Bygninger i nærheten av både små og store vassdrag vil være i faresonen ved slike klimahendelser.

Dårlig kapasitet i overvannsnett gir ofte store indirekte fuktproblemer, med overvann som flommer inn i kjellere og underetasjer. Dette er primært problemstillinger som er knyttet til kapasitet i vann- og avløpssystemene, men gir likevel uønskete virkninger på bygningsmassen. Vi ser her at risiko for skade på bygninger som følge av direkte klimapåkjenninger er stor.

Samfunnsøkonomisk sårbarhet

Den samfunnsøkonomiske sårbarheten anses for å være moderat men økende. Det er i dag økende utbyggingspress i Norge, og stor grad av klimarelaterte skader i nybygg. Det er videre en tendens til at det blir bygget på stadig mer klimautsatte steder. Samtidig etterspørres i liten grad løsninger som er klimatilpasset og/eller fuktsikre, uavhengig av oppdragsgivers profesjonaltetsnivå. Det er også tydeliggjort i annen forskning en stadig økende grad av industrialisering og standardisering av løsninger, noe som gir økte skadetall. Årsakene til dette kan være at det fører til større likhet i bygningsutformingen, og at flere løsninger ikke passer ift de lokale klimautfordringene.

Annen forskning har avdekket et stort vedlikeholdsetterslep i den kommunale bygningsmassen. Dette fører til at klimapåkjenninger i enda større grad bryter ned og påfører bygningene skader. Økende robusthet i bygningsutformingen vil derfor kunne minske den samfunnsøkonomiske sårbarheten, eller i hvert fall stanse økningen i samfunnsøkonomisk sårbarhet (få byggskaader, gode løsninger/byggeprosess i nybygg og godt vedlikehold av eksisterende bygningsmasse). Tilsvarende vil mange byggskaader og dårlige løsninger/byggeprosess i nybygg og dårligere vedlikehold i eksisterende bygningsmasse øke sårbarheten for klimarelaterte påkjenninger. Vedlikeholdsetterslepet i kommunal bygningsmasse er stor, og bidrar til høy sårbarhet overfor råteskaader også i dag.

Institusjonell sårbarhet

Den institusjonelle sårbarheten ift klimaendringer på byggsiden anses for å være stor og økende. Eksisterende kunnskap om klimaendringer og kravsetting til klimatilpasning er i svært liten grad implementert i kommunale planer, virkemidler og prosesser. Et manglende fokus og krav fra det offentlige side kan føre til et manglende fokus i hele byggeprosessen. Konklusjonene foran, relatert til naturlig og samfunnsøkonomisk sårbarhet, viser at bl.a. riktig lokalisering av bygninger er av stor viktighet for å unngå klimapåkjenninger som flom og havnivåstigning i fremtiden. Annen forskning har også vist at bevissthet om klimatilpasning tidlig i byggeprosessen fører til økt ivaretagelse gjennom hele prosessen, og bedre bygningsmasse.

Utvikling av ROS-analyser er viktig, og er nå kommet som et krav i den nye plan- og bygningsloven. Dessverre er det fortsatt mange kommuner som ikke er i gang med utvikling av slike analyser. Vi ser også, bl.a. av caseundersøkelsen at til tross for utvikling av klimaplaner, mangler fokus på klimatilpasning. Mange kommuner lider under en gradvis forvitring av kompetanse om klimatilpasning og lokal byggeskikk. Mange plan- og byggesaksansatte i norske kommuner har mye uformell kompetanse om lokale klimaforhold og forslag til løsninger, men det er i liten grad formalisert eller dokumentert. Når folk sier opp eller slutter, forsvinner mye kunnskap samtidig.

Økt grad av industrialisering kan føre til økt grad av like løsninger uavhengig av klimapåkjenninger, noe som forsterker naturlig sårbarhet. Annen forskning viser at dette i liten grad er ivare tatt gjennom fokusering på klimapåkjenninger f.eks. i kommunale reguleringskrav, forhåndskonferanser og andre kommunale prosesser og/eller virkemidler.

Kommunecase bygg

Innledning

I casekapittelet har vi gjort kvantitative klimasårbarhetsanalyser for bygningsmassen i to casekommuner: en liten distriktskommune i Nord-Norge (Lyngen) og en folkerik bykommune på Østlandet (Fredrikstad). De detaljerte analysene gjelder klimaparametrene råterisiko og havnivåstigning, og er koblet mot bygningsdata. Metoden er beskrevet i Almås mfl (2010). I tillegg er det gjennomført intervjuer med nøkkelinformanter i fire casekommuner

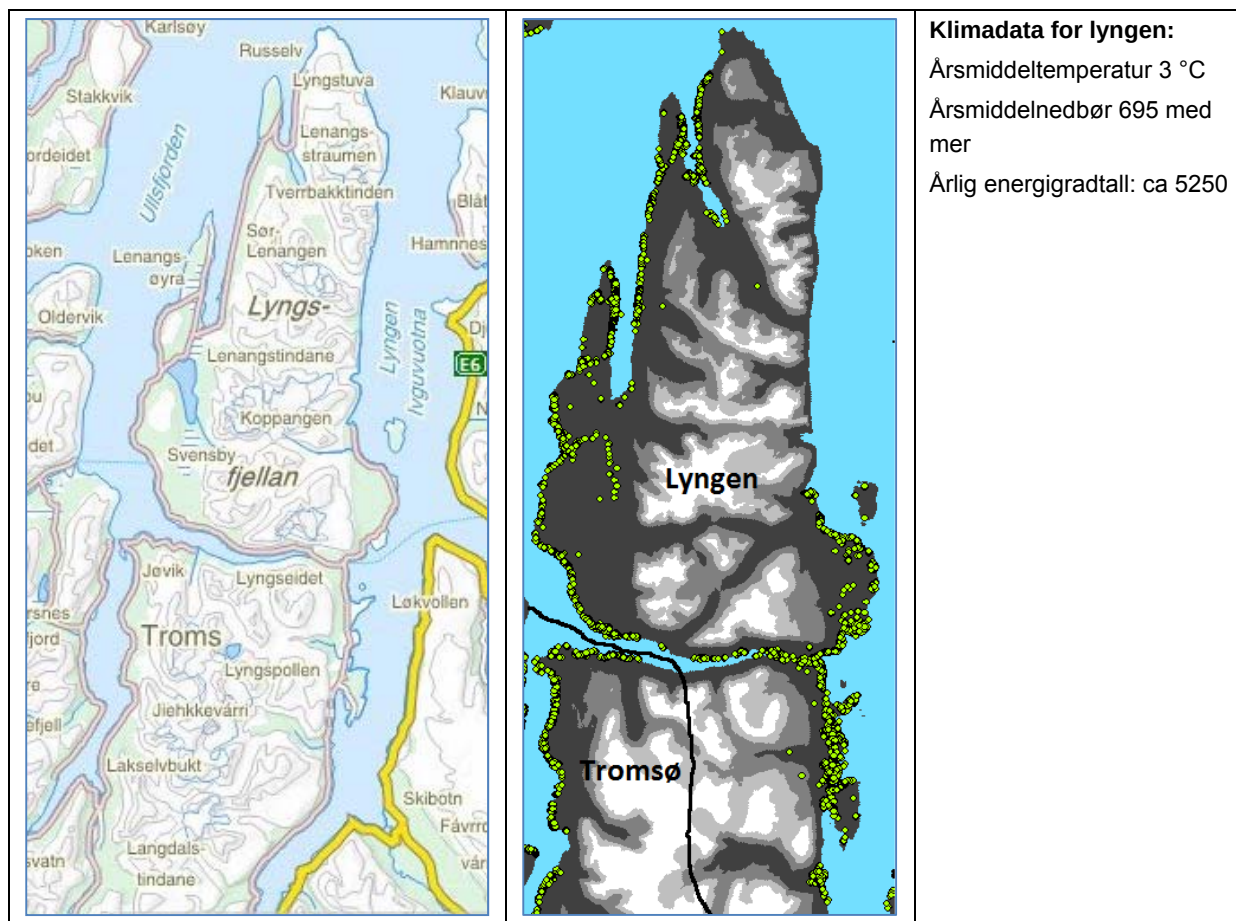
(Lyngen, Melhus, Bergen og Fredrikstad). Alt dette danner grunnlag for at vi i konklusjonsdelen drøfter naturlig, samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet i den kommunale bygningsforvaltningen.

Metoden går i korthet ut på å koble geografisk informasjon (GIS) om eksisterende bygningsmasse med kart over forventet klimapåvirkning. På den måten kan man analysere den naturlige klimasårbarheten for bygningsmassen i en kommune, med opplysninger helt ned på bygningsnivå. Det er gjennomført tellinger av antall bygninger som ligger innefor de forskjellige klimasonene relatert til de utvalgte klimaparametrene. Et overslag av antall bygninger innenfor hver klimasone kan gjøres manuelt, men lokal nedskalering av klimaparametrene er elektronisk basert og forutsetter spesialkompetanse og programvare. Imidlertid tilgjengeliggjør dette prosjektet mye informasjon om konsekvenser av klimaendringene for lokalt og regionalt nivå, og kan derfor nyttiggjøres på et overordnet nivå av kommunene selv.

Lyngen kommune

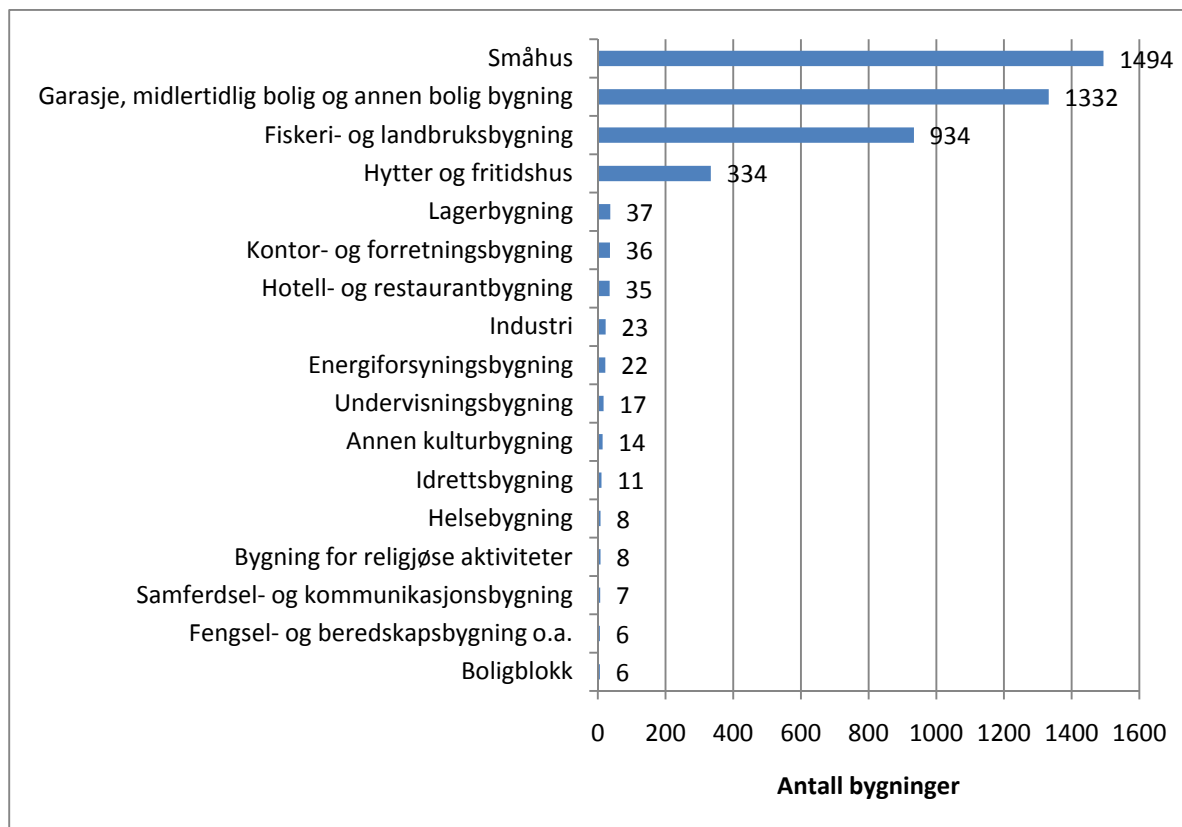
Topografi, klimapåkjenning og bygningsmasse

Lyngen kommune ligger på en halvøy mellom Ullsfjorden og Storfjorden nordøst for byen Tromsø i Troms fylke. Kommunen er preget av et alpint landskap der høye, bratte fjell reiser seg fra fjordene. Flere små isbreer er også å finne i Lyngen. Lyngenhavvøya er orientert nord/sør i lengderetning, og har nesten fri leide til havs mot nord, men er noe mer beskyttet mot havet av Ringvassøyene mot vest. Som vi ser av figuren under er bygningene hovedsakelig oppført på sørøstsiden og langs vestsiden av Lyngenhavvøya.

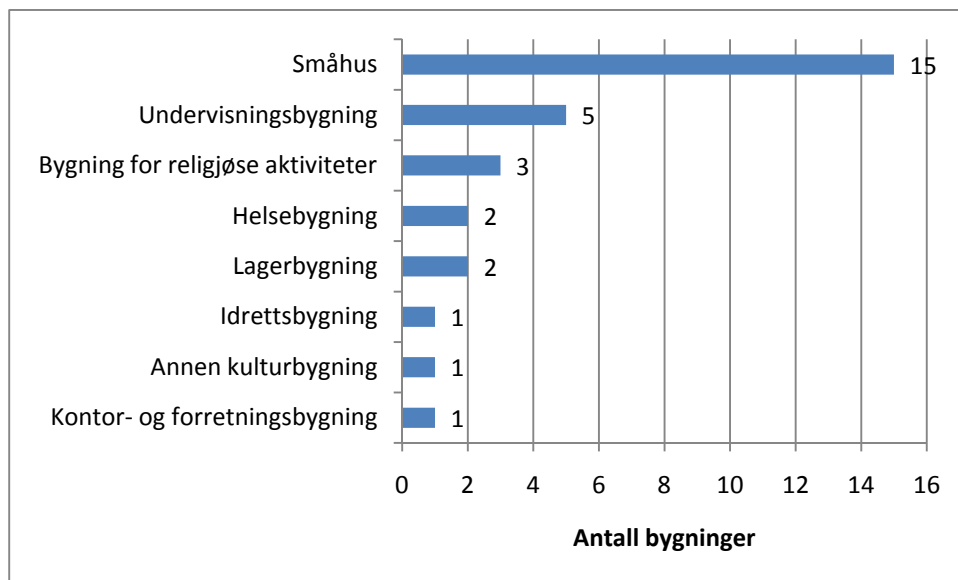


Figur 17. Til venstre, Lyngenhavvøya (kilde: geoNorge.no). Til høyre bygningene i Lyngen kommune markert som grønne prikker (kilde: PhD AJ Almås). Lengs til høyre, klimadata for Lyngen (Værstasjon "91260 Lyngseidet IV").

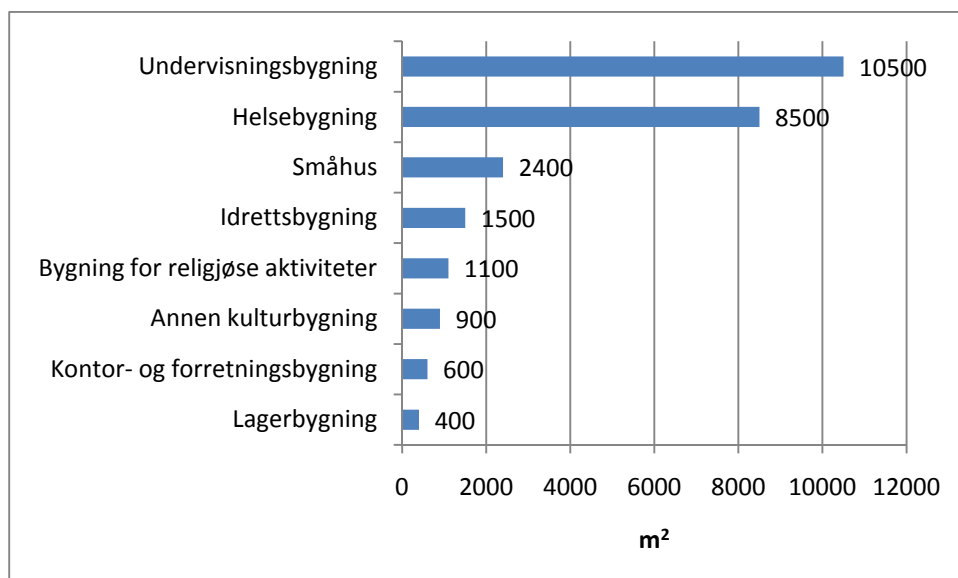
Figuren under viser antall bygninger i Lyngen kommune sortert etter bygningstype. Som vi ser av figuren er det hovedsakelig småhus, garasjer, naust, fiskeri- og landbruksbygninger og hytter som utgjør størsteparten av bygningene. Men det er også en del større kontorbygg (36), lagerbygg (37), industribygg (23), hotell- og restaurantbygg (35) og undervisningsbygg (17). Det er også noen få boligblokker, kulturbygninger, idrettsbygninger og beredskapsbygg.



Figur 18. Antall bygninger i Lyngen kommune, sortert etter bygningstype (kilde: PhD A.J. Almås).



Figur 19. Antall kommunale bygninger i Lyngen kommune sortert etter bygningstype



Figur 20. Antall kvadratmeter kommunale bygninger i Lyngen kommune sortert etter bygningstype

Tabell 13. Kommunale bygninger i Lyngen kommune, sortert etter bygningstype.

	Kommunale bygninger	Areal (m ²)	Hovedmateriale
Småhus	15	2 400	tre
Lagerbygning	2	400	tre
Kontor- og forretningsbygning	1	600	tre
Undervisningsbygning	5	10 500	tre/betong
Annen kulturbygning	1	900	tre
Idrettsbygning	1	1 500	tre/stål
Bygning for religiøse aktiviteter	3	1 100	tre
Helsebygning	2	8 500	tre/stål

Konsekvenser av klimaendringene fram mot år 2050 for bygningsmassen i Lyngen kommune

Delrapport 2 gir detaljert beskrivelse av klimamodeller og forutsetninger som ligger til grunn for analysene. I det følgende gis et kort sammendrag av forventede klimaendringer for Lyngen kommune, og konsekvenser for bygningsmassen diskuteres.

• Temperatur og nedbør

Temperaturen i Lyngen kommer til å stige gjennom hele året, mest om vinteren (ca 2-4°C høyere middeltemperatur) og minst om sommeren (0,9-2,8°C økning). Nedbøren ventes å være noenlunde uendret om våren og øke for de andre årstidene. Størst nedbørøkning blir det om høsten (mellom 13 og 37 % økning). Nedbørsframskriving for vintermånedene viser også en stor økning i snitt (16%), men her viser ett av de fire scenarioene en viss nedgang i vinternedbøren.

Indre Troms har ekstremnedbørverdier som ligger på ca det halve av verdiene for vestlandskysten, og det bildet ser ikke ut til å endre seg fram mot 2050. I perioden 1961-1990 var døgnnedbøren som bare overskrides 1 av 100 dager på ca 20 mm i Lyngen. Nedbørsmengden på dagene med mest nedbør kommer trolig til å øke i forhold til dette nivået. Snittet for de fire scenarioene viser 50% økning i Troms (nedbørregion 11). Høyeste scenario viser 125% økning, mens laveste scenario indikerer uendret ekstremnedbør.

• Fryse-tine perioder og ising temperatur

Vårt scenario for fryse/tineperioder gjelder de 0-passeringene som kommer i tillegg til de som følger av naturlige døgnvariasjoner (overgang mellom natt og dag). I perioden 1961-1990 var det ca 25 slike "ekstra" 0-passeringer i løpet av et år, og fram mot 2050 er ventes det å bli en plass mellom ca 2 og 8 flere 0-passeringer i Lyngen. Den største økningen vil skje om vinteren, som blir mildere enn før. Inntil 8 flere frysepunktpassasjer på årsbasis er ikke et avskrekkende tall, men vi skal være klar over at frysing/tining er en betydelig utfordring for byggsektoren

allerede i dag. Vi viser til plottediagram i delrapport 2, som viser variasjonen mellom de fire nedskaleringene fordelt på de fire årstidene.

- *Havnivå og stormflo*

Ifølge Havnivåstigningsrapporten er tallene for Lyngen i 2050 14 cm havnivåstigning og 246 cm mulig stormflo.

- *Konsekvenser*

Oppsummert gir klimaanalysene for 2050 følgende resultat:

Tabell 14. Klimascenario for Lyngen 2050 (verste fall) med tilhørende konsekvenser for bygninger.

Klimaparameter	Lyngen 2050 Verste fallsscenario avrundet verdi	Konsekvenser for bygninger
Temperatur – vinter	+ 4 °C	Lavere oppvarmingsbehov Lavere risiko for kondensering på innvendige overflater
Temperatur – vår	+ 2.5 °C	Forkortet fyringssesong
Temperatur – sommer	+ 3 °C	Ingen spesielle konsekvenser
Temperatur – høst	+ 3.5 °C	Forkortet fyringssesong
Temperatur – år	+ 3.25 °C	-
Nedbør – vinter	+ 40 %	Større snølast på tak Mer oppdemming av vann Større risiko for inntrenging av vann i bygningen Større problemer med ising på tak
Nedbør – vår	5 %	Ingen
Nedbør – sommer	+ 25 %	Større fuktpåkjenning på tak Større risiko for inntrengning av vann gjennom tak, vegg, vinduer og konstruksjoner under terreng Mer fuktighet i grunnen – større risiko for kapillært fuktoppsug i konstruksjoner under terreng
Nedbør – høst	+ 35 %	Som for sommer
Nedbør – år	+ 20 %	Generelt større risiko for byggefukt i byggeperioden på grunn av for dårlig tildekking og uttørring
Antall 0-punkts passeringer – vinter	+ 6.5 (økning)	-
Antall 0-punkts passeringer – vår	+ 1 (økning)	-
Antall 0-punkts passeringer – sommer	-1 (nedgang)	-
Antall 0-punkts passeringer – høst	+ 2.5	-
Antall 0-punkts passeringer – år	+ 8.5	Generelt større risiko for frostskaader av mineralske bygningsmaterialer (tegl, betong etc). Større risiko for teleskaader
Havnivåstigning	+ 14 cm	Større risiko for korrosjonsskaader Større risiko for inntrenging av vann i kjellere Andre følgeskaader
Stormflo	+ 246 cm	Stor, men midlertidig, påkjenning på bygninger nær havoverflaten Fuktskaader, oversvømmelse av kjellere Korrosjonsskaader Andre følgeskaader

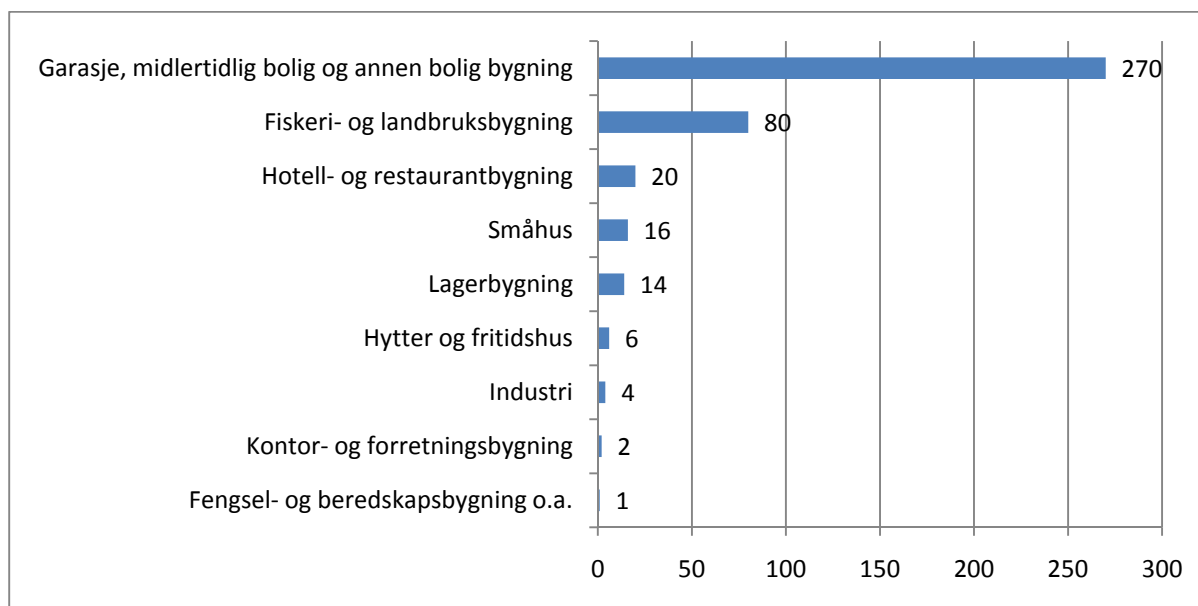
Konsekvenser av klimaendringene fram mot år 2100 for bygningsmassen i Lyngen kommune

- *Havnivåstigning*

I følge rapporten "Havnivåstigning – Estimer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner" (Vasskog 2007) vil havet stige 56 cm frem til år 2100. Stormflonivået vil være 293 cm. Dette vil selvsagt ha store konsekvenser for bygninger som ligger nær havoverflaten, men også bygninger som ligger lenger fra sjøkanten, da sjøsprøyten ved stormflo kan komme langt opp på land. Større risiko for korrosjonsskaader og oversvømmelse av kjellere og fundamenter er sannsynlige konsekvenser for bygningsmassen. Omfattende fuktskaader og råteskaader vil også kunne bli konsekvenser.

Det er ikke gjennomført analyser for hvor mange bygninger som blir berørt av denne havnivåstigningen i Lyngen. Men i doktorgradsarbeidet til Anders-Johan Almås foreligger tellinger for et verste fallsscenario i 2100. Antall bygninger som blir direkte berørt av 1 meter havnivåstigning er kartlagt for alle norske kommuner. Med direkte

berørt betyr dette at bygningen vil stå i vann ved normalvannstand. Figuren under viser tallene for Lyngen kommune. Nivået 1 meter er valgt for å dekke usikkerheter i modeller, scenarioer, landkartnull og sjøkantens geometriske utforming i kartmodellen.



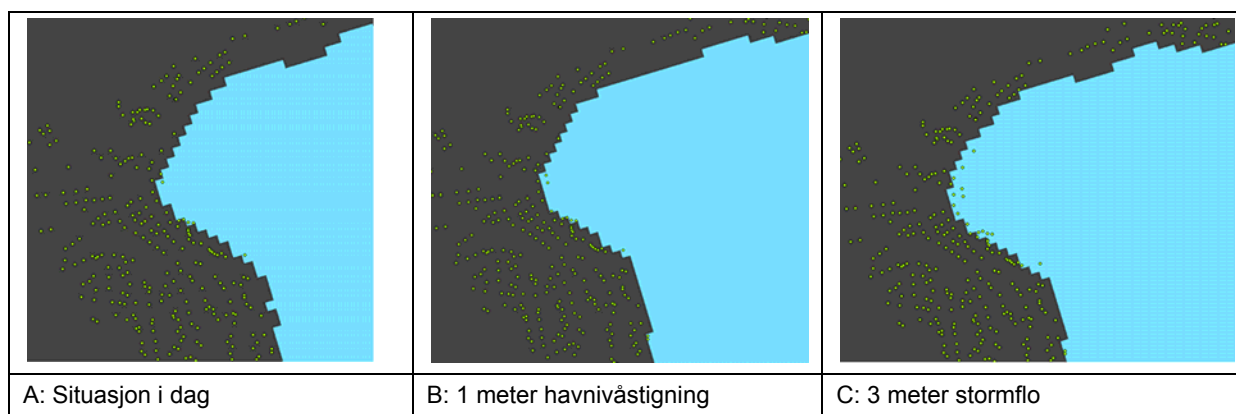
Figur 21. Antall bygninger i Lyngen kommune som vil stå i vann ved 1 meter havnivåstigning (Kilde: PhD – A.J. Almås).

Totalt vil 413 bygninger i Lyngen kommune bli direkte berørt av 1 meter havnivåstigning. 270 av disse er garasjer, midlertidige boliger og naust, bygninger som kanskje vil rives eller flyttes i løpet av de neste 100 årene. Større bekymring knyttes til 80 fiskeri- og landbruksbygninger, 20 hotell- og restaurantbygninger og 16 småhus. Her vil konsekvensene av en havnivåstigning bli større. Fremtidig vedlikehold og tiltak for disse bygningene bør ses i sammenheng med en mulig havnivåstigning. I tillegg bør prosjektering og bygging av nye bygninger hensynta risikoen for havnivåstigning.

For å eksemplifisere analysene av havnivåstigning har vi sett på kommunesenteret i Lyngen, Lyngseidet. Her ligger store deler av bebyggelsen langs sjøkanten.

Figurene på neste side (a) viser sentrum av Lyngseidet i dag. Blå farge er hav, mørk farge er land. De gule punktene angir plassering av bygningene. Som vi ser er det kun et par bygninger (1-2) som blir direkte påvirket av havnivået i dag. Det kan være at også disse bygningene står tørt, for siden sjøkanten i kartmodellen er delt inn i et rutenett kan enkelte bygninger akkurat i skillet mellom hav og land få feil plassering. Det kan også være bygninger som står på påler i vannet. Uansett er det veldig få bygninger som i dag blir direkte påvirket av havet i Lyngseidet.

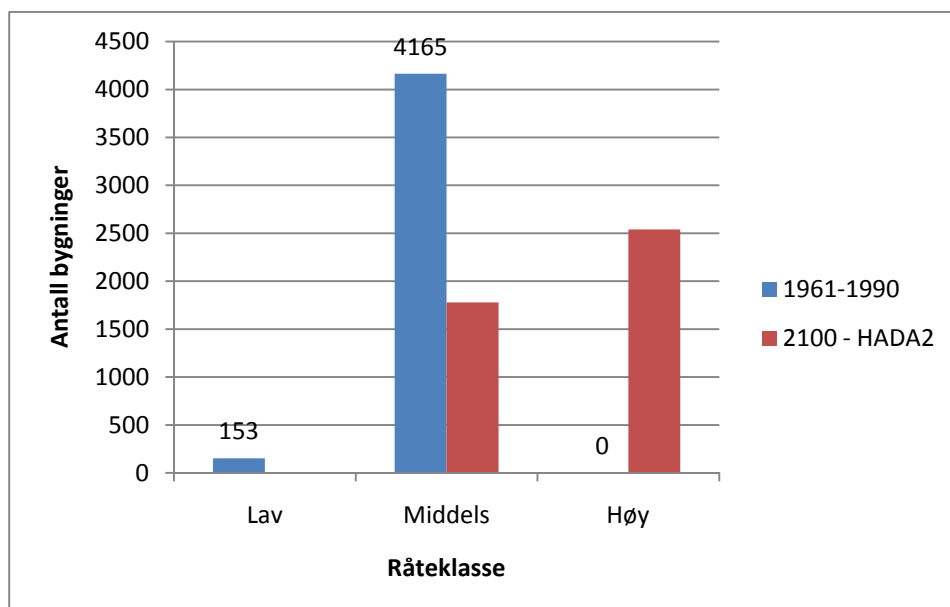
Figur b viser Lyngseidet sentrum ved 1 meter havnivåstigning. Noen flere bygninger (6-7) vil nå stå i vann ved normalvannstand. Konsekvensene vil kunne være store for enkelte av bygningene. Bygningsskader, utvasking av fundamenter og omfattende kostnader for sikring kan bli konsekvensene. Noen av bygningene kan kanskje ikke lenger være praktisk mulig å bruke, og må rives. Figur c viser situasjonen ved 3 meter kombinert havnivåstigning og stormflo for år 2100. Et 20-talls bygninger vil nå bli direkte påvirket av sjøvannet. I tillegg vil flere av bygningene lenger opp på land bli indirekte påvirket i form av bl.a. sjøsprøyt. Konsekvensene for disse bygningene kan være korrosjonsskader og fuktskader med påfølgende råteskader. Kostnadene for utbedring kan bli meget store.



Figur 22. Lyngseidet, kommunesenteret i Lyngen (Foto: Svein Samuelsen). (Under) Sentrum av Lyngseidet i dag (a), ved 1 meter havnivåstigning (b) og ved 3 meter stormflo (c).

- **Råterisiko**

Høyere temperaturer og mer nedbør vil gi et varmere og våtere klima i Lyngen kommune. Dette vil medføre en høyere risiko for råteskader i trebygninger. Som vi ser av figuren under så ligger stort sett hele bygningsmassen i middels råterisikoklasse i dag (blå stolpediagram). Noen få bygninger (153) som sannsynligvis ligger oppe i høyden i et noe kaldere klima, ligger i lav råterisikoklasse. I år 2100 vil omtrent 1800 av bygningene ligge i middels råterisikoklasse (avhengig av scenario), mens hele 2500 bygninger vil ligge i høy råterisikoklasse. Ingen bygninger vil ligge i lav råterisikoklasse. Det må derfor forventes at råteskader kan oppstå på bygninger som ikke har hatt problemer med dette før. I tillegg vil dette kunne medføre kraftigere råteskader i bygninger som allerede er utsatt. Strengere krav til utførelse og riktig materialbruk blir viktig i fremtiden. Mer om tiltak i delrapport 4.



Figur 23. Antall bygninger i ulike råterisikoklasser i Lyngen kommune i dag (blå) og for et HADA2 utslippsscenario for år 2100 (Kilde: PhD – A.J. Almås).

- *Temperatur og graddagstall*

Økningen i årsmiddeltemperatur i Lyngen kommune vil ligge på 3,2 – 3,6 °C mens graddagstallet vil gå fra dagens "høy" (kaldt) til "middels" i 2100. Som for scenarioet for år 2050 vil konsekvensene bli lavere oppvarmingsbehov og forkortet fyringssesong, men effektene blir større.

Bygningstallinger for temperatur og graddagstall på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Snølast og våt vinternedbør*

Lyngen kommune vil i 2100 ligge i samme klimasone som i dag, "middels" (0-400 mm). Klimasonen "middels" spenner over et forholdsvis stort intervall, og vi vet at våt vinternedbør vil øke for Lyngen. Større snølast på tak, oppdemming av vann og større risiko for inntrenging av vann er sannsynlige konsekvenser. Også her vil robuste byggedetaljer og strenge krav til utførelse være avgjørende for kvaliteten på byggene i fremtiden.

Bygningstallinger for snølast og våt vinternedbør på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Ekstremnedbør og flom i vassdrag*

Lyngen kommune har en rekke små og større vassdrag. Små breer og generelt mye snø om vinteren medfører stor avsmelting og stor vannføring, spesielt om våren. Sesongnedbøren i alle årstidene øke. Dette vil medføre at vassdragene og bekkene i Lyngen kommune vil vokse seg enda større i frem mot 2100 enn de er i dag.

Bygninger som ligger nær inntil vassdragene vil kunne bli påvirket i form av oversvømmelser, oppfukting og erosjon av grunnen under fundamenter. Føringer for fremtidig bebyggelse, samt tiltak for å verne eksisterende bebyggelse bør iverksettes. Mer om tiltak i delrapport 4.

Det er ikke gjort detaljert kartlegging av bygninger i risikosonen for flom i vassdrag i vårt arbeid. Det anbefales at kommunen gjennomfører dette.

- *Vind og slagregn*

Det er store usikkerheter knyttet til hvordan vindstyrke og retning vil endre seg i fremtiden. Noe økning i vindstyrke er sannsynlig, spesielt for kyststrøkene. Når vi i tillegg vet at nedbøren også vil øke noe, så vil slagregnmengdene i fremtiden trolig øke, men ikke dramatisk. På grunn av usikkerheter er det best å basere betraktninger rundt slagregn etter historiske data (1961-1990). For Lyngen kommune er dominerende vindretning fra sørvest. Dette må man være bevisst under planlegging av nye bygninger og for vedlikehold av eksisterende bygninger. To trinns regntetting, robuste materialer, god utlekting på kledning og tette detaljer i overganger mellom bygningsdeler blir spesielt viktig i fremtiden.

- *Frostskaderisiko*

Som vi ser av de nasjonale kartene for frostskaderisiko vil Lyngen kommune være en få kommuner i Norge som faktisk får en økning i frostskaderisiko. Dette er et typisk fenomen for deler av Troms og Finnmark fylke. Årsaken er sannsynligvis at områdene som i dag er for kalde til at det blir noe særlig med frysepunktpasseringer i løpet av

året vil bli noe varmere i år 2100, og dermed blir frysepunktpasseringene hyppigere. Konsekvensene for bygningsmassen vil i hovedsak være knyttet til mineralske bygningsmaterialer, dvs. bygninger i tegl og betong. Her vil det kunne oppstå hyppigere frostskafer på fasader og det må derfor stilles strenge krav til frostbestandighet på materialene som benyttes både i nybygg og for eksisterende bygg i Lyngen kommune i fremtiden.

Hustellinger for frostskaferisiko på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Frostmengder*

Frostmengden i Lyngen kommune vil gå fra klasse "høy" til "middels" frem mot år 2100. Frostmengdene er nært knyttet til temperatur, og høyere temperatur vil naturlig nok gi lavere frostmengder. Frostmengden avgjør blant annet isolering av fundamenter for både oppvarmede og uoppvarmede bygninger. En lavere frostmengde i fremtiden skulle derfor tilsi at kravene til isolering av fundamenter kan reduseres. Effektene av dette er ikke studert tilstrekkelig til at dette kan bli noen anbefaling. Konsekvensene av lavere frostmengder for bygningsmassen i Lyngen kommune i fremtiden vil derfor være at frostisoleringen blir overdimensjonert, da det på nåværende tidspunkt ikke kan gis anbefalinger om mindre isolasjon.

Hustellinger for frostmengder på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Permafrost*

Noen små områder av Lyngen kommune har permafrost i dag, men dette gjelder i hovedsak høyereliggende områder hvor det ikke ligger mange bygninger. Noen hytter kan ligge i disse områdene, men de er sannsynligvis fundamentert på fjell. I år 2100 vil, ifølge klimascenarioene, permafrosten forsvinne helt i Lyngen kommune. Siden det i dag ikke anses å være utbredt med fundamentering på permafrost, vil ikke endringer i permafrost gi noen nevneverdige konsekvenser for bygningsmassen i Lyngen kommune frem mot 2100.

- *Skred*

Lyngen kommune er spesielt utsatt for skred. En ekstrem topografi kombinert med mye snø om vinteren gjør utfordringene store. Som tidligere nevnt har Lyngen kommune en dyster historie med flere ulykker og tap av menneskeliv som følge av ras og skred. Snøskred utgjør den største faren, men også steinsprang og leirskred forekommer. I dette prosjektet er det ikke gjort detaljanalyser eller risikovurderinger knyttet til skred og bebyggelse, til det er arbeidet for omfattende. Men resultatene fra det norske prosjektet GeoExtreme viser blant annet at hyppigheten av jordskred kan øke i store deler av Norge fra Trøndelag og nordover. Sunn fornuft og respekt for Plan- og bygningsloven kan avverge de fleste skadevirkningene. Det anbefales at Lyngen kommune gjennomfører risikovurderinger og definerer risikosoner for bygningsmassen for ulike typer skred. Lyngen kommune tar hensyn til dette i overordnet kommunal planlegging, se underkapittel *Klimahensyn i kommuneplanlegging i Lyngen i dag*.

Klimahensyn i kommuneplanlegging i Lyngen i dag

Det er gjennomført intervju med Lyngen kommune for å kartlegge hvordan kommunen planlegger for å tilpasse bygningsmassen til dagens og fremtidens klima. Her følger et kort sammendrag av intervjuet:

Lyngen kommune har sammen med kommunene Kvæangen, Nordreisa, Skjervøy, Kåfjord, Lyngen og Storfjord utarbeidet en tematisk kommunedelplan for klima og energi. Planen er et overordnet styringsverktøy for kommunene. Handlingsprogrammet skal sees i sammenheng med årsbudsjett og økonomiplan. Planen omhandler alt areal innenfor regionens grenser og all offentlig og privat aktivitet innenfor de samme grensene. Men, det er ingen fokus på klimatilpasning i planen. Forventede klimaendringer, konsekvenser og tiltak er ikke medtatt. Planen fokuserer på reduksjon av klimagassutslipp, som selvsagt er viktig i seg selv.

Lyngen kommune har hatt flere store ras og skredulykker med tap av liv og store materielle skader. Senest i 2010 gikk det et leirskred i Solhov der to bolighus ble feid på sjøen, men heldigvis gikk ingen liv tapt. Slike hendelser har medført at det er høy fokus på skredsikring i Lyngen kommune.

Kommunen forvalter omtrent 150 bygninger. Tilstanden på byggene varierer mye. Boligbygningene og de eldre byggene fra før 1970 har dårlig tilstand og er preget av manglende vedlikehold. Enkelte av boligbyggene har vært i så dårlig forfatning at kommunen har solgt de for en rimelig penge. De nye kommunale bygningene, derimot, som helsesenter, skoler og barnehager har god tilstand. Det er et problem at midlene ikke strekker til for å gjøre nødvendig vedlikehold av bygningene. Dersom trenden fortsetter vil også de nye bygningene kunne lide samme skjebne. Med knapphet på ressurser blir tema som helse og undervisning prioritert foran vedlikehold av bygningsmassen. Vedlikeholdsetterslepet er derfor et sammensatt problem av prioritering, tilgjengelige ressurser og økonomi.

Lyngen kommune forvalter mange trebygninger. Det gjøres vanlig vedlikehold som maling etc, men ingen spesielle tiltak med hensyn på forventede klimaendringer i fremtiden. De største utfordringene når det gjelder klimapåvirkning på bygningsmassen i dag er skred, samt fuktighet, nedbør og råteskader hovedsakelig knyttet til trebygninger. Vestsiden av Lyngenhavna samt Lyngseidet på østsiden (huser omtrent 2/3 av befolkningen i kommunen) har mye nedbør, og trebygningene her er særlig utsatt. På østsiden sør for Lyngseidet er det et mye tørrere klima hvor bygningene er mer beskyttet.

Når det gjelder snøskred er Lyngen kommune i en særstilling. Få kommuner er så utsatt for skred i Norge. De tre tettstedene Lyngseidet, Furufjorden og Nordlenangen har flere bygninger som er særlig utsatt for snøskred. Det er gjennomført risikovurderinger og det foretas varling i perioder med høy risiko for skred. Evakueringer forekommer omtrent hvert 5. år.

Når det gjelder klimaendringer vurderer kommunen det slik at endringer i skredmønster og et fuktigere klima vil gi størst utfordringer for fremtidens planlegging og vedlikehold av bygningsmassen. I dag gjøres det ikke spesielle vurderinger i forhold til fremtidens klimaendringer, mye på grunn av manglende informasjon og begrensede ressurser. Likevel er det i reguleringsplanen et krav om at det skal tas hensyn til klimapåkjenninger bl.a. for flom i elver vedrørende klimasoner og lokalisering. I tillegg har Lyngen kommune et samarbeid med Troms fylkeskommune vedrørende sikkerhet og beredskapsplaner, hovedsakelig knyttet til skredproblematikk. Lyngen kommune gjør også konsekvensutredninger for nye boligområder.

Etter at kommunen har blitt bevisst på hvilke klimaendringer de kan vente seg i fremtiden, har problemstillingen fått større oppmerksomhet. Likevel er det utfordringer med hensyn til økonomi, prioriteringer og kapasitet for å kunne få til en god klimatilpasning i kommunen. Dersom klimatilpasningen skal lykkes, må, i følge kommunen selv, klimatilpasningen inkluderes i plandelen av kommuneplanleggingen, og det må komme mer informasjon om lokale klimaendringer og konsekvenser.

Intervjuobjektet har ikke inntrykk av at klimaet i Lyngen er i endring, selv om innbyggerne ikke har opplevd noen spesielt store klimaendringer den siste tiden, men et noe mer ustabilt og varmere klima kan registreres.

Kommuneledelsen konkluderer også med at tilpasning til klimaendringene er noe som absolutt blir viktig i fremtiden fordi utfordringene vil bli store dersom forventede klimaendringer slår til.

I følge kommunen selv, forvalter de ingen bygninger som ligger nær sjøkanten. Havnivåstigning anses derfor ikke å ha stor konsekvens for kommunale bygninger i Lyngen.

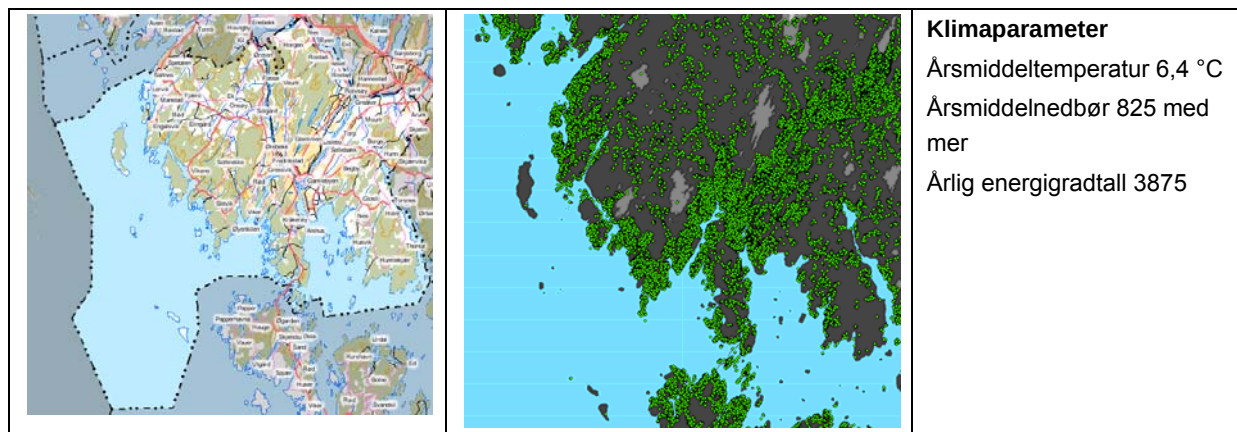
Fredrikstad kommune

Topografi, klimapåkjenning og bygningsmasse

Fredrikstad kommune ligger i Østfold fylke omkring Glommas munning og nedre løp. Kommunen omfatter også områdene langs Oslofjordens østbredd med øyene utenfor, samt øyene utenfor Glommas munning. Den grenser mot Råde i nordvest, Sarpsborg i nordøst og øst og Hvaler i sør.

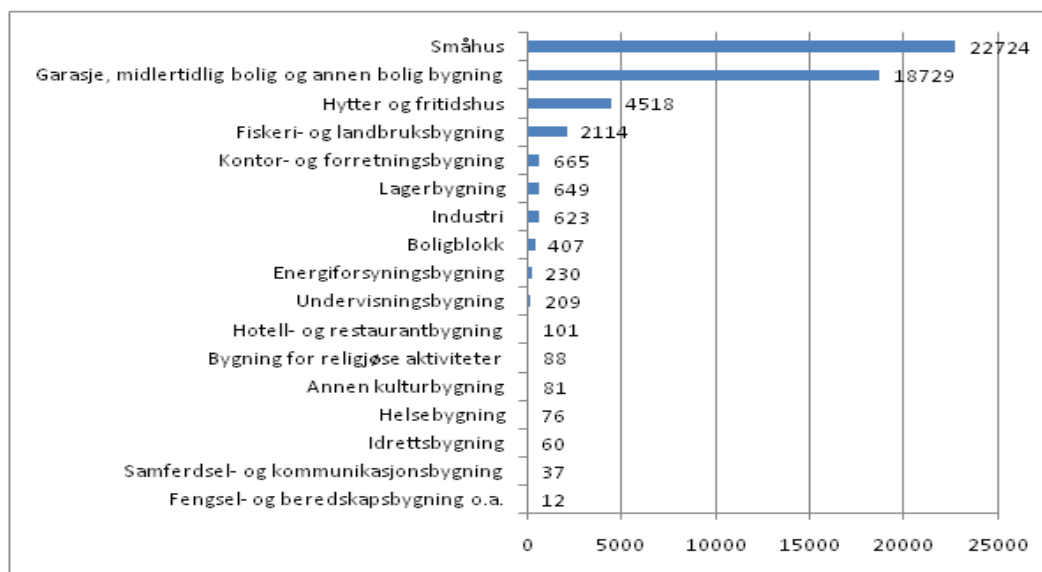
Kommunen har et areal på 290 km² og har en forholdsvis lang kystlinje mot Oslofjorden. Landskapet er flatt, høyeste punkt ligger omtrent 120 meter over havet. Flere større elver går gjennom kommunen og munner ut i Oslofjorden. Norges lengste og mest vannrike elv, Glomma, munner ut i byen Fredrikstad. Utløpet ved Fredrikstad er delt i et vestre og et østre løp (Vesterelva og Østerelva), et på hver side av Kråkerøy. Glomma har ofte vært hjemsoekt av flom som har gjort stor skade.

Berggrunnen i Fredrikstad kommune består overveiende av grunnfjellsgranitt. Den er dekket av til dels mektige marine avleiringer som gir store sammenhengende jordbruksarealer, særlig i de sentrale strøk av Onsøy, nord for bysenteret, og langs flere av elveløpene, særlig på østsiden av Glomma. Der grunnfjellet stikker opp, danner det et smånauset og for en stor del skogkledd landskap, men uten særlig store høydeforskjeller. Løsmassene blir gradvis mer sparsomme mot sør; her dominerer grunnfjellet, og ved kysten finnes et typisk skjærgårdslandskap (Kilde: Store norske leksikon).



Figur 24 Fredrikstad kommune (venstre) og bygningsmassen (høyre) i Fredrikstad kommune markert med grønne punkter. Klimadata for Fredrikstad (Værstasjon "3050") (Kilde: PhD – A.J. Almås).

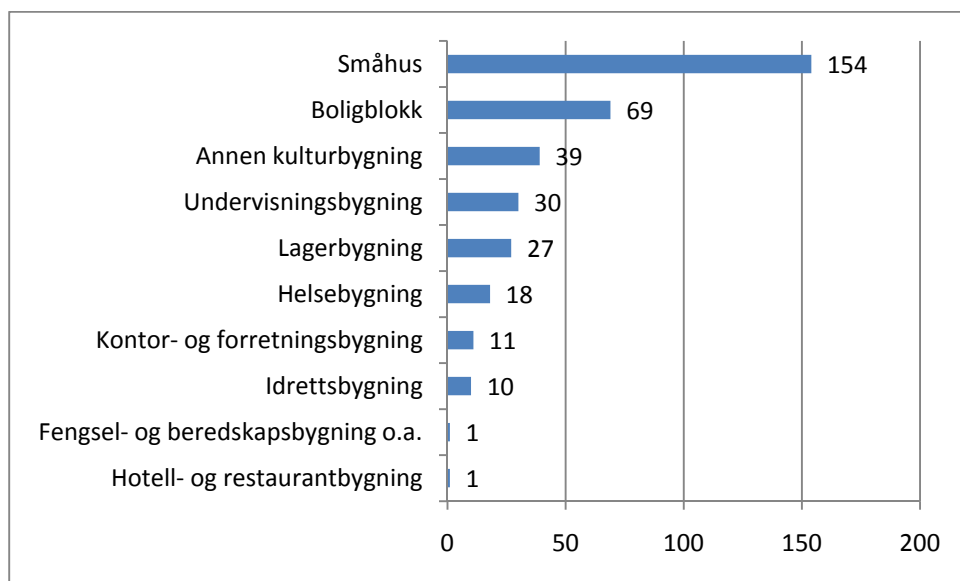
Figuren under viser antall bygninger i Fredrikstad kommune sortert etter bygningstype. Som vi ser av figuren er det hovedsakelig småhus, garasjer, naust, hytter, fritidshus, fiskeri- og landbruksbygninger som utgjør størsteparten av bygningene. Men det er også en mengde større kontorbygg og forretningsbygg (665), lagerbygg (649), industribygg (623), boligblokker (407), energiforsyningsbygninger (230), undervisningsbygg (209) og hotell- og restaurantbygninger (101). Det er også enkelte kulturbygninger, helsebygg, idrettsbygg, samferdsel- og kommunikasjonsbygninger og fengsel- og beredskapsbygninger.



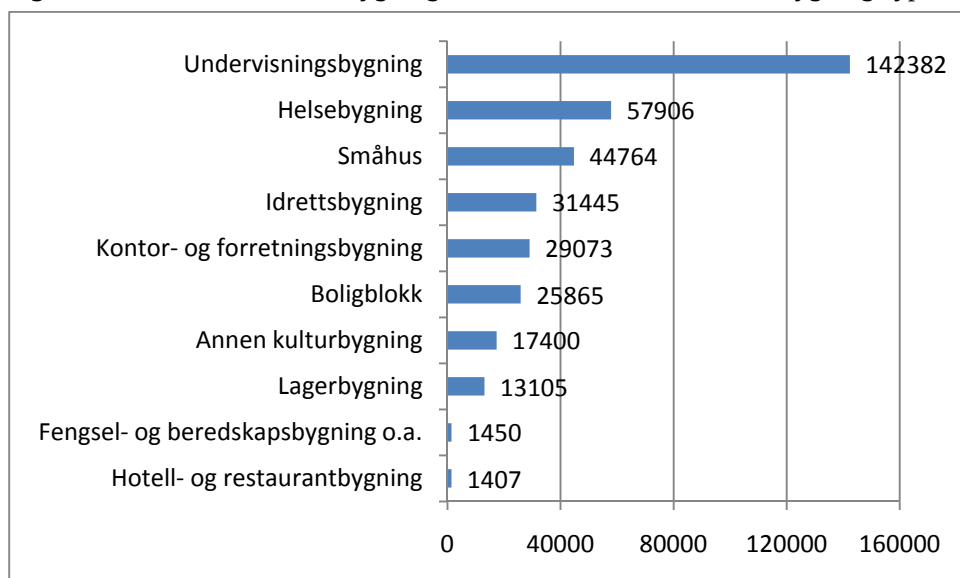
Figur 25. Antall bygninger i Fredrikstad kommune sortert etter bygningstype (kilde: PhD A.J. Almås).

Tabell 15. Kommunale bygninger i Fredrikstad kommune sortert etter bygningstype.

Bygningstype	Kommunale bygg	Kvadratmeter	Hovedmateriale
Småhus	154	44764	Tre, mur, teglstein
Boligblokk	69	25865	Tre, mur, teglstein
Lagerbygning	27	13105	Tre, mur og teglstein
Kontor- og forretningsbygning	11	29073	Mur, tre og teglstein
Hotell- og restaurantbygning	1	1407	Mur
Undervisningsbygning	30	142382	Tre og mur
Annen kulturbygning	39	17400	Tre, mur, teglstein
Idrettsbygning	10	31445	Mur
Helsebygning	18	57906	Tre, teglstein og mur
Fengsel- og beredskapsbygning o.a.	1	1450	Murstein, stein



Figur 26. Antall kommunale bygninger i Fredrikstad sortert etter bygningstype.



Figur 27. Bygningsareal i kommunalt eide bygninger i Fredrikstad (m²).

Tabellen og figurene over viser kommunalt eid bygningsmasse i Fredrikstad fordelt på bygningstyper. Undervisnings- og helsebygninger dominerer i areal, mens de kommunale boligene representerer det største tallet bygninger.

Konsekvenser av klimaendringene fram mot år 2050 for bygningsmassen i Fredrikstad kommune

- *Temperatur og nedbør generelt*

Temperaturen i Fredrikstad kommer til å stige gjennom hele året fram mot 2050, mest om vinteren (1,8-3,0°C høyere middeltemperatur) og om høsten (1,9-3,1°C økning).

Alle fire nedbørsscenarioene viser entydig at det blir tørrere om sommeren og våtere om høsten. Framskrivningene varierer betydelig, fra 1 til 10% reduksjon om sommeren og 5 til 38% nedbørøkning om høsten. For vinter og vår peker de fire modellene i ulike retninger, fra -6% til +10% om vinteren, og fra -8% til +25% om våren.

Østfold har ekstremnedbørverdier som ligger på ca det halve av verdiene for vestlandskysten, og det bildet ser ikke ut til å endre seg vesentlig. I perioden 1961-1990 var døgnnedbøren som bare overskrides 1 av 100 dager på ca 20 mm i Fredrikstad. Nedbørsmengden på dagene med mest nedbør kan komme til å øke så mye som 60% på årsbasis i forhold til dette nivået, mens det laveste anslaget viser ca 25% økning. Scenariene for

vintermånedene spriker mest. Verste fallsscenarioet viser økning i ekstremnedbøren på 125%, mens én av de fire modellene viser redusert ekstremnedbør om vinteren (-25%).

- *Fryse-tine perioder*

Vårt scenario for fryse/tineperioder gjelder de 0-passeringene som kommer i tillegg til de som følger av naturlige døgnvariasjoner (overgang mellom natt og dag). I perioden 1961-1990 var det 33 slike "ekstra" 0-passeringer i Fredrikstad i løpet av et gjennomsnittså, og scenarioene for 2050 viser at det blir færre slike episoder, særlig om høsten. På årsbasis er det snakk om en nedgang mellom ca 4 og 9 frysepunktpasseringer.

- *Havnivå og stormflo*

I følge Vasskog (2007) vil havnivåstigningen fram mot 2050 være 12 cm og mulig stormflo 172 cm, mens tilsvarende tall for 2100 er 52 cm og 217 cm.

- *Konsekvenser*

Klimaanalysene for 2050 er oppsummert i tabellen under, ved at klimaparametrene som er relevante for bygninger er gjengitt med verdier for verste fallsscenario samt en forklaring av hvilke konsekvenser den enkelte klimaparameter ventes å ha for bygningssektoren.

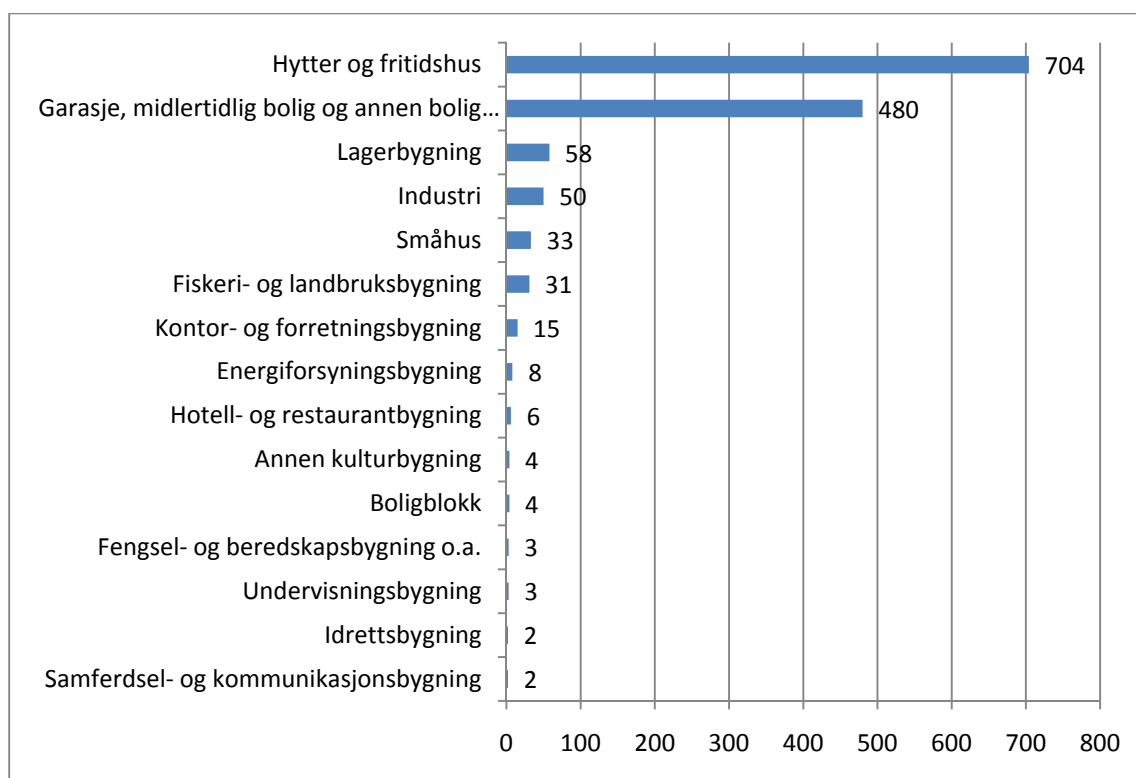
Tabell 16. Klimascenario for Fredrikstad 2050 i forhold til perioden 1960-1991. Verste fall med tilhørende konsekvenser for bygninger.

Klimaparameter	Fredrikstad 2050 Verste fallsscenario avrundet verdi	Konsekvenser for bygninger
Temperatur – vinter	+ 3 °C	Lavere oppvarmingsbehov Lavere risiko for kondensering på innvendige overflater
Temperatur – vår	+ 2.5 °C	Forkortet fyringssesong
Temperatur – sommer	+ 2.75 °C	Større kjølebehov i kontorbygninger
Temperatur – høst	+ 3 °C	Forkortet fyringssesong
Temperatur – år	+ 2.75 °C	-
Nedbør – vinter	+ 20 %	Mindre snølast på tak (jfr. middeltemperaturen for vinteren vil gå fra minusgrader til plussgrader) Mer oppdemming av vann Større risiko for inntrenging av vann i bygningen
Nedbør – vår	+ 25 %	Som for vinter, bortsett fra snølast
Nedbør – sommer	0 %	Mindre påkjenning om sommeren. Sommeren vil bli enda mer gunstig som byggeperiode i fremtiden.
Nedbør – høst	+ 40 %	Større fuktpåkjenning på tak Større risiko for inntrengning av vann gjennom tak, vegg, vinduer og konstruksjoner under terreng Mer fuktighet i grunnen – større risiko for kapillært fuktoppsug i konstruksjoner under terreng.
Nedbør – år	+ 15 %	Generelt større risiko for byggfukt i byggeperioden på grunn av for dårlig tildekking og uttørring
Antall 0-punkts passeringer – vinter	0 (ingen endring)	-
Antall 0-punkts passeringer – vår	- 1 (nedgang)	-
Antall 0-punkts passeringer – sommer	0	-
Antall 0-punkts passeringer – høst	- 1.5 (nedgang)	-
Antall 0-punkts passeringer – år	- 3.5 (nedgang)	Mindre risiko for frostsprenging av mineralske bygningsmaterialer (tegl, betong etc). Mindre risiko for teleskader
Havnivåstigning	+ 12 cm	Større risiko for korrosjonsskader Større risiko for inntrenging av vann i kjellere Andre følgeskader
Stormflo	+ 172 cm	Stor, men midlertidig, påkjenning på bygninger nær havoverflaten Fuktskader, oversvømmelse av kjellere Korrosjonsskader Andre følgeskader (råte etc)

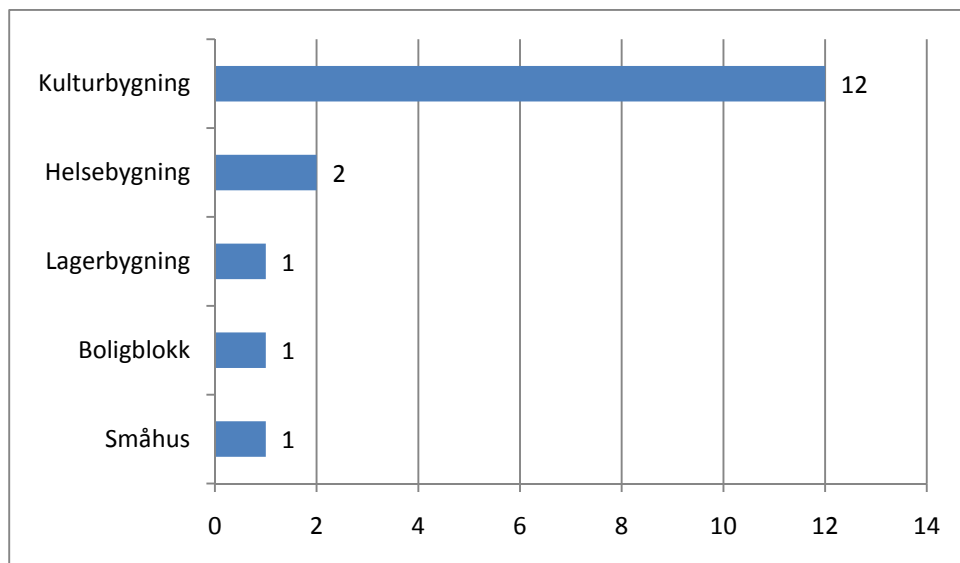
Konsekvenser av klimaendringene fram mot år 2100 for bygningsmassen i Fredrikstad kommune

- *Havnivåstigning*

I følge rapporten "Havnivåstigning – Estimerer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner" fra Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap vil havet stige 52 cm frem til år 2100. Stormflonivået vil være 217 cm. Dette vil selvsagt ha store konsekvenser for bygninger som ligger nær havoverflaten, men også bygninger som ligger lenger fra sjøkanten, da sjøsprøyten ved stormflo kan komme langt opp på land. Større risiko for korrosjonsskader og oversvømmelse av kjellere og fundamenter er sannsynlige konsekvenser for bygningsmassen. Omfattende fuktskader og råteskader vil også kunne bli konsekvenser. I doktorgradsarbeidet til Anders-Johan Almås foreligger det tellinger for hele Fredrikstad kommune over hvor mange bygninger som vil bli direkte berørt ved 1 meter havnivåstigning. Antall bygninger som blir direkte berørt av 1 meter havnivåstigning er kartlagt for alle norske kommuner. Med direkte berørt betyr dette at bygningen vil stå i vann ved normalvannstand. Figuren under viser tallene for Fredrikstad kommune.



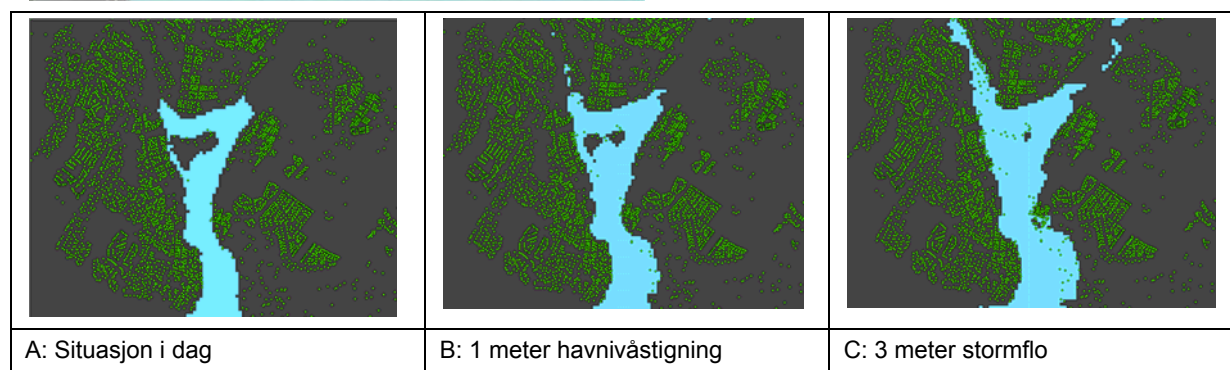
Figur 28. Antall bygninger som blir berørt ved 1 meter havnivåstigning i Fredrikstad kommune.
Kilde: Pågående PhD-arbeid A.J. Almås.



Figur 29. Antall bygninger i Fredrikstad kommune som vil stå i vann ved 1 meter havnivåstigning (Kilde: PhD – A.J. Almås).

Når det gjelder kommunalt eide bygninger er det 17 bygninger som ligger spesielt utsatt for 1 meter havnivåstigning (tall fra kommunen). Av disse utgjør 12 stk kontorbygninger, 2 helsebygninger, 1 lagerbygning, 1 boligblokk og 1 småhus, jf. figuren ovenfor. Videre undersøkelser rundt plassering, utforming og spesielt sårbare bygninger bør utføres for å kunne anbefale tiltak for å verne bygningene.

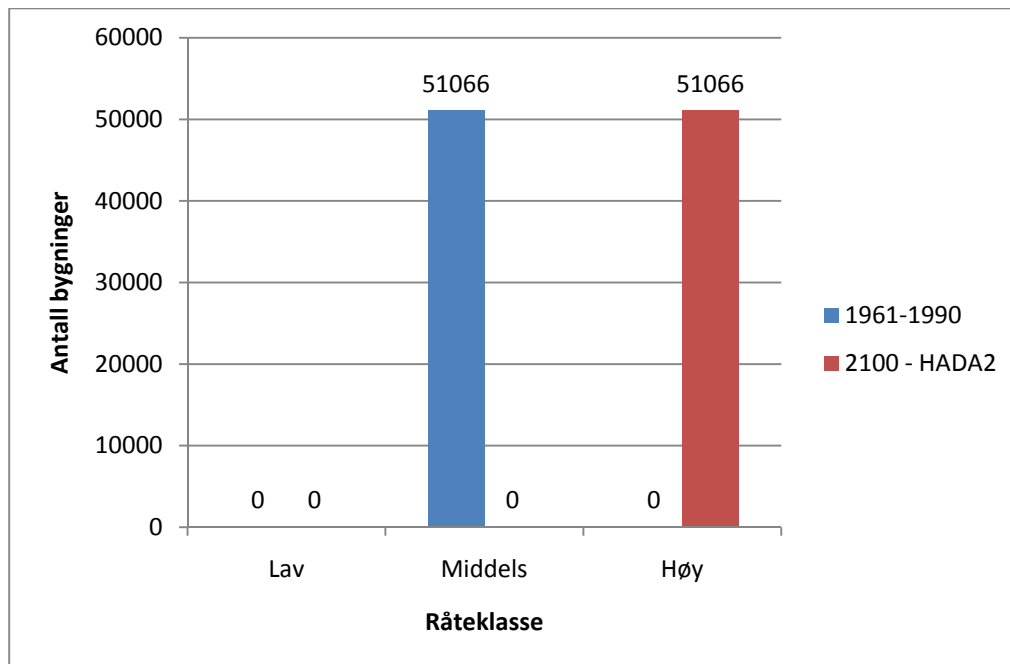
Havnivåstigning og stormflo eksemplifiseres her gjennom en kartanalyse av deler av Fredrikstad sentrum. Som vi ser av figurene under vil omtrent 20 bygninger i dette området stå i vann ved 1 meter havnivåstigning. Ved kombinert havnivåstigning og stormflo (ca 2 meter stigning) vil omtrent 60 bygninger stå i vann.



Figur 30. Fredrikstad sentrum ved sjøkanten (Foto: Fredrikstad kommune). Fredrikstad sentrum i dag (a), ved 1 meter havnivåstigning (b) og havnivåstigning kombinert med stormflo (c) for år 2100. Kilde: Pågående PhD-arbeid A.J. Almås

- *Råterisiko*

Høyere temperaturer og mer nedbør vil gi et varmere og våtere klima i Fredrikstad kommune. Dette vil medføre høyere risiko for råteskader i trebygninger. Som vi ser av figuren under så ligger hele bygningsmassen i middels råterisikoklasse i dag (blå stolpediagram). I år 2100 vil alle bygningene gå over i høy råterisikoklasse. Dersom de forventede klimaendringene slår til må det derfor forventes at råteskader kan oppstå i bygninger som ikke har hatt problemer med dette før. I tillegg vil klimaendringene kunne medføre kraftigere råteskader i bygninger som allerede er utsatt. Strengere krav til utførelse og riktig materialbruk blir viktig i fremtiden. Mer om tiltak i delrapport 4.



Figur 31. Råterisiko for bygningsmassen i Fredrikstad kommune i dag (blå stolpe) og for 2100 basert på klimascenariet HADA2 (rød stolpe). Pågående PhD-arbeid A.J. Almås.

- *Temperatur og graddagstall*

Økningen i årsmiddeltemperatur i Fredrikstad kommune vil være ca 3°C, og graddagstallet vil reduseres og fortsatt ligge i klasse "lav" i år 2100. Som for scenarioet for år 2050 vil konsekvensene bli lavere oppvarmingsbehov, forkortet fyringssesong og større kjølebehov om sommeren, men effektene blir større. Hustellinger for temperatur og graddagstall på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Snølast og våt vinternedbør*

Fredrikstad kommune vil i 2100 ligge i samme klimasone som i dag, "middels" (0-400 mm). Klimasonen middels" spenner over et forholdsvis stort intervall, og det må antas at våt vinternedbør vil øke for Fredrikstad. Fordelingen av snø og regn vil bli avgjørende for konsekvensene. Siden middeltemperaturen i vintersesongen vil gå fra minus til plussgrader i 2050 er det sannsynlig at denne trenden fortsetter frem mot 2100. Det betyr mindre snø men mer regn. Kombinert med kalde perioder vil dette kunne medføre ising og større grad av oppdemming av vann, samt større risiko for inntrenging av vann i bygningene. Også her vil robuste byggdetaljer og strengere krav til utførelse være avgjørende for kvaliteten på byggene i fremtiden.

Hustellinger for snølast og våt vinternedbør på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Ekstremnedbør og flom i vassdrag*

Fredrikstad kommune har en rekke små og større vassdrag, men Glomma er uten tvil vassdraget som gir størst utfordringer med tanke på flom. Elven er Norges lengste og munner ut i Fredrikstad. Siden elven strekker seg så langt mot nord vil flomnivået i Fredrikstad ikke være spesielt avhengig av lokalklimaet, men avhengig av hele nedbørsområdet og tilsigsområdet for Glomma helt nord til Trøndelag. Sesongnedbøren vil om sommeren og vinteren øke for hele tilsigsområdet. For våren kan det være noe økning i enkelte områder, mens det for høsten vil kunne gå noe ned. Dette vil sannsynligvis medføre at vannføringen i Glomma øker om sommeren og vinteren. NVE har gjort omfattende analyser av fremtidig vannføring i Glomma.

For bygningsmassen i Fredrikstad vil en kombinasjon av flom i Glomma kombinert med stormflo være spesielt ugunstig. Kartlegging av sårbare områder langs vassdragene og utarbeidelse av tiltaksplaner ved flom må gjennomføres. Oversvømmelser, oppfukning og erosjon av grunnen under fundamenter er sannsynlige konsekvenser for bygningsmassen. Føringer for fremtidig bebyggelse, samt tiltak for å verne eksisterende bebyggelse bør også iverksettes. Mer om tiltak i delrapport 4.

Det er ikke gjort detaljert kartlegging av bygninger i risikozonen for flom i vassdrag i vårt arbeid. Det henvises til NVE.

- *Vind og slagregn*

På grunn av usikkerheter rundt vindstyrker i fremtiden er det best å basere betraktninger rundt slagregn etter historiske data (1961-1990). For Fredrikstad kommune er dominerende vindretning fra sør. Dette må man være bevisst under planlegging av nye bygninger og for vedlikehold av eksisterende bygninger. To trinns regntetting, robuste materialer, god utlekting på kledning og tette detaljer i overganger mellom bygningsdeler blir spesielt viktig i fremtiden.

- *Frostskaderisiko*

Som vi ser av de nasjonale kartene for frostskaderisiko vil Fredrikstad kommune gå fra "moderat" til "lav" frostskaderisiko. Det betyr færre frysepunktpasseringer og mindre risiko for frostskader på mineralske bygningsmaterialer, dvs. bygninger i tegl og betong. Det er likevel ingen grunn til å lempe på kravene til frostskadesikre materialer og byggdetaljer i fremtiden.

Hustellinger for frostskaderisiko på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Frostmengder*

Frostmengden i Lyngen kommune vil gå fra klasse "middels" til "lav" frem mot år 2100. Frostmengdene er nært knyttet til temperatur, og høyere temperatur vil naturlig nok gi lavere frostmengder. Frostmengden avgjør blant annet isolering av fundamenter for både oppvarmede og uoppvarmede bygninger. En lavere frostmengde i fremtiden skulle derfor tilsi at kravene til isolering av fundamenter kan reduseres. Effektene av dette er ikke studert tilstrekkelig til at dette kan bli noen anbefaling. Konsekvensene av lavere frostmengder for bygningsmassen i Fredrikstad kommune i fremtiden vil derfor være at frostisoleringen blir overdimensjonert, da det på nåværende tidspunkt ikke kan gis anbefalinger om mindre isolasjon.

Hustellinger for frostmengder på kommunenivå foreligger ikke, men er mulig å generere.

- *Permafrost*

Permafrost er ingen reell problemstilling for Fredrikstad, verken i dag eller for år 2100.

- *Skred*

Fredrikstad kommune er ikke spesielt utsatt for skred, men kvikkleireskred kan forekomme. Det er sannsynlig at risikoen for kvikkleireskred vil øke i fremtiden, bl.a. pga utvasking i ekstreme nedbørsperioder.

Det anbefales at det gjennomføres en vurdering rundt spesielt skredutsatte områder og at det iverksettes tiltak for å redusere risikoen for skred. De fleste kvikkleireskred blir utløst av menneskelig aktivitet, så en streng regulering av aktivitetene i slike områder vil være nødvendig i fremtiden.

Klimahensyn i kommuneplanlegging i Fredrikstad i dag

Sammen med 12 andre byer deltar Fredrikstad i samarbeidet "Framtidens byer - byer med lavest mulig klimagassutslipp og godt bymiljø", som har klimatilpasning som ett av fire satsingsområder. Fredrikstad knytter samarbeidet til kommunens overordnede strategier for samfunnsutvikling. Fredrikstad er første by i Norge med egen klimatilpasningsanalyse (2010).

Mer flom, stormflo og ras er noe av det Fredrikstad må forberede seg på når klimaet endrer seg. Kommunen har i samarbeid med Vestlandsforskning gjort klar sin første rapport om tilpasningsstrategi "Klimatilpasning i Fredrikstad". Flere ganger de siste årene har innbyggerne i Fredrikstad opplevd at kjellere har blitt oversvømt med flomvann og kloakk, og at stormflo kryper over bryggene og inn i byen. Slike hendelser har fått Fredrikstad til å ville tilpasse seg bedre til klimaet, både slik det er i dag og slik det kan bli når klimaet endrer seg i framtiden.

"Disse erfaringene gjør at vi tar forskerne på alvor når de regner at havet vil stige, nedbørsmengdene vil øke og at vi vil oppleve hyppigere stormer og oversvømmelser", sa Fredrikstads ordfører Eva Kristin Andersen til KS i 2010.

Kommunen vil blant annet ta hensyn til at stormfloen i løpet av dette århundre kan gå 2,5 meter over dagens normalnivå, godt over en halv meter mer enn den gjør i dag. I tillegg har politikerne allerede vedtatt å investere

mer i opprusting og utviding av avløpsnett i byen. På sikt er målet at innbyggerne i Fredrikstad skal bli mer involvert i klimatilpasningsarbeidet, og kommunen vil gi folk råd om hvordan de kan tilpasse seg klimaendringene.

Spesielle vurderinger knyttet til kommunalt eid bygningsmasse i Fredrikstad

Som vi ser av Tabell 15 er det undervisningsbygg, helsebygg og småhus som utgjør størsteparten av den kommunalt eide bygningsmassen. Hovedmaterialene er teglstein og treverk. Siden frostsikaderisikoen går ned frem mot 2100 vil ikke klimaendringene ha spesielle konsekvenser for teglsteinsbyggene, men for trebygningene er situasjonen noe annerledes. Råterisikoen vil øke. Tiltak for å sikre robuste byggdetaljer, fuksikker byggeprosess og godt vedlikehold av trebygningene vil bli spesielt viktig for den kommunale bygningsmassen i fremtiden.

Bygg- og eiendomssjef i Fredrikstad kommune, Bjørn Hansen, opplyser at kommunen forvalter 430.000 m² fordelt på 420 bygg. Hans vurdering er at mange av de kommunale bygningene har en tilstand som er langt under forsvarlig standard. De senere årene har det ikke vært midler til vedlikehold av bygninger på det kommunale budsjettet, og vedlikeholdsetterslepet er anslått til ca 250 mill. kr. Så lenge vedlikeholdsbudsjettet er på null, øker etterslepet med 30-40 mill. kr i året. Hansen vurderer tilstanden for enkelte av bygningene som så dårlig at man må vurdere stenging. Blant de kommunale bygningene er det sykehjemmene som har blitt høyest prioritert, og dermed har den beste standarden. Bygninger fra tidlig 1970-tall, gjerne med flatt tak, trekkes fram som den bygningstypen som representerer de største vedlikeholdsutfordringene. Biblioteket i Fredrikstad er et slikt eksempel. Bygg- og eiendomssjefen er orientert om kommunens deltagelse i Framtidens byer og andre klima- og miljørelaterte prosjekter, og han mener klimaendringer er en trussel som man skal ta alvorlig. Han har ikke kjennskap til at det fins klimapolitiske retningslinjer vedtatt i kommunen som hans etat skal forholde seg til.

Melhus

Morten Børseth, virksomhetsleder bygg og eiendom i Melhus kommune, opplyser i intervju med oss at kommunen forvalter en bygningsmasse på ca 100.000 m². Tabellen nedenfor viser hvordan denne bygningsmassen fordeler seg mellom ulike bygningstyper, både i antall kommunale bygg og areal per kategori, samt opplysninger om viktigste byggemateriale.

Tabell 17. Kommunale bygninger i Melhus kommune, fordelt på bygningstype. Kilde: Melhus kommune.

Bygningstype	Kommunale bygninger	Areal (m ²)	Hoved-materiale
Småhus	44	3 700	Tre
Boligblokk	4	5 173	Tre / betong
Garasje, midlertidig bolig og annen boligbygning	233	13 980	Tre
Industri	2	1 600	Betong
Kontor- og forretningsbygning	1	7 684	Betong
Undervisningsbygning	11	42 001	Tre / betong
Annen kulturbygning	1	550	Tre
Idrettsbygning	2	7 504	Betong
Helsebygning	3	12 922	Tre / betong

Målt i antall bygg dominerer kategorien "garasje, midlertidig bolig og annen boligbygning", en post som nok rommer en god del leiligheter. Kommunen eier i alt 265 boenheter (det kan være flere boenheter i hvert bygg), og disse fordeler seg mellom de tre første bygningstypekategoriene i tabellen. I areal er det undervisningsbygg som er den klart viktigste kategorien, der 11 bygg alene står for 44 % av den kommunale bygningsmassen. Kategoriene "garasje, midlertidig bolig og annen boligbygning" utgjør 15% av arealet, mens de tre helsebygningene står for 14%.

Børseth vurderer tilstanden til de kommunale bygningene i Melhus å ligge over landsgjennomsnittet. I forbindelse med Multiconsults undersøkelse for KS for to år siden, viste tilstandsvurderingen at 12% av bygningene trengte utbedringer med en gang. Kommunen har ikke ferske tall for vedlikeholdsetterslep i den kommunale bygningsmassen, men arbeider med å oppdatere en slik oversikt innenfor eget verktøy. Etaten har planer om at

tilstandsvurdering skal danne grunnlag for investeringsbudsjettene framover, for å få slutt på at investeringene får et ad hoc-preg.

Oppgradering av kommunens bygninger har blitt preget av "skippertak" knyttet til lovpålegg. Innemiljøforskriften av 1997 innebar en omfattende gjennomgang av bygningsmassen, bl.a med utbedring av manglende ventilasjon. I Melhus kommune har investeringsbudsjettene til kommunale bygg for en stor del gått med til dette arbeidet, noe som til en viss grad har gått ut over det ytre vedlikeholdet. Et annet eksempel på utbedringer som følge av statlige pålegg, er sanering av PCB-holdige vinduer for 3-4 år siden.

Disse utfordringene blir nevnt når det gjelder det ytre vedlikeholdet:

- En del dårlige vinduer
- Lekkasje
- Umalt ytterkledning.

Børseth mener likevel ikke at vedlikeholdsetterslepet er det viktigste å sette søkelyset på for den kommunale bygningsmassen i Melhus. Han er mer opptatt av å få oppmerksomhet omkring levetidskostnader på offentlige bygg. I en situasjon med knappe investeringsmidler er det lett at man velger billige løsninger i stedet for å bruke dyrere og mer bestandige materialer. Han peker på en trend fra 1970-tallet og framover, der man heller bygger to sårt tiltrengte bygninger med kort levetid, enn ett hus med lengre levetid. "Vi river jo 25 år gamle skoler i dag, og det burde være unødvendig" sier Børseth. Han peker på at i alle fall fasaden (klimaskjermen) bør være i bestandige materiale, som murverk, for å øke levetida på bygningene. Videre har han egen erfaring med at det å rehabilitere bygg av dårlig kvalitet kan være tvilsom økonomi sammenliknet med å rive for å bygge nytt. Lundamo ungdomsskole fra 1970 ble rehabilitert i 2002-2003, men sett 40 år fram i tid i forhold til rehabiliteringstidspunktet, mener han det ville ha lønt seg å bygge nytt. Da ville man også unngått lave himlingshøyder som oppstår når man oppgraderer ventilasjonen i tråd med dagens krav.

Bergen

Per Gjesdal, driftssjef i Bergen kommunale bygg, forteller at de forvalter en bygningsmasse på ca 1 mill. m² fordelt på 6-700 bygg. Dette dreier seg om bygningskategoriene grunnskoler, barnehager, alders- og sykehjem, idrettsbygg, kulturbygg og administrasjonsbygg. Til vedlikehold og brannkontroll er det avsatt 27 årsverk. Tilstanden til de kommunale bygningene karakteriserer han som "voldsomt varierende". Bergen kommunale bygg har hatt et vedlikeholdsbudsjett på 50 kr/m², mens Gjesdal anslår det reelle behovet til å være 200 kr/m².

Gjesdal sier at det virker som politikerne i Bergen har fått opp øynene for at det er store realverdier i den kommunale bygningsmassen, og at det er mer forståelse enn tidligere for at det er viktig å drive vedlikehold og rehabilitering av bygningene for å unngå tap av disse verdiene. I 2008 bevilget byrådet 415 mill. kr til opprusting av skolefasadene. Prosjektet, som omfattet oppussing av fasadene på 80 skoler, ble avsluttet i 2010 etter å ha pågått i 2 år.¹⁴ Bergen kommunale bygg har registrert en nedgang i hærverket på skolene etter at fasadene har blitt pusset opp, og Gjesdal spør seg om dette kan komme av at barna er mer stolte av skolene sine etter oppussingen. I tillegg til det kommunale løftet for skolefasadene i Bergen, har det blitt gjennomført ekstraordinært vedlikehold i regi av såkalte tiltaksprosjekter (TP) med statlig finansiering.

Bergen kommunale bygg har ikke gjennomført særskilt kartlegging av klimasårbarhet i bygningsmassen de forvalter, og kan heller ikke se at dette er særlig relevant. Den eneste form for tilpasning som kan settes i sammenheng med klima, er etter Gjesdals oppfatning et større fokus på sikker strømforsyning til sykehjemmene, som har blitt utstyrt med aggregater.

Konklusjoner

For oppsummering av casene omtalt over viser vi til konklusjonen i byggkapittelet over.

Vannforsyning og avløpshåndtering

Innledning

I kapittelet om vann og avløp diskuteres hvilke forventede effekter framtidige klimaendringer får på VA-systemene generelt, før dette belyses mer konkret for 5 ulike eksempelkommuner.

¹⁴ Selv om man med dette har tatt igjen etterslepet på det ytre vedlikeholdet av skolene, har man fremdeles et vesentlig vedlikeholdsetterslep på innneklima og teknisk anlegg.

Kunnskapsstatus

SSB anslår at det i 2009 totalt fantes omtrent 35 200 kilometer med kommunale spillvannsledninger¹⁵. Spillvannsnettet kan deles inn i fellessystem for både spill- og overvann, som utgjør 7 600 kilometer, og separate spillvannsledninger på til sammen 27 600 kilometer. I tillegg til 35 200 kilometer med spillvannsnett kommer 19 600 kilometer med separate overvannsledninger. Dette gir til sammen 54 800 kilometer med kommunale avløpsledninger i Norge. Vi ser da bort fra private stikkledninger. Rapporteringen viser at omkring 4,5 % av spillvannsnettet ble lagt før 1940, mens 51 % ble lagt etter 1980. I tillegg har over 10 % av det totale spillvannsnettet ukjent alder. Trolig består denne andelen hovedsakelig av spillvannsnett av eldre dato. Fornylsestakten er også høyest for ukjentkategorien, med 1,8 % utskiftning i 2009. Til sammenlikning fornyet man samme år 0,39 % av spillvannsnettet lagt før 1940 og 0,21 % lagt i 1980 eller seinere.

VA-systemene er i relativt dårlig forfatning og trenden for tilstandsutvikling er generelt nedadgående. I følge SSB ble det i 2009 0,47 %, eller 164 kilometer, av det totale kommunale spillvannsnett skiftet ut. Fornysen av gammelt spillvannsnett skjer dermed under halvparten så fort som nyleggingen, som ligger på 1,23 % og utgjorde 432 kilometer. Spillvannsnettet er totalt 35 200 kilometer. Med mindre fornyelsen øker til et høyere nivå, vil dette nødvendigvis medføre økende aldring av spillvannsnett i kommunene. Selv uten nylegging vil det ta over 200 år å fornye hele spillvannsnett med den fornyelsestakten man har i dag¹⁶.

Dette betyr at sårbarheten øker og at ulike endringer (for eksempel klimaendringer) medfører svekkelse av ytelsen. Vi kan derfor forvente at VA-systemene vil oppleve flere og større problemer i framtida.

Et varmere og våtere klima fører med seg store utfordringer for drikkevannsforsyning og avløpshåndtering. Klimaendringene vurderes å føre til strengere krav til behandling av drikkevann - fra inntak til kran – for å tilpasse sektoren til endrede klimaforhold. Særlig med tanke på samfunnets og befolkningens avhengighet av en velfungerende vannsektor er dette av stor betydning. Dimensjoneringsmetodene for urban overvannshåndtering mangler god informasjon om framtidige belastningssituasjoner, for eksempel projeksjoner for framtidige nedbørshendelser med tilstrekkelig høy oppløsning. Dette er kunnskapshull som det er viktig å sette fokus på for å oppnå en god overvannshåndtering for framtidige klimasituasjoner.

En viktig trend i tilpasning til klimaendringer er den store interessen, ulike prosjekter, og mange publikasjoner om temaet. Norske kommuner er opptatt av klimaendringer og hvordan man skal tilpasse vann og avløpsbransjen til disse. De to viktigste kunnskapshullene, som vil berøres videre i dette prosjektet, er:

- Behov for økt kunnskap om framtidig nedbør med høy oppløsning (1-2 minutters frekvens). Det bør skilles på sommerregn og vinterregn, for å kunne sammenligne disse situasjonene og vurdere hva som vil gi dimensjonerende avrenning.
- Økt kunnskap om fryse-tineprosesser. Dette påvirker avløp i form av vinteravrenning, og belastning på rørsystemer, overløp, renseanlegg, med mer. Videre påvirkes drikkevann ved større omrøring i vannkilder som er innsjøer (overflatekilder).

Forventede effekter av klimaendringer i Norge

Norge vil generelt oppleve mer nedbør og større variasjon i nedbørmønstre. Dette vil resultere i perioder hvor det vil komme nedbør med høy intensitet som vil føre til flom og oversvømmelse av avløpsnett og overvannssystemet. Kjelleroversvømmelser og flom på urbane flater vil bli mer vanlig. Variable temperaturer om vinteren vil føre til at regn faller på frossen mark som øker avrenningen og akselererer flomproblematikken om vinteren.

Generell råvannskvalitet vil bli dårligere grunnet økt nedbør og avrenning og høyere vanntemperatur. Høyere avrenning fører til økte mengder av NOM (Naturlig Organisk Materiale) og mikrobiologisk aktivitet i drikkevannskildene. Renseanleggene for drikkevann vil derfor i framtida måtte håndtere et råvann med dårligere kvalitet.

På grunn av et varmere klima vil nye dyrearter oppholde seg i nedbørfeltet til drikkevannskilder og øke risikoen for mikrobiologisk forurensning av drikkevannet.

Under går vi gjennom de viktigste effektene av klimaendringer for hvert element av vann- og avløpssystemet, fra kilde til resipient. Noen av effektene gjentas, da de er relevante for flere systemdeler. Tabellen under viser tema som omtales i det etterfølgende.

¹⁵ http://www.ssb.no/var_kostr/

¹⁶ http://www.ssb.no/var_kostr/

Tabell 18 De viktigste effekter av klimaendringer for vann- og avløpssystemet

Delsystem	Sårbarhetstema
1. Nedbørfelt	Overflatekilde
	Grunnvannskilde
2. Drikkevannssystemet	Inntak av råvann
	Vannbehandling
	Ledningsnett
	Lagringsskapasitet
	Pumpestasjoner og nødstrømaggregat
3. Avløpssystemet	Ledningsnettet
	Renseanlegg
	Overløp
	Pumpestasjoner og nødstrømaggregat
	Lagring
	Dyputslipp fra renseanlegg
4. Overvannssystemet	Ledningsnettet
	Infiltrasjonssystem for overvann
	Rensedammer
	Pumpestasjoner og nødstrømaggregat
5. Resipient	Elv, elvemunning, fjord, innsjø og kyst

I det videre drøfter vi hvert enkelt sårbarhetstema under de ulike delsystemene.

Delsystem 1: Nedbørfeltet

Følgende forhold er viktige når det gjelder **nedbørfelt til overflatekilder**:

- Endret nedbørsmønster

Intensitet, varighet og frekvens av nedbør vil øke. Episoder med kraftig nedbør som vil foregå over en kort periode og vil skape store flommer vil bli mer normalt. Endringen i nedbørsmønster vil også skape høyere avrenningstopper i nedbørfeltene som vil øke flom problematikken (Holvik, 2010), (Lindholm et al., 2003), (Alfnes and Førland, 2006), (Benestad and Hanssen-Bauer, 2009), (Mamen and Iden, 2010).

- Økt avrenning

På grunn av økt nedbør vil avrenning i nedbørfeltene øke. Avrenningen vil øke både med hensyn på intensitet (høyere avrenningstopper) og total mengde vann. Resultatet er at vi får flere problemer med flom, mer eutrofiering av vannkilder, mer NOM i vannet og større mikrobiologisk aktivitet i drikkevannskilder.

- Økt snøsmelting = økt avrenning om vinteren

Høyere temperaturer og større endring i temperaturmønster om vinteren vil føre til at regn og snøsmelting vil renne av på is og snø. Dette vil føre til økte avrenningstopper. På grunn av at infiltrasjonsskapasitet både til avløpsnettet og i bakken er sterkt redusert om vinteren vil dette føre til store urbane flommer (Vevatne et al., 2007).

- Høyere sannsynlighet for forurensning

Med økt nedbør og avrenning øker risikoen for høyere NOM verdier (Aaheim et al., 2009) og høyere antall mikroorganismer i nedbørfelt (Vevatne et al., 2007) (Hunter, 2003) og andre problemer knyttet til forurensning.

- Nye dyrearter vil komme til å oppholde seg i nedbørfelt og på drikkevannskilde

Nye arter (eller mer nærvær av eksisterende arter) vil oppholde seg i nedbørfelt for drikkevann på grunn av varmere klima og mindre islegging av innsjøer om vinteren (Zwolsman et al., 2007) Det biologiske mangfoldet for dyr og planter vil endre seg (Vevatne et al., 2007). Risiko for mikrobiologisk forurensning av drikkevannskilder vil øke. (Hunter, 2003).

- Utvidelse av myrer

Mer nedbør og et våtere klima vil øke utvidelsen av myrer. Det biologiske mangfoldet blant planter og dyr vil forandre seg i henhold til endrede levekår for dyr, planter, insekter og trær i slike områder (Zwolsman et al., 2007).

Følgende forhold er viktige når det gjelder **nedbørfelt til grunnvannskilde**:

- Mer forurensning og mikrobiologisk aktivitet

Økt nedbør og avrenning sammen med nærvær av flere dyr øker risikoen for forurensning og økt andel av mikroorganismer i nedbørfelt (Vevatne et al., 2007) (Hunter, 2003). Flommer øker risikoen for tilførsel av forurensning til grunnvannskilders nedbørsfelt (Hetzel, 2008).

- Større avrenningstopper

På grunn av høyere regnintensitet vil avrenningstoppene i nedbørfelt bli større. På grunn av dette vil infiltrasjon til bakken minske fordi infiltrasjonskapasiteten til jorda overskrides under regn med høy intensitet (Lindholm et al., 2003) (Alfnes og Frøland, 2006) (Benestad og Hanssen-Bauser, 2009) (Mamen og Iden, 2010)

Følgende forhold er viktig for **overflatekilder**:

- Høyere sannsynlighet for mikroorganismer i kilde

Risikoen for mikroorganismer i kilden, inkludert parasitter, er større på grunn av økt avrenning fra nedbørfelt (Hunter, 2003). Om vinteren vil mer vann renne fra nedbørfelt til kilde på grunn av snøsmelting og mindre islegging, og øke risikoen for mikrobiell forurensning (Vevatne et al., 2007).

- Økt fordampning

Fordampning av overflatevann vil øke på grunn av høyere temperaturer (Nie et al., 2009), men vil ikke ha like stor effekt i Norge som i sørligere deler av Europa.

- Fullere reservoar

Mer nedbør fører til at overflatereservoarene blir fullere og kan utsette behov for å finne nye vannkilder med 40-50 år (Vevatne et al., 2007) Fullere reservoar kan føre til oftere flommer av omkringliggende områder og at det dermed lettere tilføres kilden forurensning.

- Høyere NOM-verdier i kilden

NOM er en forkortelse for Naturlig Organisk Materiale (eng. Natural Organic Matter) og består bl.a. av humus. En økning i farge (som er en av effektene av økt NOM) har blitt observert i overflatekilder de siste årene (Nie et al., 2009) (Vevatne et al., 2007). Det er forventet at disse verdiene vil øke grunnet mer nedbør, mer avrenning og høyere temperaturer. Det er også observert at intense regn kan gi en rask økning i fargetall og NOM i overflatekilder (Vevatne et al., 2007).

- Redusert islegging av kilder

Det varmere klimaet vil utsette eller helt eliminere at innsjøer fryser til. Dette vil øke sirkulasjonsperioden for innsjøene og resultere i kortere varighet av stabile lag i reservoarene (Nie et al., 2009). Kraftigere vind om vinteren vil ytterligere øke sirkulasjonen og innblanding av overflatevann i de dypere lagene av innsjøene. Dette vil redusere effekten av dypvannsinntak som en hygienisk barriere (Tjomsland og Rohrlack, 2008) (Vevatne et al., 2007). Mindre is om vinteren vil føre til blomstring av alger (på grunn av økt lystilgang) og større nærvær av mikrobakteriell forurensning om vinteren (Vevatne et al., 2007).

- Lengre sirkulasjonsperioder

Utsatt eller manglende islegging av innsjøer sammen med økt vind kan gjøre sirkulasjonsperiodene lengre, og hele vinteren kan bli en sirkulasjonsperiode. Det vil bli mer og lengre innblanding av overflatevann og vann fra elver i de dypeste lagene av innsjøer (Vevatne et al., 2007).

- Flere fugler, økt overvintring blant artene og nye arter kan oppholde seg i og nært kildene

Det nye klimaet gjør at andre typer dyr kan oppholde seg i og ved drikkevannskildene. Det vil bli flere fugler og dyr som vil oppholde seg der i lengre perioder av året grunnet mindre islegging (Vevatne et al., 2007). Dette vil øke risikoen for mikrobiell forurensning av vannkildene.

- Økt sirkulasjon i kildene grunnet mer vind

Kraftigere vind vil føre til at det bli mer sirkulasjon i kildene og mer innblanding av overflatevann i de dypere lagene av innsjøene. Stabiliteten av lagene i kildene vil minske, sirkulasjonen vil skje forttere, oftere og over lengre perioder. Den hygieniske barrieren som lagene tidligere har representert vil forsvinne, og dermed vil risiko for forurensning av drikkevannet øke (Vevatne et al., 2007).

- Varmere vann i sommerperioder

Varmere temperatur vil føre til varmere vann i kildene om sommere. Om sommeren kan det derfor bli økt vekst av blågrønn alger, bakterier og patogene organismer (Aaheim et al., 2009) (Vevatne et al., 2007). Oksygenbehovet vil bli større i dypt av kildene som kan føre til økte problemer med jern og mangan (Vevatne et al., 2007). Om vinteren derimot, kan vannet være kaldere grunnet økt snøsmelting.

Følgende forhold er viktige når det gjelder nedbørsfelt og **grunnvannskilder**:

- Høyere sannsynlighet for mikroorganismer

Det er en høyere sannsynlighet for mikroorganismer i grunnvannskilder på grunn av økt avrenning fra nedbørsfelt og høyere nærvær av dyr og fugler (Vevatne et al., 2007) (Hunter, 2003).

- Endret grunnvannsspeil

På grunn av det endrete nedbørsmønsteret vil grunnvannspeilet kunne øke eller synke. I fuktige områder kan grunnvannspeilet synke på grunn av at regn med høy intensitet kan føre til at infiltrasjonskapasiteten til jorda overgås, som resulterer i at mer av regnet renner av på overflaten i stedet for å infiltrere (Hetzel, 2008). På grunn av økning i total nedbør vil det likevel oppleves at grunnvannspeilet heves mange steder.

- Salinitetsproblemer i kystområder

Projisert havnivåstigning kombinert med stort uttak av grunnvann i kystområder vil heve risikoen for salinitetsproblemer i grunnvannet (Hetzel, 2008).

- Grunnvannskvalitet kan endres

Vannkvaliteten i grunnvannsbrønner er avhengig av karakteristikken av landområdet for infiltrasjon og karakteristikken på jorda i bakken. Disse kan endres på grunn av klimaforandringene og kan dermed på påvirke råvannskvaliteten (Hetzel, 2008). Utvidelsen myrer kan for eksempel endre grunnvannskvaliteten i mange områder (Zwolsman et al., 2007).

- Begrenset vannforsyning i perioder med katastrofer og nødstilfeller

Hvis grunnvannspeilet senkes vil dette kunne gjøre grunnvannsbrønner ubrukelige eller forurensset. Slike brønner kan også forurenses av flommer (Hetzel, 2008).

Delsystem 2: Drikkevannssystemet

Følgende forhold er viktige når det gjelder **inntaket av råvann**:

- Økt sannsynlighet for forurensning og mikroorganismer ved inntakspunkt

Mindre islegging, mer vind, mer avrenning og større nærvær av dyr i nedbørsfelt er alle faktorer som sammen øker faren for at forurensning og mikroorganismer, slik som patogener, skal komme til inntakspunktet for drikkevann i dype innsjøer og følge vannet inn til renseanlegg (Vevatne et al., 2007).

- Redusert effekt av dypvannsinntak som hygienisk barriere

Redusert og manglende islegging av innsjøer sammen med sterkere vind øker sirkulasjonen og øker lengden på sirkulasjonsperiodene. Dette vil redusere lagdelingen i innsjøene, spesielt om vinteren, og vil gi en redusert effekt av dypvannsinntak som en hygienisk barriere (Vevatne et al., 2007).

Følgende forhold er viktige når det gjelder **vannbehandling**:

- Generelt dårligere råvannskvalitet

Råvannskvaliteten vil bli generelt dårligere med høyere NOM, lavere oksygenmetning, økt innhold av næringssalter, mer alger, mer mikrobiologisk aktivitet, økt oksygenbehov, mer miljøgifter, økte problemer med lukt og smak og økt risiko for saltvannsinntrenging og forurensing av grunnvann (Hunter, 2003) (Vevatne et al., 2007) (Aaheim et al., 2009) (Albert, 2008). Dette vil skape problemer for renseanleggene som må tilpasse renseprosessene for å håndtere den nye situasjonen.

- Store sesongpregede variasjoner i råvannskvalitet skaper driftsproblemer for RA

Ekstreme hendelser, slik som flommer, vil straks påvirke drikkevannskildene (Slavik og Uhl, 2009). Vannmassene utsettes for sesongvarierte vær som resulterer i store sesongvariasjoner i råvannskvalitet (Delpla et al., 2009). Disse variasjonene gjør det vanskelig for driftspersonell å forutsi nødvendige kjemikaliedoser og kan gjøre det vanskelig å få til en god og stabil vannkvalitet ut fra vannbehandlingsanlegg.

- Høyere nivå av NOM i råvannet

Undersøkelser viser at det har vært en sterk økning av farge i kilder rundt Oslo de siste årene (Wold, 2007). Dette fører også til høyere NOM-verdier som renseanleggene må håndtere.

- Økt sannsynlighet for mikroorganismer, inkludert parasitter, i råvannet

Mer nedbør og avrenning, varmere klima, mindre islegging, mer vind og et større nærvær av dyr og fugler fører til at renseanleggene må forholde seg til en større risiko for mikroorganismer i drikkevannskildene (Hunter, 2003) (Vevatne et al., 2007) (Aaheim et al., 2009).

- Mer alger og miljøgifter i råvannet

Varmere klima, mer nedbør, mer avrenning, større nærvær av næringssalter og større belastning på avløpssystemet fører til større nærvær av alger og alge gifter i drikkevannskildene (Albert, 2008) (Hunter, 2003) (Aaheim et al., 2009). Høyere vanntemperatur og økt innhold av næringssalter vil forsterke veksten av alger i reservoarene (Hunter, 2003) (Albert, 2008) (Maier og Dandy, 1997) (Jacoby et al., 2000) (Saker og Griffiths, 2001). Problemer relatert til algeblomstring er forsterket lukt og smak og algegifter i vannet (Albert, 2008).

- Behov for forbedret vannbehandling av grunnvann

Vannkvaliteten i grunnvannsbrønner er avhengig av karakteristikken av landområdet for infiltrasjon og karakteristikken på jorda i bakken. Disse kan endres på grunn av klimaforandringene og kan dermed påvirke råvannskvaliteten (Hetzl, 2008). Vannbehandling av grunnvann må derfor tilpasse seg den endrede vannkvaliteten.

- Økt NOM, alger etc. vil føre til økt forbruk av kjemikalier i renseanlegget

Økt fargetall og NOM-innhold i råvann fører til at man må øke koagulantdosene ved kjemiske renseanlegg.

- Økt NOM, alger etc. vil føre til økt produksjon av slam i renseanlegget

Økt fargetall og NOM etc. i råvann fører til at man må øke kjemikaliedoser (eks. koagulant) som fører til kortere filtersykluser og større slamproduksjon.

Følgende forhold er viktig når det gjelder **ledningsnett**:

- Økt sannsynlighet for infiltrasjon av forurenset avløpsvann eller grunnvann

Underkapasitet i avløpssystemet kan medføre trykk i systemet og økt utlekking fra avløpsledninger (Vevatne et al., 2007). Noen steder vil grunnvannsspeilet heves på grunn av økt total nedbør. Disse faktorene vil øke sannsynligheten for innlekking av forurenset avløpsvann eller grunnvann til overføringsledninger.

- Økt sannsynlighet for vekst av biofilm i ledninger

Risikoen for vekst av biofilm i ledninger øker på grunn av høyere NOM-verdier i råvannet (hvis NOM ikke fjernes tilstrekkelig i vannbehandling), som vil fungere som mat for mikroorganismer. Økt vanntemperatur om sommeren kan også føre til økt vekst av biofilm i ledningene (Bruaset, 2008) (Hunter, 2003).

- Økt sannsynlighet for ledningsbrudd på grunn av jordras

En økning av antall kraftige nedbørshendelser kombinert med bratt terreng gir generelt økt risiko for jordras (Holvik, 2010). Det er observert hendelser hvor kraftig nedbør har resultert i jordras med ulykker (Roald, 2008). Slike hendelser kan også føre til skader på ledningene som ligger i bakken.

- Økt sannsynlighet for utvendig korrosjon av ledninger

Det er økt sannsynlighet for ytre korrosjon av ledninger av metall fordi ledningene vil komme oftere i kontakt med grunnvannet der hvor grunnvannsspeilet vil heves, og på grunn av en økende surhetsgrad i bakken (Vevatne et al., 2007).

- Økt sannsynlighet for ledningsbrudd på grunn av oftere fryse-tine sykluser

På grunn av mer varierende temperaturer om vinteren vil det forekomme oftere fryse-tine sykluser som kan gi større belastninger for ledningene på grunn av bevegelser i bakken. Dette kan øke bruddraten for ledningene (Vevatne et al., 2007). Det er observert at en økt frekvens av fryse-tine sykluser kan føre til økt bruddrate av vannledninger i visse problemområder (Vevatne et al., 2007).

Følgende forhold er viktig når det gjelder **lagringskapasitet i nettet (høydebasseng)**:

- Basseng for lagring av vann

Basseng for lagring av vann er bygget med den hensikt å jevne ut forskjellen i det daglige og timemessige forbruket av vann, for lagring av vann til bruk i nødsituasjoner (eks. brudd av overføringsledning) og for vann til bruk av brannsløkking. Det endrede nedbørmønsteret på grunn av klimaendringer vil påvirke hvor mye vannressurser som til enhver tid er tilgjengelig. Mye regn vil falle på kort tid, mens det kan gå lengre perioder hvor det ikke regner noe, og dette vil tære på vannressursene (Holvik, 2010). I slike perioder høydebasseng kunne gå tomme.

Følgende forhold er viktig når det gjelder **pumpestasjoner og nødstrømsaggregat**:

- Større sannsynlighet for pumpestopp grunnet strømstans.

Mere ekstremt vær øker risikoen for strømstans. Sannsynligheten for at pumper skal stoppe blir derfor høyere (Vevatne et al., 2007).

Delsystem 3: Avløpssystemet

Følgende forhold er viktige når det gjelder **ledningsnett**:

- Tilbakestrømning av sjøvann til avløpsnett på grunn av havnivåstigning

Den forventede havnivåstigningen i Norge (Holvik, 2010) (Drange et al., 2007) vil kunne føre til tilbakestrømning av sjøvann inn i lavtliggende overløp og pumpestasjoner. Dette vil kunne føre til kjelleroversvømmelser oppstrøms for overløp/pumpestasjon, og skader på bygninger og infrastruktur (Vevatne et al., 2007).

- Underkapasitet på avløpsnett

Mer regn, mer avrenning og mer snøsmelting om vinteren vil resultere i at fellessystemene i avløpsnett blir fullere og trykksettes oftere. Dette vil føre til under kapasitet i avløpsnett. Om vinteren vil regn oftere falle på frossen grunn og avrenningen vil da mange ganger overgå den mengden vann som fellessystemene er dimensjonert for. Dette vil føre til flomskader på bygninger, kjellere og infrastruktur (Vevatne et al., 2007).

- Økt lekkasje fra felles avløpsnett på grunn av økt trykk i nettet

Tilbakestrømning av sjøvann og underkapasitet i avløpsnett vil føre til økte lekkasjer.

- Økt sannsynlighet for urbane flommer fra fellessystemene

Økt regnintensitet og mere snøsmelting kombinert med økt befolkningstetthet i byene øker risikoen for urbane flommer (Vevatne et al., 2007).

- Økt forurensing på urbane flater og i urbane vassdrag

På grunn av underkapasitet i fellessystemene og større sannsynlighet for tilstoppinger og tilbakestrømning av avløpsvann vil det forekomme mer forurensning på urbane flater og i urbane vassdrag. Studier indikerer at utslipp fra overløp vil kunne mer enn dobles inntil midten av århundret hvis ikke det settes inn mottiltak (Semadeni-Davies et al., 2006) (Madsen, 2007) (Vevatne et al., 2007).

- Økt sannsynlighet for kjelleroversvømmelser

Økt underkapasitet i fellessystemene og større sannsynlighet for tilstoppinger og tilbakestrømning av avløpsvann vil øke sannsynligheten for kjelleroversvømmelser (Vevatne et al., 2007).

- Økt sannsynlighet for ledningsbrudd på grunn av oftere fryse-tine sykluser

På grunn av mer varierende temperaturer om vinteren vil det forekomme oftere fryse-tine sykluser som vil føre til oftere og større belastninger for ledningene på grunn av bevegelser i bakken. Dette kan øke bruddraten for ledningene (Vevatne et al., 2007).

- Økt sannsynlighet for ledningsbrudd på grunn av jordras

En økning av antall kraftige nedbørshendelser i bratt terreng gir økt sannsynlighet for jordras (Holvik, 2010). Slike hendelser kan også føre til skader på ledningene som ligger i bakken.

Følgende forhold er viktige når det gjelder **renseanlegg**:

- Redusert hydraulisk oppholdstid for avløpsvann i renseanlegg

Økte mengder med avløpsvann inn til renseanlegg vil føre til redusert hydraulisk oppholdstid for behandling og vil derfor redusere behandlingens effektivitet (Vevatne et al., 2007). Dette kan føre til mere direkte tilførsel av urensset avløpsvann fra renseanlegg til kilde og redusert kvalitet av renset avløpsvann.

- Økt bruk av kjemikalier

I anlegg som har kjemisk avløpsrensing vil de økte avløpsmengdene fra fellessystemer føre til økt forbruk av kjemikalier i renseprosessene.

- Redusert effektivitet av behandling på grunn redusert vanntemperatur om vinteren

Økt snøsmelting om vinteren vil føre til kaldere avløpsvann. Dette vil påvirke renseprosessene slik at de går saktere.

Følgende forhold er viktige når det gjelder **overløp og lagringskapasitet**:

- Oftere drift av overløp på grunn av økte avløpsmengder

Økte nedbørsmengder og avrenning fører til at fellessystemene oftere får underkapasitet slik at overløpene går i drift. Tilbakestrømning av avløpsvann inn i avløpsnettet er også med på å øke overløps driften (Vevatne et al., 2007).

- Økt snøsmelting fører til økt drift av overløp om vinteren

Hyppige endringer mellom kald og mild temperatur om vinteren fører til at regn ofte faller på frossen mark og fører til store mengder med avrenning. Vannmengdene vil overgå det som avløpsnettet er dimensjonert for og føre til økt drift av overløpene i fellessystemer (Vevatne et al., 2007).

- Havnivåstigning vil føre til økt utslipp fra overløp

Det økende sjønivået vil føre til tilbakestrømning av sjøvann inn i avløpsnettet og økte utslipp av avløpsvann via overløp.

Følgende forhold er viktige når det gjelder **pumpestasjoner og nødstrømsaggregat**:

- Havnivåstigning vil føre til problemer for lavtliggende pumpestasjoner

Havnivåstigning vil føre til tilbakestrømning av sjøvann inn i avløpsnettet og resultere i økt utslipp av avløpsvann via overløp i pumpestasjoner når lagringskapasitet i pumpesump overgås.

- Økte energikostnader

Det økende sjønivået pluss mer nedbør, avrenning og snøsmelting vil føre til mer vann i avløpsnettet og resultere i økte utgifter for pumping av sjøvann og overvann.

- Større sannsynlighet for pumpestopp grunnet strømstans

Mer ekstremt vær øker risikoen for strømstans som vil på virke driften av pumpestasjoner. Sannsynligheten for at pumper skal stoppe blir derfor høyere (Vevatne et al., 2007). Effekten av dette er mer direkte utslipp av avløpsvann til resipient.

Følgende forhold er viktige når det gjelder **lagring**:

- Kapasitet vil overskrides

Endret nedbørsmønster vil føre til at store mengder med vann vil komme over korte perioder som vil føre til at lagringskapasitet i avløpsnettet oftere vil overskrides. Dette vil igjen føre til overløpsutslipp og flommer.

Følgende forhold er viktige når det gjelder **dyputslipp fra renseanlegg**:

- Havnivåstigning vil kunne øke overløpsdriften

Med økt havnivå vil overløp som ligger nær sjøen oftere være i drift.

Delsystem 4: Overvannssystemet

Følgende forhold er viktige når det gjelder **ledningsnett**:

- Underkapasitet på overvannsnett

Mer regn, mer avrenning og mer snøsmelting om vinteren vil resultere i underkapasitet ved at overvannsnett blir fullere og trykkesetter oftere. Om vinteren vil regn oftere falle på frossen grunn og avrenningen vil da kunne overgå den mengden vann som overvannssystemene er dimensjonert for. Dette vil føre til flom på urbane flater og skader på bygninger og infrastruktur.

- Økt sannsynlighet for ledningsbrudd på grunn av oftere fryse-tine sykluser

På grunn av mer varierende temperaturer om vinteren vil det forekomme oftere fryse-tine sykluser som vil føre til oftere og større belastninger for ledningene på grunn av bevegelser i bakken. Dette kan øke bruddraten for ledningene (Vevatne et al., 2007).

- Økt sannsynlighet for ledningsbrudd på grunn av jordras

En økning av antall kraftige nedbørshendelser i bratt terreng gir økt sannsynlighet for jordras (Holvik, 2010). Slike hendelser kan også føre til skader på ledningene som ligger i bakken.

- Økt lekkasje fra overvannsnett på grunn av økt trykk i nettet

Mer nedbør og avrenning vil føre til at overvannssystemene kan gå fulle og trykkesetter (Vevatne et al., 2007). Trykkgradienten i ledningene vil da føre til økte lekkasjer.

Følgende forhold er viktige når det gjelder **infiltrasjonssystem for overvann**:

- Frost om vinteren hindrer infiltrasjon

Hyppige endringer mellom kald og mild temperatur om vinteren fører til at regn ofte faller på frossen mark når det ikke er mulig for vann å infiltrere. Dette vil kunne føre til flommer (Vevatne et al., 2007).

- Infiltrasjonskapasitet vil overgå

Økt variasjon i nedbørsmønsteret vil kunne minske mengden med infiltrasjon i fuktige områder fordi regn med høy intensitet vil forekomme oftere og føre til at overflateavrenningen øker (Hetzel, 2008).

Følgende forhold er viktige når det gjelder **rensedammer**:

- Redusert hydraulisk oppholdstid

Lokal overvannsrensing vil få redusert effektivitet under sterke nedbørsepisoder på grunn av redusert hydraulisk oppholdstid i reseddammer etc. Dette vil skje oftere på grunn av økt grad av nedbør med høy intensitet (Holvik, 2010).

- Følgende forhold er viktige når det gjelder **pumpestasjoner og nødstrømsaggregat**: Økte energikostnader

Det økende sjønivået pluss mer nedbør, avrenning og snøsmelting vil føre til mer vann i overvannsnett og resultere i økte utgifter for pumping av overvann.

- Større sannsynlighet for pumpestopp grunnet strømstans

Mer ekstremt vær øker risikoen for strømstans som vil på virke driften av pumpestasjoner. Risikoen for at pumper skal stoppe blir derfor høyere (Vevatne et al., 2007). I visse tilfeller vil effekten av en strømstans være flom og kjelleroversvømmelser etc.

Delsystem 5: Resipient

- Økt direkte utslipp fra avløpsrenseanlegg

På grunn av økte vannmengder inn til renseanlegg for fellessystemer (på grunn av økt nedbør og avrenning, økt snøsmelting og økt sjøvannsnivå), vil kapasiteten til renseanlegg kunne overskrides og urensset avløpsvann gå direkte til resipient. Redusert hydraulisk oppholdstid i renseanlegg under slike nedbørhendelser vil også påvirke kvaliteten på rensset avløpsvann negativt.

- Ofte drift av overløp på grunn av økt nedbør og avrenning

Økte mengder med nedbør og avrenning, mer snøsmelting og høyere havnivå vil føre til hyppigere drift av overløp med utslipp av avløpsvann (Vevatne et al., 2007). Dette vil påvirke vannkvaliteten i resipienter.

- Økt snøsmelting om vinteren fører til økt drift av overløp om vinteren

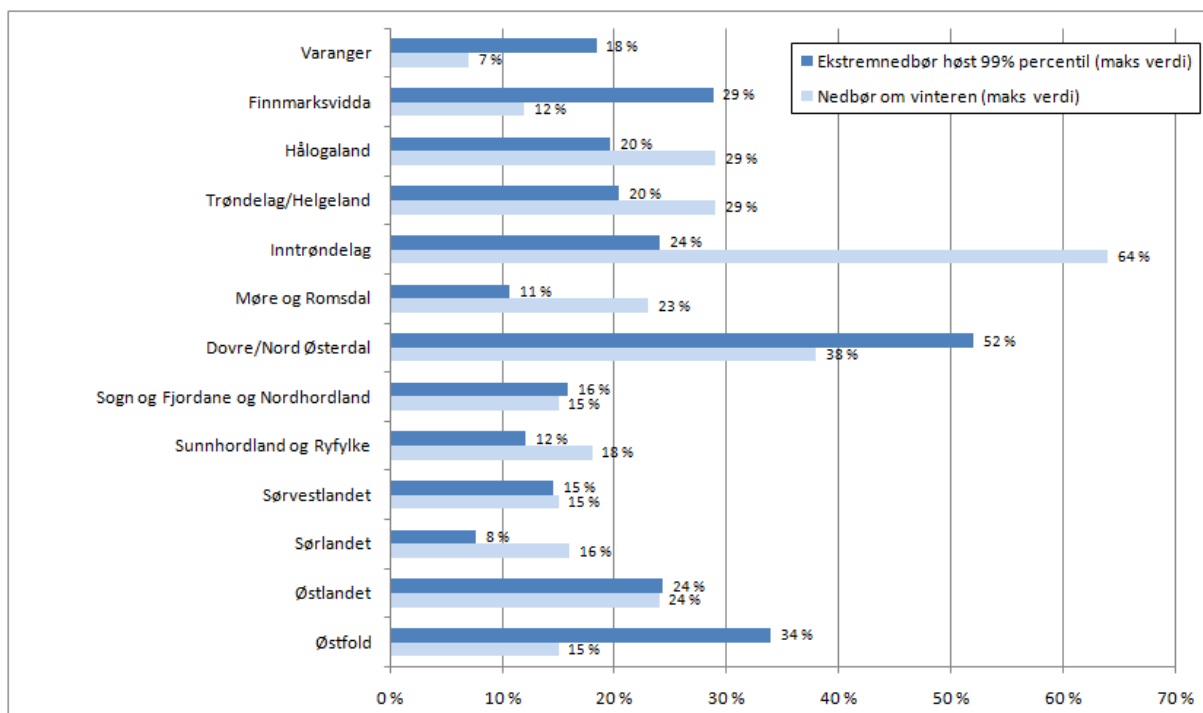
Hyppigere regn på frossen mark på grunn av temperaturendringer vil føre til mer avrenning og kapasitetsproblemer avløpsnett. Dermed er det mulighet for oftere drift av overløpene og mer utslipp av avløpsvann om vinteren, som igjen vil påvirke vannkvaliteten i resipientene (Vevatne et al., 2007).

- Mer forurensning i resipienter via overvannet

Mer nedbør vil føre til økt avrenning fra alle flater som dermed vil inneholde mer forurensning fra bakken. Dette inkluderer miljøgifter som tungmetaller, PAH, PCB etc, og vil påvirke vannkvaliteten i resipienter.

Regionale variasjoner

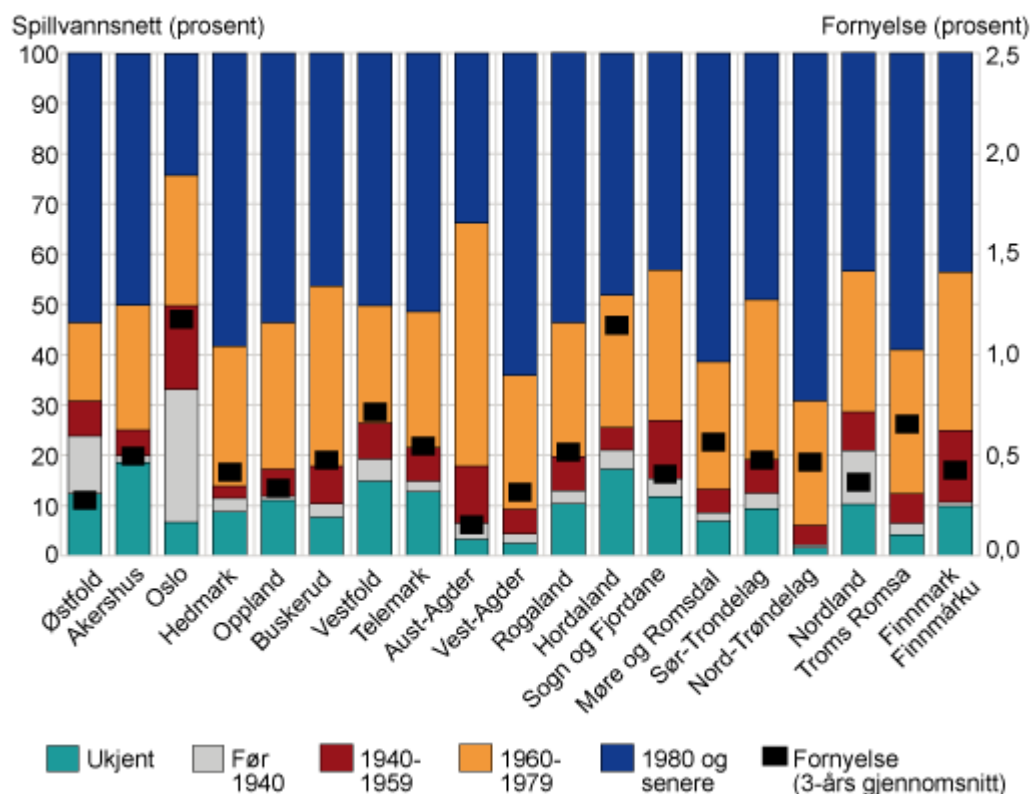
Endringer i nedbør generelt og ekstremnedbør er viktige nøkkelfaktorer i å bestemme den naturlige sårbarheten for VA-sektoren. Figuren under viser de klimamodellene som gir størst forventet økning for de valgte klimaparametrene, der vi ser at *alle* regioner kan vente seg til dels stor økning – både i vinternedbør og ekstremnedbør om høsten. Sør- og Vestlandet kan forvente seg prosentvis *minst* økning.



Figur 32 Forventede endringer i nedbør fra mot 2050 ifht perioden 1960-1991 (klimamodellene som gir størst forventet økning)

Alder på og fornyelse av avløpsnett er en nøkkelindikator for den samfunnsøkonomiske sårbarheten for avløp. Figuren under er produsert av SSB på basis av KOSTRA tall, og kan dermed produseres for enkeltkommuner også. Kommuner som i perioden 2007-2009 fornyet *mest*, var Oslo (1,16 %), kommuner i Hordaland (1,13 %) og Vestfold (0,70 %). Kommunene som fornyet *minst* ligger i Vest-Agder (0,30 %), Østfold (0,26 %) og Aust-Agder (0,14 %). Prosentvis fornyelse sier ikke nødvendigvis hvilket fylke som er "flinkest i klassen", men må ses i sammenheng med det faktiske behovet for fornyelse.

Kommunene i Akershus og Rogaland har lengst avløpsnett, mens Nordland har høyest andel fellessystem. Oslo og kommunene i Aust-Agder har det eldste avløpsnettet mens kommunene i Nord-Trøndelag, Møre og Romsdal og Vest-Agder har det nyeste avløpsnettet.



Figur 33 Spillvannsnett fordelt på periode og andel fornyet spillvannsnett, gjennomsnitt for tre siste år¹⁷

Lokale sårbarhetsanalyser i utvalgte eksempelkommuner

Vi har tatt for oss i alt seks eksempelkommuner og lagt til grunn de klimascenarioene som er gjengitt i delrapport 2. Tabellen under gjenspeiler eksempelkommunenes totale forventede middelendring i temperatur og nedbør innen 2050. Temperaturøkningen ligger på +/- 2 %, men kommunene Fredrikstad, Lyngen og Tromsø kan vente seg de største prosentvise endringene. For nedbør er forskjellen mellom kommunene mye større. Største utfordringer blir det for Melhus med en forventet nedbørsøkning på rundt 15 %. I Bergen forventes 9 % økning, noe som utgjør rundt 0,5 mm nedbør per dag, eller 182 mm nedbør ekstra per år. Dette vil gi Bergen nye utfordringer med hensyn på overvann og flommer.

Tabell 19: Forventet middel temperatur- og nedbørsendring over året i 2050 i eksempelkommunene, gjennomsnittsverdier, min og maks av de 4 modellene som er brukt i simuleringene. Antall Fryse-tine-perioder og Havnivåstigning (endring i cm av gjennomsnitt og stormflo)

Kommune	Temperaturøkning (%) Gjennomsnitt [min, maks]	Nedbørsøkning (%) Gjennomsnitt [min, maks]	Fryse-tine- perioder (antall) Gjennomsnitt	Havnivåstigning (cm) Gjennomsnitt og Stormflo for 2050
Fredrikstad	2,4 [1,8 , 2,8]	5 [-2 , 13]	-5	13 , 156
Bergen	1,8 [1,1 , 2,5]	8 [3 , 14]	-4	22 , 179
Voss	1,9 [1,3 , 2,5]	12 [8 , 14]	4	Ikke relevant
Melhus	1,9 [1,1 , 2,7]	15 [10 , 19]	0	8 , 261
Lyngen	2,5 [1,6 , 3,3]	12 [5 , 17]	4-5	14 , 237
Tromsø	2,5 [1,6 , 3,4]	11 [3 , 15]	-0,5	14 , 237

¹⁷ http://www.ssb.no/var_kostr/fig-2010-06-25-01.html

Sammendrag av vurdering av sårbarheten i eksempelkommunene

Kommunene Fredrikstad, Bergen, Voss, Melhus og Lyngen svarte på et intervju som ble utført av SINTEF Byggforsk hvor spørsmålene handlet om VA-systemet, klimasårbarhet, tilpasning til klimaendringer og utfordringer. Ut fra disse intervjuene har vi hentet informasjonen som gjengis i det videre. Tabellen under viser en oversikt over kommunenes VA-systemer. I det etterfølgende holdes informasjonen i tabellen opp mot den generelle analysen av sårbarhet for VA-systemer gjengitt over for på den måten å gi en ytterligere konkretisering av de mest sårbare elementene for de forventede effekter av klimaendringer. Det understrekes at dette er gjort på generelt grunnlag, og at analysen derfor er grov.

Tabell 20: Status i eksempelkommunenes VA-system

Delsystem	Sårbarhetstema	Lyngen	Melhus	Bergen	Voss	Fredrikstad
Nedbørfelt	Overflatekilde	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
	Grunnvannskilde	Nei	Ja	Nei	Ja	Nei
	Grunnvannskilde ved kyst	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Drikkevannssystemet	Vannbehandling: NOM behandling?	Nei	Ja	Ja	Nei	Ja
	Vannbehandling: UV behandling?	Ja	Nei	Ja	Ja	Ja
	Ledningsnett: Mye stål/støpejern?	Nei	Nei	Ja	Ja	Ja
	Ledningsnett: Mye plast?	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
	God lagringskapasitet i ledningssystemet (høydebasseng)?	Ja	Nei	Ja	Ja	Ja
	Nøddaggregat på pumpestasjoner?	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
Avløpssystemet	Ledningssystem liggende langs kystlinje?	Ja	Nei	Ja	Nei	Ja
	Avskjærende ledning langs kystlinje?	Ja	Nei	Ja	Nei	Ja
	Pumper langs kystlinje?	Ja	Nei	Ja	Nei	Ja
	Overløp langs kystlinje?	Ja	Nei	Ja	Nei	Ja
	Stor andel fellesystem?	Ja	Nei	Ja	Nei	Ja
	Mye problemer med kloakktilstoppinger?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
	Ledninger (mye plastledninger)?	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
	Renseanlegg (stor hydraulisk kapasitet)?	Ja	Nei	Ja	Ja	Nei
	Mye overløpsdrift?	Nei	Nei	Ja	Nei	
	Nøddaggregat på pumpestasjoner?	Nei	Ja	(j/n)	Ja	Nei
	God lagringskapasitet i avløpssystemet (eks fordrøyningsbasseng)?	Nei	Nei	(j/n)	Nei	Nei
Overvannssystemet	Eksisterer infiltrasjons systemer?	Nei	Ja	Ja	Nei	Nei
	Er det god kapasitet i overvannsnett?	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
	Eksisterer lokal overvannshåndtering?	Nei	Ja	Ja	Ja	Ja
	Eksisterer rensedamper for overvann?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
	Nøddaggregat på pumpestasjoner?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Resipient	Elv		X		X	X
	Elvemunning				X	X
	Fjord	X		X	X	
	Innsjø		X		X	
	Kyst	X		X		X

Tromsø

Sett over året blir det nesten ingen endring i antall fryse-tine perioder, men i vintermånedene vil det bli en økning på nesten 4 perioder. Forventet havnivåstigning innen 2050 er moderat, mens mulig stormflo er meget høy. Under slike omstendigheter vil det kunne få konsekvenser for lavtliggende avløpssystemer med for eksempel

tilbakestrømning av sjøvann inn i avløpssystemet med etterfølgende økte forurensningsutslipp, kjelleroversvømmelser og flommer. I Tromsø er det forventet 11 prosent økning av nedbør innen 2050, mens den modellen som gir størst endring i nedbør tilsier 15 prosent økning. Økningen er størst om sommeren, så da forventes mer flommer, økt overløpsdrift og dermed forurensningsutslipp. Summen av økt antall fryse-tineperioder om vinteren og økt vinternedbør tilsier også flere vinterflommer.

Lyngen

Det er forventet en økning på 4-5 fryse-tine perioder i Lyngen, hvor mesteparten av økningen vil forekomme i vintermånedene. Siden Lyngen kommune har en stor andel av plastledninger både i vann- og avløpssystemet kan en mulig konsekvens at gamle plastledninger får økt bruddfrekvens.

Forventet havnivåstigning innen 2050 er identisk med Tromsø sine tall. Lyngen har avløpssystem med avskjærende ledninger, pumper og overløp liggende langs kysten som vil bli utsatt for økt tilbakestrømning av sjøvann på grunn av havnivåstigningen, og da spesielt under stormflo.

Forventet nedbørøkning er også svært lik som for Tromsø, dermed forventes mer flommer, økt overløpsdrift og dermed forurensningsutslipp både sommer og vinter.

Lyngen har overflatekilde som vil føre til at de kan få problemer med økte mengder av NOM og farge i vannet, og økte mengder med mikro organismer i vannet, inkludert patogene organismer. Nye dyrearter og større mengde av dyr vil kunne oppholde seg rundt vannkilden om vinteren og det vil dermed bli en høyere risiko for forurensing av drikkevannet.

Lyngen har ingen drikkevannsbehandling for NOM og vil derfor kunne oppleve at fargen på det ferdigbehandlede drikkevannet kan øke.

Lyngen har ikke nødstrømsaggregat på pumpestasjoner hverken i vann eller avløpssystemet og ved strømbrytning vil derfor pumpene være ute av drift inntil strømmen er tilbake. Lyngen har oppgitt at de ikke har god lagringskapasitet i avløpssystemet og vil derfor være sårbar for økte nedbørsmengder. Økt nedbør og avrenning kan føre til tilbakestrømning av vann i avløpssystemet med påfølgende fare for flom.

Lyngen kommune karakteriserer tilstanden på sitt vann og avløpssystem som middels og klimasårbarheten til systemene som middels. De har ingen merkbare problemer som følge av klimaendringer i dag og har ikke gjort noen vurderinger på hva de framtidige effektene vil være for VA systemet. Det er derfor heller ingen kommunale planer eller retningslinjer om tilpasning til klimaendringer som VA må forholde seg til. Lyngen oppgir som årsak til at klimaframskrivninger eller tiltak ikke har blitt gjennomført eller er planlagt at det ikke har vært satt på dagsorden og ikke er en prioritet.

Melhus

Over året vil antall fryse-tine perioder i Melhus ligge uendret, men med en økning i vintermånedene og en reduksjon om høst og vår. Forventet havnivåstigning innen 2050 er liten, mens mulig stormflo er meget høy. Melhus har lite bebyggelse langs sjøen, men i noen områder vil stormflo få konsekvenser for lavtliggende avløpssystemer.

Melhus har både overflate- og grunnvann som drikkevannskilder. Overflatekilden vil føre til at de kan få problemer med økte mengder av NOM og farge i vannet, og økte mengder med mikro organismer i vannet, inkludert patogene organismer. Nye dyrearter og større mengde av dyr vil kunne oppholde seg rundt vannkilden om vinteren og det vil dermed bli en høyere risiko for forurensing av drikkevannet. Melhus har eksisterende drikkevannsbehandling for NOM og er derfor rustet for å håndtere de økte NOM verdier og den økte fargen som forventes som effekt av klimaendringene. Melhus kommune har derimot ikke UV-behandling av drikkevannet, og under den økte faren for mikrobiologisk forurensning av drikkevannskilder kan dette øke risikoen for at patogene organismer kommer i drikkevannsnettet.

Kommunen har ikke god lagringskapasitet i avløpsnettet som kan føre til økte flommer når nedbøren øker. Dette forventes å bli et problem om sommeren når den forventede økningen i nedbør er størst. På nåværende tidspunkt har de heller ikke mye overløpsdrift slik at de tåler noe økning av regn før de får store problemer med forurensningsutslipp. Melhus har ikke stor hydraulisk kapasitet på avløpsrenseanlegget som kan føre til redusert renseseffekt og økte forurensningsutslipp når nedbør og avrenning øker.

I overvannssystemene i Melhus eksisterer det infiltrasjonssystemer. Disse systemene kan få driftsproblemer på grunn av de forventede klimaendringene. Den økte intensiteten på nedbør vil kunne føre til at

infiltrasjonskapasiteten til infiltrasjonssystemet ofte overgås slik at mesteparten av vannet renner vekk istedenfor å infiltrere. Dette vil kunne føre til oversvømmelser og flommer i de urbane strøkene.

Melhus kommune forvalter VA-systemer til en verdi av ca. 700 millioner NOK, som de selv karakteriserer har tilstanden middels. Melhus er i dag utsatt for økt nedbør og en økning i flommer. Kommunen har gjort vurderinger på oversiktsnivå om hva som vil bli mer eller mindre sårbart som følge av klimaendringer, som innbefatter blant annet at NVE har laget flomsonekart og at kommunen har utarbeidet en klima- og energiplan. Klimasårbarheten til Melhus regnes som middels.

Hvis klimaframskrivningene for Melhus kommune skulle slå til, forventer de at dette vil få følger som oversvømte kummer og mer fremmedvann i pumpestasjoner og renseanlegg for avløp. I kommunen har de blant annet lagt seg til en rutine hvor de dimensjonerer overvannsledninger i henhold til 50-års regn.

Melhus har vedtatt både krav til diverse klimahensyn i reguleringsplanen, ROS-analyse for arealbruk og klimatilpasningsstrategi. Som tiltak for tilpasning til framtidig klima beskriver kommunen at de bygger ut fordrøyningsbasseng og at de dimensjonerer alle overvannsledninger etter 50-års regn. Melhus ser for seg at de to viktigste tiltakene vil være flomsikring og sikringstiltak av kvikkleireforekomster.

For å få gjennomført slike tiltak vil den største hindringen være økonomi siden det er kostbare tiltak og at økt bidrag fra staten dermed vil lette tilpasningen til klimaendringer.

Bergen

En negativ endring i antall fryse-tine perioder vil kunne ha noen positive effekter. Bergen har avskjærende avløpssystem, overløp og pumper langs fjorden og en stor andel av fellessystem. En økning av havnivå og stormflo vil derfor påvirke systemet. Konsekvensene vil kunne bli tilbakestrømning av sjøvann inn gjennom overløp, med påfølgende tilbakestuvning av avløpsvann og kapasitetsproblemer. Økt nedbør og avrenning vil også bidra til å øke disse problemene for Bergen, først og fremst vår og høst hvor økning i nedbør er størst. Bergen har en del overløpsdrift per i dag, og på grunn av at man forventer at overløpsdriften vil øke vil det få konsekvenser for vannkvaliteten i resipient.

Bergen har overflatekilde som vil føre til at de kan få problemer med økte mengder av NOM og farge i vannet, og økte mengder med mikroorganismer i vannet, inkludert patogene organismer. Nye dyrearter og større mengde av dyr vil kunne oppholde seg rundt vannkilden om vinteren og økt fare for forurensing av råvannet. Bergen har allerede drikkevannsbehandling tilpasset NOM og er derfor rustet for å håndtere økte NOM-verdier som forventes som effekt av klimaendringene.

I overvannssystemene i Bergen eksisterer det infiltrasjonssystemer. Den forventede økte intensiteten på nedbør vil kunne føre til at kapasiteten til infiltrasjonssystemet oftere overskrides slik at mesteparten av vannet renner på overflaten i stedet for å infiltrere. Dette vil kunne føre til oversvømmelser og flommer.

Bergen kommune forvalter en VA-systemer til en verdi av ca. 20 milliarder NOK som de selv karakteriserer har tilstanden middels. Kommunen oppgir at Bergen i dag er utsatt for mer nedbør og et stadig økende havnivå. Bergen har vurdert at de største utfordringene med hensyn på klimaendringer er flom i vassdrag, havnivåstigning, behov for økt kapasitet i vannbehandlingsanlegg på grunn av økt NOM i råvann og behov for økt magasinkapasitet på grunn av redusert snølager om vinteren og på grunn av lengre tørre perioder. Vurderingene er utført med bakgrunn i for eksempel forventet havnivåstigning.

Kommunen sier at de har lite konkrete klimaframskrivninger på lokalt nivå bortsett fra for havnivå. Hvis framskrivningene for havnivå slår til innebærer det for Bergen at de må bygge om det lavtliggende avløpssystemet. Bergen har vedtatt egne retningslinjer for overvannshåndtering på bakgrunn av klimaendringer og Vann- og Avløpsetaten har 4 egne korttidsnedbørstasjoner som skal gi grunnlag for justering av IVF-kurver.

Merknad: Gjennom deltakelse i NORADAPT har Bergen tilgang på klimaframskrivninger. Intervjuet kan tyde på at denne informasjonen ikke er godt nok distribuert til relevante fagpersoner i kommunen

Bergen har vedtatt krav i henhold til havnivåstigning i reguleringsplanen, de har utført ROS-analyser for ras, flom og vannstand, og deltar i flere prosjekter slik som MARE, der arbeid med grunnlag for tilpasning til klimaendringer står sentralt. Kommunen oppgir at følgende tiltak for tilpasning til klimaendringer er utført i Bergen:

- Ombygging av lavtliggende avløpssystem er startet opp.
- Separering av fellesavløpssystemet er startet opp.
- Lokal overvannshåndtering benyttes der det er mulig.

Kommunen ser for seg at de to viktigste framtidige tilpasningstiltak er ombygging av hele det lavtliggende avløpssystemet og separering av fellessystemer. I vassdrag er sikring av flomveier det viktigste tiltaket. For å få gjennomført slike tiltak ligger begrensningene i kostnader og kapasitet. For å lette tilpasningen til klimaendringer framholder kommunen tilstrekkelige bevilgninger og rekruttering av kompetente medarbeidere som viktige betingelser.

Voss

En økning i antall fryse-tine perioder vil kunne ha en negativ innvirkning på antall brudd av vann- og avløpsledninger. Voss har grunnvann som drikkevannskilde som dermed ikke vil påvirkes like kraftig av klimaendringer som overflatekildene. Infiltrasjonen av vannet gjennom grunnen vil fjerne mesteparten av NOM i vannet.

Voss har liten andel av fellessystem, lite problemer med kloakktilstopper og lite overløpsdrift.

Lagringskapasiteten i avløpsnett er ikke stor, men siden andel fellessystem er liten vil det ikke få store konsekvenser ved store nedbørsepisoder hvor kapasiteten i avløpsnett overgås. Voss har ikke god kapasitet i overvannsnett som kan føre til oversvømmelser og flommer under kraftig regn, noe som forventes å bli et økende problem hele året unntatt i sommermånedene.

Voss kommune karakteriserer selv tilstanden på VA-systemene som middels. Kommunen oppgir at de alt i dag er utsatt for hyppigere flom og oversvømmelser enn tidligere, men at vannforsyningen er lite utsatt. Siden drikkevannsforsyningen er basert på grunnvann forventer de ingen vesentlige endringer av råvannskvalitet. For avløp forventer Voss mer intens nedbør og hyppigere forekomst av 100-års nedbør. Voss har over flere år systematisk kartlagt avløpsnettets kapasitet og tilstand og bruker det som grunnlag for å forutsi flere flommer og oversvømmelser. På felles avløpsledninger har Voss utført kartlegging og fått oversikt over flaskehalser og behov for tiltak. Klimasarbarhet for vannforsyning vurderes som lav, mens den for avløp vurderes som middels.

Voss kommune er med i prosjektet NorAdapt og er derfra kjent med klimascenario for Voss. Hvis disse klimaframskrivningene skulle slå til forventes det at grunnvannet kan delvis bli forurensset med overflatevann og at det vil bli kapasitetsproblemer på deler av felles avløpsnett. Det forventes også hyppigere overløpsdrift.

Kommunen tar med krav om utredning av overvannshåndtering i reguleringsbestemmelsene i relevante tilfeller. Man må forholde seg til nylig oppdaterte og lagede flomsonekart. De bruker også aktivt NORVAR sin veileder om overvannshåndtering (162/2008) og SFT veileder 2317/2007. I kommuneplanen er det ikke noen bestemmelser VA må forholde seg til.

Voss har vedtatt krav til klimahensyn i reguleringsplanen, de har utført ROS-analyse for arealbruk, og de holder på med å utrede klimatilpasningsstrategi som vil bli basert på resultater fra NorAdapt prosjektet. Kommunen oppgir at følgende tiltak for tilpasning til klimaendringer er utført i Voss:

- Separering av felles system i sentrum
- Utskiftning av gamle elvekryssinger

Kommunen ser for seg at de to viktigste framtidige tiltak er systematisk separering av fellessystemer og riktig dimensjonering av nye overvannsanlegg. For å få gjennomført slike tiltak mener kommunen at det er behov for økning av VA-gebyrene, men at dette kan være en politisk utfordring. For å lette tilpasningen til klimaendringer framholder kommunen at kartlegging av reelle forhold på ledningsnett vil gi mulighet til å utføre tiltak i riktig kost/nytte rekkefølge. Et nøkternt forhold mellom investeringstakt og avgiftsøkning vil også være viktig.

Fredrikstad

En negativ endring i antall fryse-tine perioder vil kunne ha noen positive effekter. Fredrikstad er en av kommunene i Norge som har hatt mest stormfloskader og det kan derfor forventes å bli større problemer for lavtliggende avløpssystemer på grunn av dette.

Fredrikstad har overflatekilde som vil føre til at de kan få problemer med økte mengder av NOM og farge i vannet, og økte mengder med mikroorganismer i vannet, inkludert patogene organismer. Nye dyrearter og større mengde av dyr vil kunne oppholde seg rundt vannkilden om vinteren og det vil dermed økt fare for forurensing av drikkevannet. Fredrikstad har eksisterende drikkevannsbehandling for NOM og er derfor rustet for å håndtere de økte NOM-verdier og den økte fargen som forventes som effekt av klimaendringene.

Fredrikstad har avskjærende avløpssystem, overløp og pumper langs fjorden og en stor andel av fellessystem. En økning av havnivå og stormflo vil derfor påvirke systemet. Konsekvensene vil kunne bli tilbakestrømning av sjøvann inn gjennom overløp med oppstuvning og kapasitetsproblemer som resultat. Økt nedbør og avrenning vil

også bidra til å øke disse problemene for Fredrikstad. Det er ikke så god lagringskapasitet i avløpsnett og dermed fare for overløpsutslipp under kraftige regn, som forventes å øke mest i høstmånedene. Renseanlegg for avløpsvannet har ikke så god hydraulisk kapasitet og vil ha redusert renseeffekt ved kraftig regn.

Fredrikstad kommune forvalter en VA-system til en verdi av 4-5 milliarder NOK, som de selv karakteriserer har tilstanden mellom middels og dårlig. Fredrikstad har derimot fått gjennomslag for store investeringer i neste 20-års periode. I områder med fellessystem oppleves en økning i kjelleroversvømmelser. Oversvømmelse av lavtliggende områder ved havet vil opptre oftere, det vil bli en større mangel på flomveier og økt nedbør vil føre til manglende kapasitet i fellessystemene. Drikkevannskilden Glomma er forventet å bli mer forurenset på grunn av økt andel flommer og økt erosjon. Disse vurderingene er hentet fra deltagelse i Framtidens Byer, prosjektet NorAdapt og interne case-analyser i kommunen med hensyn på sårbarhetssoner for overvann. Klimasårbarheten til Fredrikstad regnes totalt sett som middels.

Hvis klimaframskrivningene som Fredrikstad har hentet ut fra de nevnte prosjekter skulle slå til, vil det føre til økt overløpsdrift og flere kjelleroversvømmelser. Kommunen har vedtatt krav til klimahensyn i reguleringsplanen i forhold til havnivå, men de har ikke utført ROS-analyse for arealbruk eller laget en klimatilpasningsstrategi. Fredrikstad har allerede utført følgende tiltak:

- Utskifting av eldre fellessystem
- Lokal overvannshåndtering

Fredrikstad mener at de to viktigste framtidige tiltakene er utskifting av fellessystem og å ta hensyn til klimaendringer (også rent teknisk) på alle nivåer i plan og byggesaksbehandling. Hindringer for å få gjennomført slike tiltak er at det ikke eksisterer noen egen VA-lov, og hvis det igjen blir fokus på reduserte VA-avgifter. Betingelser som kan lette tilpasningen til klimaendringer er bedre ivaretagelse av VA-temaet på plan- og bygningsområdet, som etter 1997 har utviklet seg i retning av å være ansvarlig søkers ansvar.

Usikkerhet

I tabellene under har vi oppsummert de typene usikkerhet som er omtalt over når det gjelder vurdering av klimasårbarhet.

Tabell 21 Usikkerhetsprofil for vurdering av klimasårbarhet for vann og avløp

Typer usikkerhet	Lokalisering av usikkerheten		
	Klima	Natur	Samfunn
Grunnleggende usikkerhet		Endret forekomst av organismer som kan skade drikkevannskvaliteten	
Modellusikkerhet			
Skalausikkerhet	Fordeling av nedbør	Fordeling av flom, særlig regnflom i mindre vassdrag	Framtidig regional fordeling av utbyggingsmønster
Datausikkerhet	Lokale data om tidligere tilfeller av ekstremnedbør	Behov for lokale undersøkelser av flomfare i de fleste tilfeller	

Konklusjon

Naturlig sårbarhet

Samlet sett regner eksempelkommunene tilstanden til eksisterende VA-systemer som middels god.

Av de spurte eksempelkommunene var det bare en som hadde grunnvann som drikkevannskilde. Resten har overflatekilder (som også er det mest vanlige i Norge) som drikkevannskilde, hvor det forventes økte problemer med NOM (farge) og bakterier og patogener. Det er da viktig at renseanleggene både har UV-bestråling og NOM fjerning i renseprosessen. To av kommunene har ikke fjerning av NOM (farge), og en har ikke UV-behandling. Dette øker risikoen for at patogener skal komme til drikkevannsnett.

Tre av kommunene har mye stål og/eller støpejernsrør i ledningsnett, og vil kunne oppleve økt korrosjon i de neste tiårene på grunn av økt korrosivitet i grunnen. Fire av kommunene har mye plastledninger og vil kunne oppleve økt bruddrate spesielt om vinteren da det generelt er forventet hyppigere fryse-tine perioder. Den generelle bruddraten for drikkevannsnett og avløpsnett vil derfor mest sannsynlig øke i alle norske kommuner i løpet av de neste 50 årene og man må derfor også forvente at reparasjonsraten eller utskiftningsraten må øke.

I fire av fem kommuner er det god lagringskapasitet for drikkevann slik at man har reservevannforsyning i perioder hvor det kan oppstå tørke.

På grunn av den lange norske kystlinjen er det mange kommuner som har avløpssystem langs sjøen. Da det er forventet en generell økning av havnivået langs kysten vil dette få konsekvenser for avskjærende avløpsledninger og pumper langs kystlinjen sammen med andre avløpsanlegg. Fra disse anleggene forventes det økt innlekking av sjøvann, økte forurensningsutslipp og økte problemer med oversvømmelser. I mange norske kystkommuner vil det derfor være behov for å heve de lavtliggende avløpssystemene. Tre av de fem kommunene har også stor andel av fellessystem i avløpsnett som fører til utslipp av avløpsvann via overløp til resipient.

Norske kommuner har generelt en stor andel av fellessystemer, uavhengig av region. Alle kommunene oppgir at de ikke har god lagringskapasitet på avløpsnett, i form av for eksempel fordrøyningsbasseng. På grunn av dette forventes større problemer med flom og oversvømmelser når nedbør og avrenning øker. I overvannsnett derimot, er det bare en kommune som ikke har god kapasitet. Dette viser at det vil få stor effekt av å prioritere separering av fellessystemer i norske kommuner i tiden framover. I to av kommunene eksisterer det infiltrasjonssystemer som står i fare for å få redusert funksjon når nedbørintensitet øker. Dette kan øke faren for flom da avrenningen øker.

To kommuner oppgir at avløpsrenseanlegg har lav hydraulisk kapasitet. Dette vil redusere renseeffekten og resipient vil motta mer forurenset avløpsvann. Det bør jobbes for å bygge store fordrøyningsarealer i slike tilfeller.

Tre av kommunene har elv som resipient, tre har fjord, to har innsjø og tre har kyst (de fleste kommunene har flere typer resipienter). Når forurensningsutslipp fra overløp og renseanlegg øker vil det få størst konsekvens i de resipienter hvor vannmengdene er minst, typisk i elver og innsjøer i forhold til fjord eller kyst. Hvis utslippene øker mye i kommuner hvor resipient er elv eller innsjø kan det etter hvert få store konsekvenser for vannkvaliteten (badekvalitet) hvis det ikke gjøres noe for å redusere problemene.

Samlet sett regnes derfor den naturlige klimasårbarheten i eksempelkommunene som ganske stor.

Samfunnsøkonomisk og Institusjonell sårbarhet

VA-systemene har lang levetid og lang utskiftingstid. Rør som bygges i dag forventes å leve 100-200 år. Det at vi i dag har store problemer med systemer bygd i utvalgte perioder, gjør at lett ser hvilken sårbarhet feil valg i fortiden har påført oss i dag. Vi må tilstrebe å unngå at valg vi gjør i dag ikke får store negative konsekvenser i framtida. Det er derfor viktig å finne riktig kvalitet og riktige løsninger på det som bygges i dag. Dersom man bygger for å tilpasse seg klimaendringer som forventes i framtiden og disse endringene ikke skulle slå til, er skaden først og fremst økonomisk ved at man kan ha bygget anlegg med for høy kvalitet og dermed pris. Dersom man satser på at effektene av endret klima uteblir, risikerer man å påføre framtidige VA-eiere enorme kostnader ved at levetiden på anlegg ikke kan utnyttes fordi de ikke oppfyller endrede funksjonskrav.

Flere av eksempelkommunene nevner den institusjonelle sårbarheten som en utfordring, ved at VA-lov mangler, at det er vanskelig å få tak i gode fagfolk, og lignende.

Transport og transportinfrastruktur

Innledning

I dette kapittelet gjennomgår vi generelle trekk ved klimasårbarheten for veier, veitransport og havner. Vi gir noen overordnede vurderinger av regionale variasjoner i klimasårbarheten og vi presenterer detaljerte analyser for seks casekommuner: Tromsø, Lyngen, Melhus, Bergen, Voss og Fredrikstad. Videre har vi intervjuet informanter ved Statens vegvesens fylkesavdelinger i Troms, Hordaland og Østfold.

Som vist til i delrapport 1 er det gjort et omfattende arbeid når det gjelder analyse av klimasårbarhet for transport. Alt i forbindelse med forrige Nasjonale transportplan ble det gjort en første samlet vurdering (Fjeld mfl, 2002). I forbindelse med gjeldende Nasjonale transportplan (2010-19) ble dette arbeidet tatt opp og en grundigere analyse ble lagt fram (Avinor mfl, 2007). Videre ble det omfattende etatsprosjektet "Klima og transport" startet i regi av Statens vegvesen i 2007 (prosjektet avsluttes første halvår 2011). Og til sist er transport viet en bred omtale i NOU 2010:10 "Tilpassing til eit klima i endring" (her omtalt som "NOU klimatilpassing" (Miljøverndepartementet, 2010). Analysen gjort i forbindelse med den forrige Nasjonale transportplanen (Fjeld mfl, 2002:26) konkluderer med at klimaendringer generelt vil "berøre løpende drift, vedlikehold og beredskap på eksisterende infrastruktur og trafikkavvikling - og konstruksjon og bygging av ny infrastruktur".

De to første arbeidene (Fjeld mfl, 2002; Avinor mfl, 2007) representerer en form for ensidig tilnærming til vurdering av klimasårbarhet, ved at man bare har tatt utgangspunkt i konsekvensene av klimaendringer og sett bort fra endringer i samfunnet. NOU klimatilpassing representerer slik sett et viktig skille ved at det her er lagt stor vekt på å inkludere samfunnsendringer, jf følgende påpekning (NOU 2010:10, side 91):

[Vedlikeholds]Etterslepet representerer eit betydeleg tilpassingsunderskot. Å sette av vesentleg auka ressursar til dette er ein føresetnad for klimatilpassing i sektoren.

I vår delrapport 1 har vi på tilsvarende måte som NOU klimatilpassing lagt stor vekt på å få fram omfang og karakter av dette vedlikeholdsetterslepet og hvordan det påvirker transportsektorens eksponering for klimapåvirkning.

Begge de to overordnede analysene av klimasårbarhet i transportsektoren skiller seg fra våre analyser på ytterligere en viktig måte: De tar utgangspunkt i gjennomsnittsverdier for klimaframskrivninger og underkommunerer variasjonen. I den siste av de to analysene (Avinor mfl, 2007) opererer man med tre ulike klimamodeller og tre ulike utslippsscenarioer, som så er satt sammen til fire datasett (jf , side 2 i vedlegg til Avinor mfl, 2007).

I delrapport 2 har vi presentert kjøringer for de klimaparametrene som vi anser som i størst grad påvirker klimasårbarheten i transportinfrastruktur og offentlig transport. Videre har vi i delrapport 1 omtalt ulike samfunnsmessige endringer som vi anser som mest relevante når det gjelder å bestemme transportsektorens eksponering for klimapåvirkning. Disse er oppsummert i tabellen under.

Tabell 22 Parametre som er antatt å være vesentlig i å bestemme sårbarhet for klimaendringer innen kommunal og fylkeskommunal transportinfrastruktur og transport

Sårbarhetskategorier	Aktuelle parametre
Naturlig	Temperaturrelaterte parametre (alle fordelt på ulike årstider): • Temperatur generelt • Tidlige varmeperioder om våren • Fryse–tine perioder Nedbørsrelaterte parametre (alle fordelt på ulike årstider): • Nedbør generelt • Ekstremnedbør • Snødekke Vind Havnivå Stormflo
Samfunnsøkonomisk	Mobilitet (omfang, type transport, holdninger til framkommelighet, kjøremønster) Vedlikehold i transportinfrastruktur Investering i transportinfrastruktur Lokalisering av transportinfrastruktur
Institusjonell	Lokal kunnskap om tilstand i infrastruktur Styrings- og planleggingssystemer for å sikre infrastruktur mot uønsket klimapåvirkning Beredskapssystemer

I dette kapitlet har vi utelatt én av disse klimaparametrene (tidlige varmeperioder om våren) og organisert temaene innenfor samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet noe annerledes enn i tabellen over. Når det gjelder den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten så er utviklingen i *standard* på veiene, som igjen er bestemt av ressursinnsats til drift og vedlikehold, en nøkkelfaktor. Det såkalte etterslepet i vedlikehold er beregnet til å være 12-26 milliarder kr for kommunale veier (i hhv Schjølberg et al, 2009 og Rådgivende Ingeniørers forening - RIF, 2010) og 10 milliarder kr for fylkeskommunale veier (Statens vegvesen, 2005; Schjølberg et al, 2009). Beregningene av vedlikeholdsetterslep varierer mye, men hovedpoenget er at transportinfrastruktur har et betydelig etterslep i vedlikehold og behov for oppgardering. Denne refleksjonen er også fanget opp i den siste Nasjonal transportplan (Samferdselsdepartementet, 2009), som signaliserer et ønske om å øke innsatsen for å redusere etterslep i vegvedlikeholdet.

Omfanget av transport, og brukernes krav til framkommelighet, er en annen viktig faktor som påvirker den samfunnsøkonomiske sårbarheten. *Omfanget* av person- og godstransport øker stadig. Bare det siste tiåret har omfanget av persontransport på vei målt i personkilometer på vei økt med 13 % i Norge. For godstransport er økningen målt i tonnkilometer enda høyere: 23 %. Bare Italia og Tyskland har et høyere bilhold per innbygger. Norge ligger nå på linje med Finland, Sverige og USA.

Utviklingen i *krav om framkommelighet* er vanskelig å måle, men følgende historie illustrerer utviklingen: Nylig ble det åpnet to tunneler mellom Leikanger og Sogndal; den mest rasutsatte vegstrekningen i Sogn og Fjordane når

man ser omfanget av persontransport og den fysiske risikoen for ras i sammenheng. Da veien i sin tid ble bygget, på begynnelsen av 1950-tallet, ble det sagt at det var ingen som da tenkte på å kjøre strekningen når det var dårlig vær, fordi da visste man at sjansen var der for å bli rammet av ras. Nå – før tunnelene åpnet – var situasjonen motsatt: Da var det ingen som tenkte på *ikke* å kjøre strekningen ved dårlig vær, for fram må man jo! Det er gjort generelt lite utredningsarbeid med hensyn til klimasårbarhet i havneinfrastrukturen, jfr delrapport 1. I følge Havne og farvannsloven av 2010 har kommuner et generelt forvaltningsansvar for trygghet og fremkommelighet i hele kommunens sjøområde, avgrenset til de områder der kommunen har planmyndighet. For havner og sjøtransport inn og ut av havnene er vind, bølger, havnivåstigning og stormflo de avgjørende klimaparametrene. Den samfunnsøkonomiske sårbarheten bestemmes bl.a. av omfang, standard og vedlikehold av havner og moloer og omfang og karakter av skipstrafikk inn og ut av havnene og langs norskekysten. En særlig utfordring knytter seg til en forventet økt havneaktivitet i nordområdene; en endring som kan være en direkte effekt av klimaendringer i form av redusert isdekke i nordområdene og dermed økte muligheter til skipstrafikk i disse områdene.

Regionale variasjoner i sårbarhet for klimaendringer

Under har vi sammenstilt data fra våre egne framskrivinger av klimafaktorer som anses som særlig relevante for transport, der vi har vist maksimums- og minimumsverdiene for de fire klimamodellene vi har brukt. For de *temperaturrelaterte* klimaparametrene ser vi at variasjonsbredden i framskrivingene generelt er størst for Vestlandet, Trøndelag og Nordland/Troms. Det er også i disse landsdelene (og Varanger) vi ser de største endringene samlet sett.

Tabell 23 Regional variasjon i forventede endringer i temperaturparametre fram mot 2050 sammenlignet med perioden 1960-1990

Temperaturregion	Temperatur hele året (grader)		Tidlig varmeperiode om våren (dager > 10 grader i mars-april)		Fryse-tine perioder vinter (hendelser/år)		Ising (dager/år)	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Østlandet	+1,5	+2,5	+12 %	+23 %	+1 %	+4 %	-18 %	-8 %
Vestlandet	+1,2	+2,6	+15 %	+34 %	0 %	+2 %	-24 %	-8 %
Trøndelag	+1,2	+2,7	+13 %	+31 %	+1 %	+3 %	-28 %	-11 %
Nordland/Troms	+1,4	+3,2	+19 %	+45 %	0 %	+1 %	-26 %	-11 %
Finnmarksvidda	+1,9	+3,3	+18 %	+34 %	+1 %	+5 %	+7 %	+18 %
Varanger	+2,0	+3,5	+31 %	+50 %	+3 %	+6 %	-14 %	-5 %

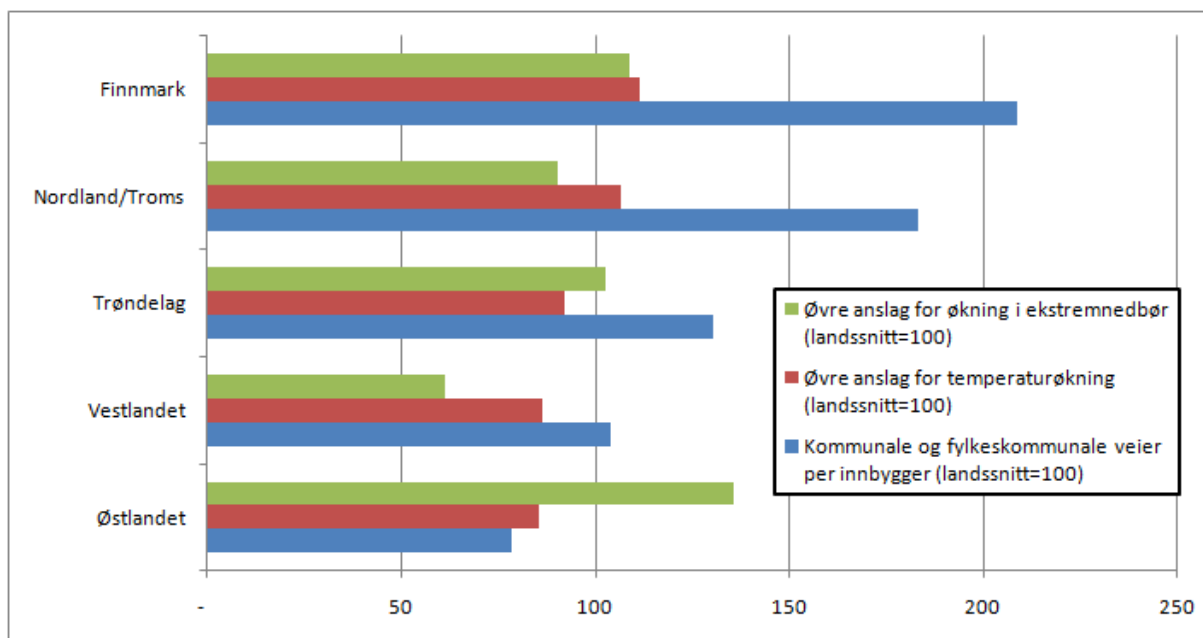
For de nedbørsrelaterte parametrene finner vi at de klart største endringene er i regionene Dovre/Nord-Østerdalen og indre deler av Trøndelag. Det er imidlertid vanskelig å peke på en tydelig geografisk variasjon når det gjelder variasjonsbredden i verdiene; det er for eksempel ikke så enkelt som at variasjonsbredden er størst langs øst-vestaksen i Sør-Norge. Vi finner også eksempler på stor variasjonsbredde på Østlandet og i Nord-Norge.

Tabell 24 Regional variasjon i forventede endringer i nedbørparametre fram mot 2050 sammenlignet med perioden 1960-1990

Nedbørsregion	Nedbør hele året (mm/år)		Ekstremnedbør (99 % prosentil, mm/dag)				Vind hele året (m/s)	
			Vinter		Høst			
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Østfold	-4 %	+10 %	-4 %	+16 %	+6 %	+34 %	-1 %	0 %
Østlandet	0 %	+11 %	+11 %	+25 %	+4 %	+24 %	-2 %	0 %
Sørlandet	-5 %	+4 %	0 %	+24 %	-6 %	+8 %	-4 %	-1 %
Sørvestlandet	+1 %	+9 %	-3 %	+6 %	+9 %	+15 %	-2 %	+1 %
Ryfylke/Sunnhordland	+6 %	+10 %	-2 %	+9 %	+2 %	+12 %	-4 %	-1 %
Nordlige Hordaland/Sogn og Fj.	+7 %	+15 %	-1 %	+9 %	+2 %	+16 %	-4 %	-2 %
Dovre/Nord-Østerdal	+15 %	+20 %	+18 %	+25 %	+16 %	+52 %	-3 %	0 %
Møre og Romsdal	+10 %	+15 %	-8 %	+15 %	-5 %	+11 %	-1 %	0 %

Indre Trøndelag	+12 %	+22 %	+9 %	+28 %	+8 %	+24 %	-4 %	-2 %
Trøndelag/Helgeland	+7 %	+17 %	+2 %	+30 %	+1 %	+20 %	-1 %	0 %
Hålogaland	+3 %	+16 %	-2 %	+17 %	+4 %	+20 %	-3 %	0 %
Finnmarksvidda	+5 %	+16 %	-5 %	+10 %	+18 %	+29 %	-1 %	+1 %
Varanger	+5 %	+15 %	-1 %	+21 %	+5 %	+18 %	-2 %	+2 %

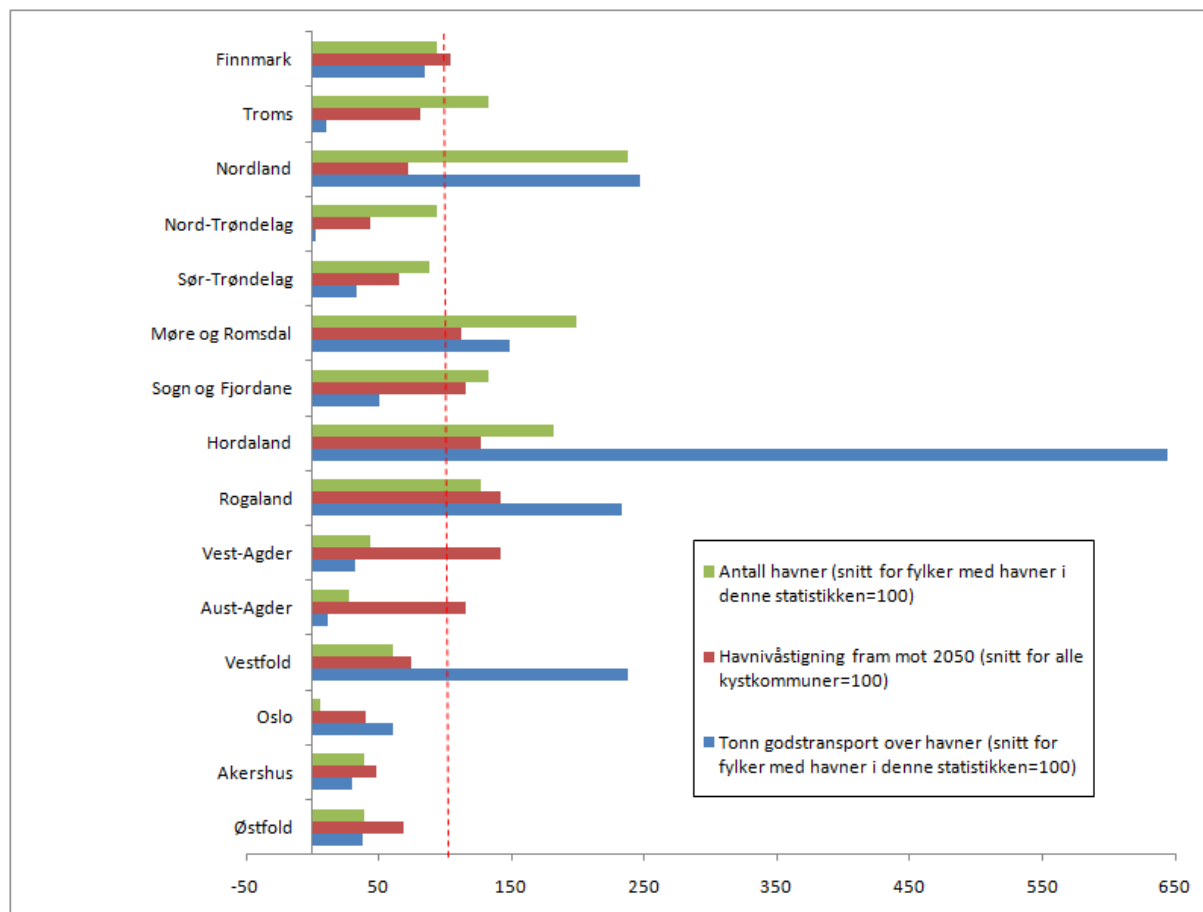
I figuren under har vi konstruert noen indikatorer som kan antyde regionale variasjoner i den naturlige sårbarheten for kommunale og fylkeskommunale veger. Vi har først laget en indikator for samlet lengde kommunale og fylkeskommunale veger per innbygger. Så har vi plukket ut to klimaindikatorer, der vi i begge tilfeller har brukt det øvre anslaget: Temperaturøkning for hele året og 99 % prosentilen for ekstremnedbør om høsten. Den første kan tjene som en indikator på positive virkninger for drift og vedlikehold av veier, mens den andre kan tjene som indikator på det motsatte. Figuren viser på den ene siden at det er en klar nord-sørgradient når det gjelder lengden av veger per innbygger. Det er en tilsvarende – men langt svakere – gradient når det gjelder absolutt økning i den gjennomsnittlige årsnedbøren (noe som ikke er vist i figuren). Trenden når det gjelder ekstremnedbør er en øst-vest akse i Sør-Norge, med størst økning av ekstremnedbør på Østlandet og minst på Vestlandet. Resten av landet har en noenlunde lik økning, og da mellom verdiene for Øst- og Vestlandet. Det må understrekes at det også i framtida er kysten av Vestlandet og Nordland som ligger an til å få den største årsnedbøren og den kraftigste ekstremnedbøren. Det er også her nedbørøkningen vil bli størst i absolutte verdier. Når vi legger vekt på den *prosentvise* nedbørsendringen, er det med bakgrunn i at fare for nedbørrelatert naturskade som flom og skred er størst når den relative endringen er stor. Det henger bl.a. sammen med at det i områder som historisk har hatt lavere nedbør, er mere løsmasser som kan vaskes ut. Dimensjonering av dreneringssystemer og evnen samfunnet forøvrig har til å takle store nedbørmengder vil også være bedre i tradisjonelle nedbørsrike områder enn der klimaet har vært tørrere. Om vi i tillegg tar hensyn til at trafikkbelastningen er størst på Østlandet, kan figuren tolkes som at *Østlandet* er den landsdelen som vil kunne få de mest negative endringene i utfordringer når det gjelder framtidig klimabelastning for vegnettet. Denne tolkningen er ellers i tråd med funnene i Avinor mfl (2007). Vi må imidlertid understreke at dette er en svært generell konklusjon, og ved å ta hensyn til andre klimafaktorer og – ikke minst – andre typer data om den regionale variasjonen i samfunnsmessig sårbarhet (for eksempel vedlikeholdsetterslep) vil bildet kunne endres mye.



Figur 34 Indikatorer for naturlig klimasårbarhet for kommunale og fylkeskommunale veger ubasert på tall for samlet kommunal og fylkeskommunal veilengde og framskriving av klimaendringer til 2050

Under har vi sammenstilt fylkesvise indekserte data for samlet godsmengde over offentlige havner med økning av havnivået som gjennomsnitt for kystkommunene i hvert av de aktuelle fylkene. Figuren viser at noen av de

fylkene med størst godsmengde (Hordaland¹⁸ og Rogaland) også har den forventede største havnivåstigningen. Samtidig ser vi at to fylker med relativt stor godsmengde (Nordland og Vestfold) kan forvente en noe mindre havnivåstigning enn gjennomsnittet. Også når det gjelder antall havner ser vi en tilsvarende sammenheng; fylker med mange havner er ofte også de som kan forvente den største havnivåstigningen. I og med at det er stort samsvar mellom regional variasjon i forventet havnivåstigning og risiko for stormflo, kan figuren under også fungere som en indikasjon for regionale variasjoner i utfordringer knyttet til økte utfordringer fra stormflo.



Figur 35 Indikatorer for den regionale variasjonen i naturlig klimasårbarhet for offentlige havner basert på data for samlet godsmengde i tonn over kommunale havner og antall havner

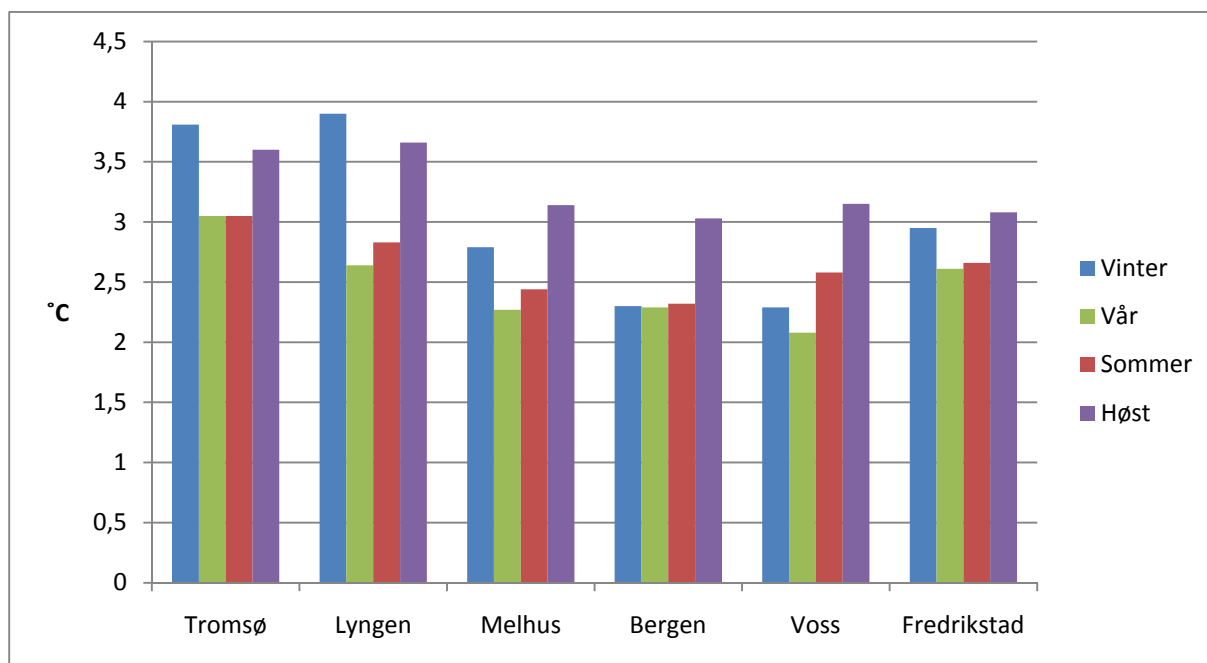
I det som følger vil vi gå gjennom ulike former for naturlig, samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet for vegar, havner og kommunal og fylkeskommunal transport. Våre vurderinger er basert på kunnskapsstatus (delrapport 1), egne klimaframskrivninger (delrapport 2), samt innhentede data og intervjuer med nøkkelinformanter i våre lokale/regionale case. For vegar har vi studert fylkesnivået, dvs at vi har innhentet informasjon om fylkesvegene, i hovedsak hos Statens vegvesens fylkesavdelinger.

Sårbarhet veg

Naturlig sårbarhet

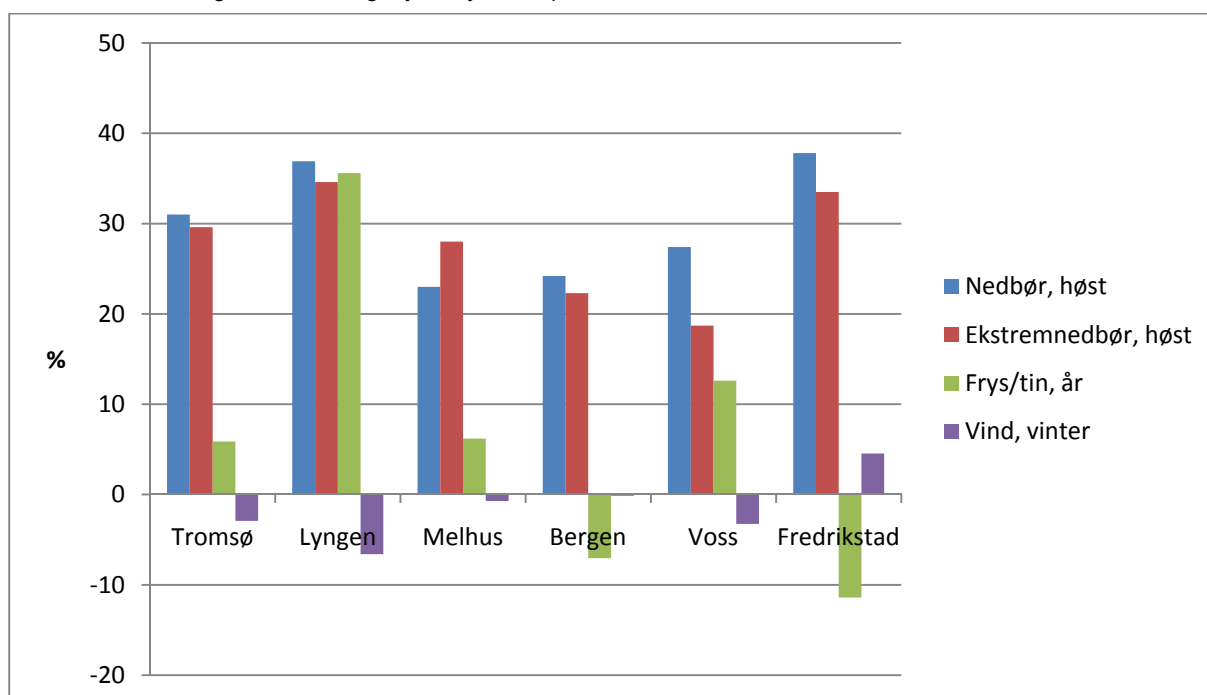
Nedenfor presenterer vi nedskaleringer for en rekke klimaparametre for de seks casekommunene som inngår i vår transportanalyse. Parametrene er valgt med tanke på at de virker inn på sårbarheten for veginfrastruktur og vegtransport. Blant scenarioer fra fire ulike klimamodeller har vi her konsekvent valgt det øvre anslaget eller verstefallsscenarioet, dvs. de mest ugunstige tallene med tanke på antatt sårbarhet. For temperaturendring isolert sett er det ikke opplagt at den største temperaturstigningen gir størst sårbarhet, men ettersom temperatur virker styrende på de øvrige parametrene benytter vi denne termen også her.

¹⁸ Når Hordaland kommer ut med nesten sju ganger høyere tall enn landssnittet for tonn godstransport over havner, henger det sammen med de store volumene som passerer olje- og gassterminalene på Mongstad og Sture.



Figur 36. Absolutt temperaturendring (°C) fra perioden 1961-90 til 2050 på årstidsbasis. Verste fallsscenario blant nedskaleringer fra fire klimamodeller.

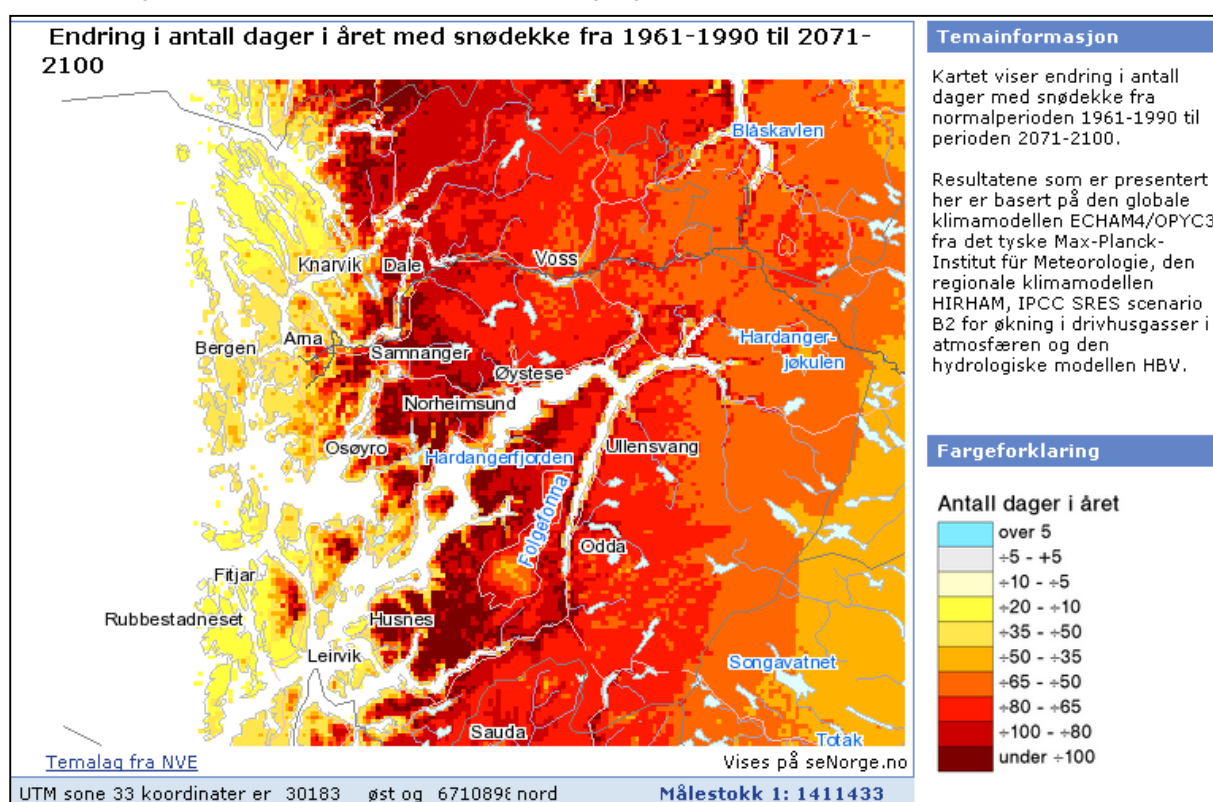
Av figuren over ser vi at temperaturøkningen vil bli størst i Tromsø og Lyngen, og minst i Bergen og på Voss. Dette samsvarer med bildet vi så i figur 1. I Nord-Norge er det om vinteren en kan vente størst temperaturøkning, mens det i Sør-Norge er høsten som ser ut til å få den største endringen. Temperaturen bestemmer om nedbøren skal komme som regn eller snø, og styrer fryse-tineprosesser.



Figur 37. Prosentvis endring for nedbør (høst), ekstremnedbør (høst), frysepunktpassasjer (år) og vindhastighet (vinter) fra perioden 1961-90 til 2050. Verste fallsscenario blant nedskaleringer fra fire klimamodeller.

Figuren over viser prosentvis endring av fire ulike klimaparametre. Høstnedbøren ventes i verste fall å bli 31 % høyere i Tromsø og 37 % i Lyngen. Dette kan føre til økt skred- og flomaktivitet på vegnettet. Fredrikstad kan få så mye som 38 % mere høstnedbør i 2050 sammenliknet med normalperioden, mens tilsvarende tall for Melhus, Bergen og Voss ligger rundt 25 %. Ekstremnedbør om høsten er en viktig årsak til skred, flom og erosjon på vegene. Slik sett er ekstremnedbøren i løpet av et døgn eller to, vel så viktig for sårbarheten som

nedbørssummen over en lengre periode. Nivået for 99-prosentilnedbøren, dvs nedbørsmengdene som blir overskredet én av hundre dager, kan i verste fall øke med 30-35 % i Tromsø, Lyngen og Fredrikstad. Voss utmerker seg med lavest økning i ekstremnedbøren blant casekommunene. Fryse-tineprosesser (nullpassasjer) virker inn på frostsprenging, med tilhørende steinsprangfare, og nedbryting av vegdekket. Figuren viser prosentvis endring i antall nullpassasjer som kommer i tillegg til døgnvariasjonen i temperatur. Fordi det er relativt få slike nullpassasjer, kan de prosentvise utslagene bli store, slik tilfellet er for Lyngen. I temperaturregion 4 (Nordland, Troms og Vest-Finnmark) er det ca 27 slike fryse-tineperioder, så en økning på ca 35 % tilsvarer ca 10 flere nullpassasjer i løpet av et år. For de andre casekommunene er tallene såpass små at vi tviler på om det vil ha noen effekt for veginfrastrukturen (Bergen og Fredrikstad ser ut til å få en nedgang på årsbasis). Vindhastighet om vinteren er først og fremst av betydning for vegtrafikken ved at sterk vind fører til snøfokk og sjørakk. Særlig trafikken på fjelloverganger er sårbar for snøfokk som gir nedsatt sikt og veger som driver igjen med snø. Framskriving av vind er mer usikker enn for andre klimaparametre, så det er ikke grunnlag for å trekke konklusjoner ut fra dette materialet. De fire klimamodellene vi har brukt antyder redusert vindhastighet i fem av de seks casekommunene. Ettersom figuren viser verstefall, gir de tre andre klimamodellene enda større reduksjon enn dette. Også scenarioene for ekstremvind viser nedgang over nesten hele landet.



Figur 38. Endring i antall dager med snødekke i Hordaland fra 1961-1990 til 2171-2100. Kilde: www.senorge.no

Figuren over viser endring i antall dager med snødekke i Hordaland, og viser gjennomsnittet av nedskaleringer fra to klimamodeller (ikke ekstremverdien av fire modeller) og går til slutten av dette århundret (ikke til 2050). Ytterst på kysten kan man regne med 10-20 færre dager med snødekke i løpet av de vel hundre årene mellom normal- og scenarioperioden. Størst er nedgangen i høyreliggende strøk i midtre deler av fylket, der det ser ut til å bli mer enn hundre færre snødager i året. Skulle dette slå til, vil det i praksis være slutt på snødekke i store deler av Hordaland i et normalår mot slutten av det 21. århundre.

Tabell 25. Relativ havnivåstigning (cm) og mulig stormflo (cm over sjøkartnull, NN1954) fra 2000 til 2050. Kilde: Vasskog (2007)

Parameter	Tromsø	Lyngen	Melhus	Bergen	Fredrikstad
Relativ havstigning	+17	+14	+8	+22	+13
Mulig stormflo	222	237	261	179	156

Tabellen over viser kommunevis scenario for 2050 for relativ *havnivåstigning* (dvs. økning i det globale havnivået minus landheving) og mulig *stormflo* basert på høyeste registrerte stormflo pluss 5 cm for antatt endring i stormfloklimaet. Vasskog (2007) opererer med en usikkerhet i disse tallene på -8 til +14 cm, knyttet til usikkerhet i modellen for framtidig havnivåstigning og nøyaktigheten av landhevingsdataene. Det betyr at en for Tromsø regner med minimum 9 cm og maksimum 31 cm i løpet av 50 år. Disse tallene hviler på en forutsetning om at vi ikke får akselererende issmelting på Grønland og Antarktis. Med disse tallene for havnivåstigning kan vi regne med at veger som fra før er utsatt for stormflo vil oppleve dette hyppigere og mer alvorlig i framtida. Gatene i Bergen sentrum (Vågen) er eksempel på dette. Noen vegstreknings som fra før ikke er berørt av oversvømmelser vil få slike problemer fra tid til annen etter hvert som havet stiger. Ferjekaier som har lite å gå på i situasjoner med springflo eller stormflo, vil få større problemer med regulariteten i framtida. Gitt tallene i tabellen over er det likevel lite som tyder på at økt havnivå vil representere en vesentlig sårbarhet for veginfrastrukturen i casekommunene de nærmeste 40 åra. Det er verdt å merke seg at alle casekommunene, med unntak av Bergen, ligger i fylker med mindre havnivåstigning enn landssnittet, jf. figur 2.

Intervjuer gjennomført i Statens vegvesens fylkesavdelinger i Troms, Hordaland og Østfold gir grunnlag for noen videre betraktninger rundt naturlig sårbarhet for vegnettet. Avdelingsleder Turid Stubø Johnsen ved SVV avd. Østfold, sier at økt vassføring i elver kan være en utfordring for bruer, som peker seg ut som sårbare punkt. Hun mener at dersom de mest dramatiske scenarioene slår til (bl.a. med markert økning av høstnedbøren og inntil 60 % økning av ekstremnedbøren på årsbasis) vil det gi en krevende situasjon for de mest værutsatte og kystnære vegstrekningene. Hun mener at klimaendringer også kan være et problem med tanke på de dårlige grunnforholdene i Østfold, med mye rasutsatt leirjord. Driftssjef Gunnar Kråkenes ved SVV avd. Hordaland peker på disse formene for sårbarhet for klima på fylkesvegene i Hordaland i dag:

- Store nedbørmengder som dreneringssystemet ikke klarer å ta unna
- Iskjøving i vegskjæringer og tunnelmunninger
- Fryse/tineprosesser som gir steinsprang i fjellskjæringer og reduserer levetida på asfalten
- Vannmetta grunn som gir utglidning av skråninger og skred (ikke så stort problem i Bergensområdet).

Også i Troms er det lignende problemer med håndtering av vann som preger dagens sårbarhetsbilde. Felles for flere av de omtalte problemene er at de som regel oppstår som følge av en kombinasjon av klima/naturforhold og menneskeskapte forhold, noe vi vender tilbake til i avsnittene om samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet.

Samfunnsøkonomisk sårbarhet

Under naturlig sårbarhet for vegnettet har vi pekt på store nedbørmengder som en hovedutfordring. I de mest ekstreme situasjonene vil nedbør og avrenning skape vansker ganske enkelt fordi det kommer for mye vann i løpet av kort tid. Nedbør kan også utløse ulike former for jord-, stein- og snøskred som man vanskelig kan beskytte seg mot. I svært mange tilfeller er det likevel slik at de klimatiske forholdene skaper problemer fordi infrastrukturen ikke er utformet, drevet og vedlikeholdt på en hensiktsmessig måte. Da står vi overfor en samfunnsøkonomisk eller institusjonell sårbarhet, som opptrer i samspill med den naturlige sårbarheten. Under samfunnsøkonomisk sårbarhet vil vi drøfte to tema som framstår som viktige for den samlede klimasårbarheten for veginfrastrukturen. Det gjelder kvaliteten på vegene i forhold til den trafikkbelastningen de utsettes for og vedlikeholdsetterslepet på vegnettet.

- *Vegstandard og trafikkbelastning*

Byggeleder Roar Femsteinvik i Statens vegvesen avdeling Troms, svarer slik på spørsmål om hva som er de største utfordringene når det gjelder klimapåvirkning av fylkesvegnettet i Troms i dag:

Det vi sliter med er grunne grøfter, at vi får vann opp i overbygningen. I tillegg har vi ikke klart å holde stikkrenner åpne, slik at vi har dårlig kapasitet på de stikkrennene som ligger der. Dessuten er det mange stikkrenner som har kollapsa. Delvis er de for gamle – stållrenner som bunnen har rusta på – eller plastrenner som har sprukket pga tele. Vi har også problemer med betongrenner uten pakninger, som glir fra hverandre slik at det ikke blir tette skjøter. Det kan føre til at renna ruser sammen og det blir hull i vegdekket. (...) Det er tungtrafikken som er den tøffeste for vegene. Det at det ble slutt på telerestriksjonene gjør det heller ikke bedre.

Dette sitatet viser hvordan fagmannen med ansvar for drift og vedlikehold på deler av fylkesvegnettet i en værhard landsdel, utelukkende viser til begrensninger ved oppbygging og vedlikehold av den menneskeskapte infrastrukturen når han blir spurt om utfordringer knyttet til klimapåvirkning. Femsteinviks kollega i Hordaland, Gunnar Kråkenes, gir nokså tilsvarende respons på det samme spørsmålet:

Hovedutfordringen ligger i at det gamle vegnettet blir stressa til å skulle ta imot dagens trafikk. Det fører til at en legger asfalt helt ut på vegskuldra, og inn på grøftene. Dermed vil asfalten spise opp vannvegene. Langs veger i bratt terreng med mye skjæringar, slik det er her på Vestlandet, får vi for lite restareal.

Disse svarene betyr ikke at klimaet i seg selv er uvesentlig; det er naturhendelsene som utløser de vanskelige situasjonene med fare for trafikkuyllykker og vegstenging. Men været er det ikke så mye vi kan gjøre med, så det er nærliggende at de som har drifts- og vedlikeholdsansvaret på vegene fokuserer på svakheter i infrastrukturen som det kan rettes på for å redusere klimarelaterte skader. Likevel gir slike svar en god indikasjon på hvor viktig den samfunnsøkonomiske og institusjonelle sårbarheten er for det totale sårbarhetsbildet.

I 1995 skjedde det en såkalt administrativ oppgradering av deler av riks- og fylkesvegnettet i Norge. Dette innebar at 90 % av riksvegene etter endringen hadde 10 tonnns aksellast og at telerestriksjonene ble opphevet (Samferdselsdepartementet 1996). Denne oppgraderingen skjedde uten at det fulgte økte bevilgninger til drift og vedlikehold av vegnettet. Samtidig var det bekymringer for hvilke konsekvenser det ville ha for vegstandarden om øvre grense for aksellast ble hevet for veger som ikke hadde bæremasser og dreneringssystemer som tålte den økte påkjenningen fra tyngre kjøretøy. Telerestriksjonene innebar at aksellastgrensene ble skrevet ned til 6 tonn i noen uker under teleløsninga om våren. Trafikk med tunge kjøretøy på veger med dårlig bæreevne i denne perioden øker slitasjen på vegdekket og framfor alt dreneringssystemene vesentlig. I Vegdirektoratet får vi opplyst at det i forkant av opphevelsen av telerestriksjonene ble gjort vurderinger av hvilke konsekvenser vedtaket kunne få, men vi har ikke kjennskap til at det ble gjort evalueringer av følgene i etterkant.

Kjell Vang ved Statens vegvesen avdeling Troms forteller at telerestriksjonene som regel satte inn i månedsskiftet mars-april ute på kysten, mens de siste begrensningene ble opphevet rundt midten av mai i indre strøk. Det varierte fra år til år og fra sted til sted hvor lenge restriksjonene varte, men det dreide seg om flere uker. Vang husker at "det var et voldsomt trøkk" fra transportbedrifter og næringsliv når lastebilene ikke fikk kjøre, og mange søkte om dispensasjon. Dette ble gitt etter regler som var fastsatt av Vegdirektoratet.

Det virker forståelig at det var et politisk ønske om å oppheve de upopulære telerestriksjonene på riks- og fylkesvegnettet. De samfunnsøkonomiske konsekvensene ved langvarig stenging for godstransport ble etter hvert vurdert som for store til at ordningen kunne fortsette. Det betyr ikke at vegnettet overalt var modent for en slik reform; ikke minst mange fylkesveger som var bygd som smale grusveger like etter andre verdenskrig, og som seinere var blitt "pyntet på" med asfalt uten nødvendige utskiftninger av bærelag og stikkrenner, tok åpenbart stor skade av at tungtrafikken ble sluppet løs i vårløsningen.

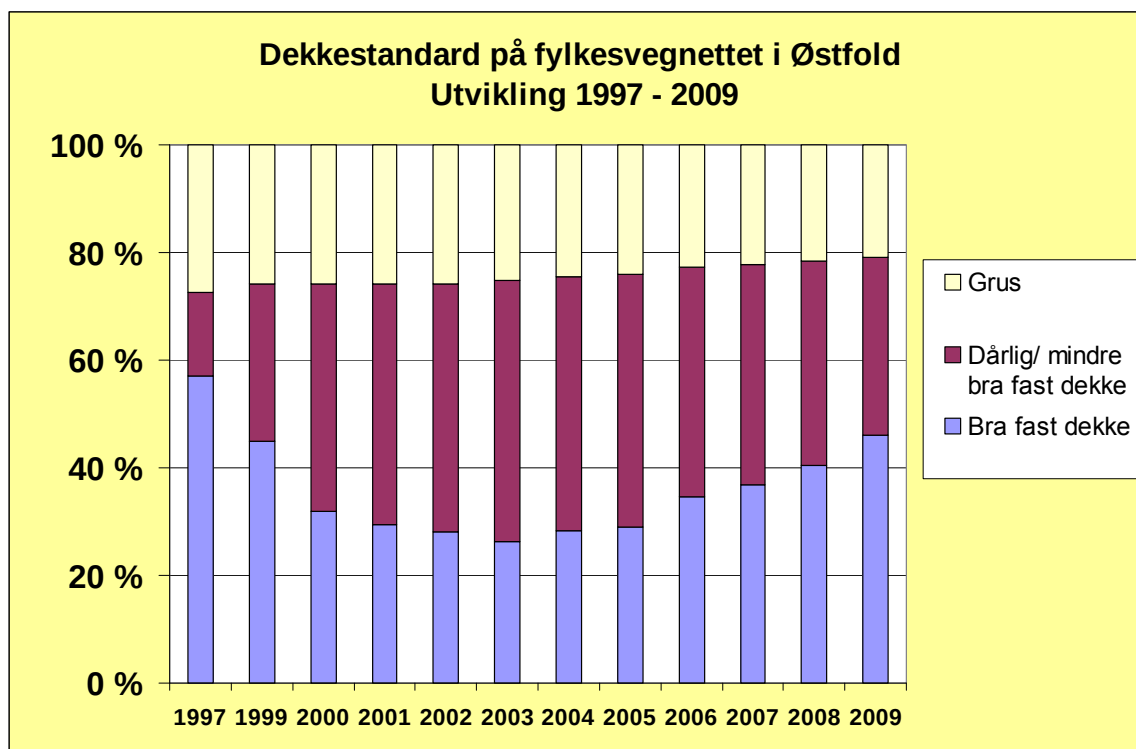
- *Vedlikeholdsetterslep*

Vedlikeholdsetterslep på infrastruktur oppstår når vedlikeholdet gjennom en årrekke er mindre enn det som skal til for å opprettholde en ønsket standard. Vegdirektoratet, som i seinere tid har begynt å omtale vedlikeholdsetterslepet som "forfall", utviklet gjennom etatsprosjektet "Vegkapital" (2002-2005) denne definisjonen for vedlikeholdsetterslep (Statens vegvesen, 2005:11):

Vedlikeholdsetterslep for et vegobjekt er kostnaden ved å bringe objektet fra sin nåværende tilstand til et definert tilstandsnivå slik at objektet oppfyller sin tiltenkte funksjon over en normal levetid.

Det definerte tilstandsnivået som etterslepet blir beregnet i forhold til, er for vegsektoren som regel forankret i Vegdirektoratets håndbøker, særlig "Håndbok 111 Standard for drift og vedlikehold". I kunnskapsstatusen viser vi til rapporten "Beregning av vedlikeholdsetterslep for fylkesvegnettet" (Statens vegvesen 2005), som konkluderte med at det daværende fylkesvegnettet hadde et vedlikeholdsetterslep på 10,8 milliarder kroner. Selve vegen (vegkropp og dekke) sto for 73 % av dette beløpet, mens grøfter, kummer og rør sto for 9 %. Nedenfor vil vi utfylle bildet som tegnes i rapporten fra Vegkapitalprosjektet med data og intervjumateriale vi har samlet i fylkene Troms og Østfold (som her representerer casekommunene Troms, Lyngen og Fredrikstad).

I utkast til handlingsprogram for fylkesvegene i Østfold 2011-2014 er vedlikeholdsetterslepet estimert til 1 mrd. kr for det nye fylkesvegnettet (500 mill. kr hver for de gamle og de nye fylkesvegene). Beregningen bygger på Vegkapitalprosjektet, men gir et oppdatert bilde for dagens fylkesvegnett. Tallene baserer seg ikke på registreringer av tilstand, men på beregningsmodeller for vedlikeholdsbehov holdt sammen med faktisk innsats over flere år. For vedlikehold av vegdekket er det gjort målinger av spor og jevnhet sammenlignet med vedlikeholdsstandarden. Dette viser et beregnet dekkeetterslep på 85 mill. kr for gamle fylkesveger og 165 mill. kr for nye fylkesveger, dvs totalt 250 mill. kr for fylkesvegnettet i Østfold etter forvaltningsreformen. Dette utgjør 25 % av det samlede vedlikeholdsetterslepet.



Figur 39. Dekkestandard på det gamle fylkesvegnettet i Østfold 1997-2009. Kilde: Statens vegvesen avdeling Østfold (2009).

Diagrammet over viser fordelingen mellom grusveger og veger med fast dekke av lav og høy kvalitet på det gamle fylkesvegnettet over en periode på 13 år fra 1997 til 2009. Andelen grusveger har avtatt jevn og trutt fra ca 1/4 til ca 1/5, mens andelen veger med dårlig/mindre bra fast dekke økte markert i perioden 1997-2000 (selv om økningen ser for bratt ut i diagrammet fordi året 1998 er utelatt). Denne utviklingen nådde klimaks i 2003, da nesten halvparten av fylkesvegnettet i fylket hadde fast dekke med lav kvalitet. I 2009 er situasjonen bedret vesentlig, men det er likevel oppsiktsvekkende at ca 1/3 av de gamle fylkesvegene i Østfold fremdeles har fast dekke som får karakteren dårlig eller mindre bra. Vi har ikke grunnlag for å trekke slutninger om grunnen til den markerte kvalitetsforringelsen av fastdekke på fylkesvegene fra 1997 til 2003. Det er likevel nærliggende å anta at en del av forklaringen ligger i den administrative oppgraderingen av vegnettet som fant sted i 1995, da mange veger fikk hevet grensen for høyeste aksellast fra 6 til 8 tonn, eller fra 8 til 10 tonn, samtidig som telerestriksjonene ble fjernet. En generell volumøkning i trafikken og utvikling i retning stadig tyngre lastebiler – i kombinasjon med oppjustering av aksellastgrensene – er andre faktorer som kan ha bidratt. Når utviklingen har snudd til det bedre i siste halvdel av 2000-tallet er det likevel naturlig å se på dette primært som et spørsmål om vegstandard og vedlikehold.

Et viktig poeng i forbindelse med vedlikeholdsetterslep, er at dette også omfatter forhold som ikke er relatert til klimapåkjenninger. Hos Statens vegvesen avdeling Troms har vi fått tilgang til en oversikt over etterslepet på fylkesvegene i 2010 (dvs. etter forvaltningsreformen), et arbeid som er gjort på oppdrag fra Troms fylkeskommune. Her er vurderingen av tilstanden på vegnettet splittet opp i en rekke tema som gjør det mulig å plukke ut de typene vedlikeholdsetterslep som det gir mening i å knytte til sårbarhet for klimaendringer.

Av et samlet vedlikeholdsetterslep på fylkesvegnettet i Troms på ca 2,4 mrd. kr, er 84 % knyttet til klimarelevante vedlikeholdskategorier. Med dette mener vi at det manglende vedlikeholdet i kombinasjon med klimapåvirkning kan skape drifts- eller trafikkproblemer på vegene, eventuelt at vedlikeholdsbehovet helt eller delvis har oppstått som en følge av klimapåkjenning på vegen. Som oftest er det den første forutsetningen som gjelder, som når mangelfull grøfting eller underdimensjonerte stikkrenner fører til oversvømmelse og erosjon ved kraftig nedbør. Eksempel på den andre typen klimarelevans er når fryse/tineprosesser bidrar til oppsprekking og forsterket slitasje på vegdekket.

Tabell 26. Klimarelevant og ikke klimarelevant vedlikeholdsetterslep på fylkesvegnettet i Troms i 2010, mill. kr. Kilde: Statens vegvesen, avd. Troms.

Type vedlikeholdsetterslep	Klimarelevant etterslep (mill. kr)	Ikke klimarelevant etterslep (mill. kr)
Oppgrusing av veger med dårlig grusdekke	66	
Drenering og grøfting på veger med fastdekke	44	
Drenering og grøfting på veger med grusdekke	60	
Stikkrenner med utkiling på veger med fastdekke	376	
Stikkrenner med utkiling på veger med grusdekke	190	
Rekkverkskader og ikke godkjente endeavslutninger		80
Løfting av rekkverk som er eller blir for lave		40
Nødvendig utbedring av bruer samt nødvendig nybygging	59	
Manglende erverv av veggrunn		140
Etterslep for tunneler		130
Asfaltering av de aller mest dårlige dekkene	605	
Asfalt for å fjerne spor mellom 25 og 30mm	600	
Sum	2 000	390

Når man diskuterer vedlikeholdsetterslep er det også nødvendig å foreta en grenseoppgang mot de utbedringsbehovene på vegnettet som *ikke* dreier seg om etterslep. Det gjelder i tilfeller der det er ønskelig med oppgradering av vegstandard, som ved oppgradering av grusveger til fast dekke. Det er ikke noe formelt krav om at fylkesveger skal ha fast dekke, så en ønsket oppgradering må derfor betraktes som en investering. Behov for utbedring av ferjekaier er et annet eksempel på dette; utbedringer skjer som regel gjennom nybygging av ferjekai, med plass til større ferjer, fler oppstillingsplasser og i noen tilfeller flytting av kai for å oppnå kortere ferjestrekning.¹⁹

Også innenfor rassikring bruker samferdselsmyndighetene etterslepsbegrepet. En markert økning i bevilgningene til rassikring på riks- og fylkesveiene blir i Nasjonal transportplan 2010-2019 begrunnet slik (Samferdselsdepartementet 2009:169):

Bakgrunnen for dette er dels et stort etterslep innen rassikring og at klimaendringene medfører at det går ras stadig oftere og på steder der det ikke har gått ras tidligere

Det synes klart at en vesentlig del av klimasårbarheten på fylkesvegnettet kan knyttes til mangelfullt vedlikehold. En slik konklusjon reiser spørsmålet om hvorfor vedlikeholdet har vært neglisjert over så mange år. Flere har forklart dette med fordeling av vegbudsjettene mellom investering i nye veger og vedlikehold av de eksisterende vegene. I Nasjonal transportplan 2010-2019 er det foretatt en dreining i retning mer midler til drift og vedlikehold av infrastruktur, med det formål å ta bedre vare på vegkapitalen. Det er ikke bare i investeringsfasen at nye veger kan komme til å fortrengte vedlikehold av eldre veger. Kråkenes i SVV avd. Hordaland peker på at nye veganlegg er dyrere å drive enn gamle veger. Det gjelder særlig for nye tunnelanlegg, som trekker store driftskostnader knyttet til sikkerhetsutrustning. Slikt utstyr, som brannskap, ventilatorer og overvåkningsutstyr har dessuten kort levetid og må være på plass for at tunnelene ikke skal bli stengt i henhold til brannforskriftene. Eskalerende driftsutgifter på nye veg- og tunnelstrekninger²⁰ er med på å spise opp begrensede drifts- og vedlikeholdsbudsjetter. Underbudsjettering av nye vegprosjekter har også bidratt til en slik utvikling (Samferdselsdepartementet, 2009).

Institusjonell sårbarhet

Riksrevisjonen ga i september 2009 ut dokumentet "Riksrevisjonens undersøkning av drift og vedlikehold av vegnettet" (Riksrevisjonen 2009), som tar for seg konsekvenser av konkurranseutsettingen av drifts- og

¹⁹ Tony Gjerdrum, Statens vegvesen avdeling Troms, personlig opplysning.

²⁰ Kilometerkostnader for drift av nye veger (erfaringstall) ligger rundt 30-100.000 kr/km, mens nye tunneller kanskje kommer på det tidoble av dette (Gunnar Kråkevik, SVV avd. Hordaland, personlig opplysning.)

vedlikeholdsoppgavene i vegsektoren. Her blir det bl.a. vist at det pga. manglende rapporteringsrutiner, ikke fins grunnlag for å vurdere om drifta er utført i samsvar med fastsatte standarder, og for å sammenlikne kvalitet mellom ulike kontrakter, entreprenører og distrikt. Det blir også pekt på at Statens vegvesen som byggeleder ikke foretar god nok kontroll i mange kontrakter, og at det er et svært lite omfang av økonomiske sanksjoner mot entreprenører som ikke utfører vedlikehold og drift i tråd med kontrakten (Riksrevisjonen, 2009:9-12). I vår undersøkelse har vi konsentrert oss om det innenfor dette systemet foregår god nok videreføring av lokalkunnskap om vegnettet. Vi kommer også inn på systemer for kvalitetssikring av arbeidet entreprenørene utfører.

Hos Statens vegvesen avdeling Hordaland får vi opplyst at kunnskap om det lokale vegnettet i liten grad blir ivarettatt ved fornyelse av drifts- og vedlikeholdskontrakter, og at kompetansen kan bli nullstilt når en skifter entreprenør. Kontraktene har en varighet på fem år, og selv om det foregår en del "bytte av kjeledress" – dvs. at personell går over fra den ene entreprenøren til den andre og fortsetter med drift og vedlikehold på samme vegstrekning som før – er det et utstrakt problem med hyppig utskifting av mannskap knyttet til fornyelse av kontrakter. Driftssjef Gunnar Kråkenes sier at den tidligere ordningen med vegmestre, som gjerne gikk i arv mellom generasjonene i samme familie, gjorde at det var faste driftsfolk som hadde inngående kjennskap til vegnettet i sitt ansvarsområde. I dag har man kartgrunnlag og andre verktøy som til en viss grad kompenserer for alt det de gamle vegmestrene hadde "i hodene", men det er en utfordring å sikre at de riktige folkene vet hvordan de skal håndtere disse verktøyene og har kjennskap til hvor informasjonen er tilgjengelig.

Det er ikke formelle krav om kompetanse ved drift og vedlikehold, noe som er en utfordring for både vegmyndighetene og entreprenørbransjen selv. En er i ferd med å prøve ut ulike systemer for kvalitetssikring, trolig påskyndet av Riksrevisjonens rapport. For få år siden var det et system der entreprenørens prestasjoner ble evaluert to ganger i året (for vintersesongen og for hele året), der det ble satt karakter ut fra teknisk og faglig innsikt. Kråkenes mener denne modellen hadde begrenset verdi fordi personalet forsvinner til andre jobber når entreprenøren avslutter en kontrakt, og ved inngåelse av ny kontrakt etablerer entreprenøren som regel en ny organisasjon, og "en evaluering er ikke mer verdt enn de folkene som fins i organisasjonen", som Kråkenes uttrykker det. Modellen med evaluering (prekvalifisering) er nå blitt avløst av et ISO-system, som skal hjelpe entreprenørene til å avdekke behov og selv oppdage det dersom en ikke er i takt med kravet i kontrakten. Det har gått for kort tid til at man kan slå fast om innføring av ISO-systemet vil gi den ønskede effekten.

Sårbarhet havner

Naturlig sårbarhet

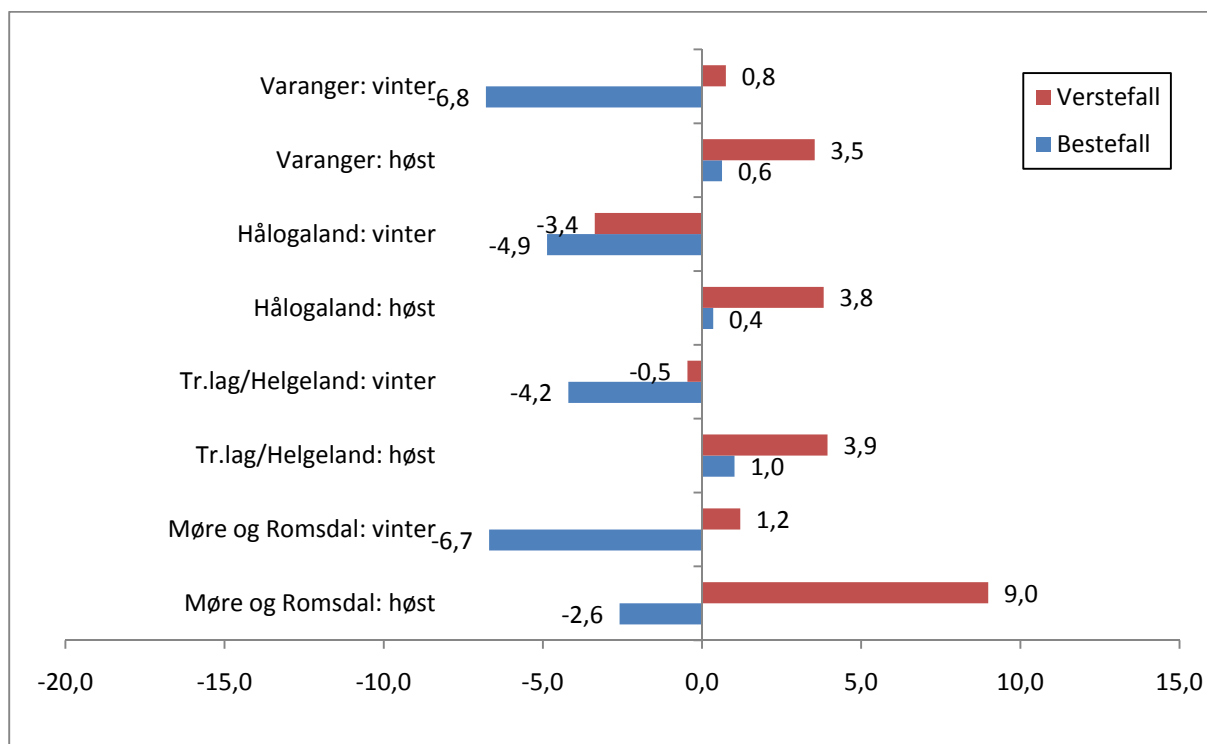
Scenarioene for havnivåstigning tyder på at dette er en prosess som går så sakte at det i de fleste transporthavner (kommunale) og ferjehavner (fylkeskommunale når de er en del av fylkesvegnettet) vil være mulig å tilpasse seg denne endringen i takt med ordinær fornyelse av havneinfrastrukturen. Denne konklusjonen blir også trukket av NOU Klimatilpasning. Hvis vi dermed forutsetter at havnivåstigning i liten grad vil bety problemer for den daglige drift av havnene, er det trolig ved episoder av stormflo og/eller sterk vind at klimaendringer kan by på utfordringer gjennom den kombinerte effekten av høyere havnivå, stormflo og bølger. Havneinfrastrukturen i seg selv er robust og vil bare i sjeldne tilfeller ta skade av klimapåkjenningene, men operasjonen av havnene kan komme til å bli en større utfordring. Her står vi overfor to spørsmål som trolig må håndteres separat: Hvordan *vindforholdene* og *bølgehøydene* vil utvikle seg.

I figurene nedenfor har vi vist scenarioer for prosentvis endring i vindhastighet om høsten og vinteren langs kysten fra Stad til Øst-Finnmark²¹ fram mot 2050. De er framstilt ved nedskaleringer av fire forskjellige globale klimamodeller, alle matet med samme utslippsscenario (A1B). Vi har valgt høst og vinter, fordi dette er de årstidene vindforholdene er mest kritiske for sjøfart og havneoperasjoner. Vi har vist bestefall (mest reduksjon i vind, evt. minst økning) og verstefall (størst økning, evt. minst reduksjon), ut fra tankegangen at alle de fire nedskaleringene er like sannsynlige. Vi ser at det er til dels stor variasjon mellom beste- og verstefallsscenarioene. Det må understrekes at det er knyttet større usikkerhet til framskrivinger av vind enn andre klimaparametre, så det er ikke grunnlag for å trekke slutninger med hensyn til sårbarhet basert på disse scenarioene. Vi tar de likevel med her som et utgangspunkt for å diskutere mulige utfall.

²¹ De fire regionene svarer til nedbørregionene som er etablert av met.no, jf. delrapport 2. Navn/nummer på nedbørregionene samsvarer med disse kyststrekningene: Møre og Romsdal (8) Stad - Kristiansund, Trøndelag/Helgeland (10) Kristiansund - polarsirkelen, Hålogaland (11) polarsirkelen - Laksefjorden, Varanger (13) Laksefjorden - Varangerfjorden.

Mens scenarioene tyder på økt vindhastighet om høsten mot midten av dette århundret, er det motsatte tilfelle for vinteren. Om høsten er verstefallsscenarioet mest dramatisk for Møre og Romsdal (kysten fra Stad til Kristiansund), med 9 % vindøkning, men det er også her bestefallsscenarioet kommer ut med en redusert vindhastighet. For kysten fra Kristiansund og nordover viser alle de fire klimamodellene økt vindhastighet om høsten, med verstefall mellom 3,5 og 3,9 % økning. For vintermånedene er det generelle bildet en markert nedgang i vindhastighet, med størst utslag i bestefall for nedbørregionene Møre og Romsdal og Varanger. Samtidig er det i disse regionene verstefallsscenarioet viser vindøkning også om vinteren. Når det gjelder ekstremvind (vindstyrken som overskrides 1 av 100 dager) viser framskrivingene en reduksjon langs hele kysten, med unntak av Vestfold. Bjerknessenteret kommenterer dette slik i delrapport 2: "Våre og noen andre beregninger viser en nedgang i vind over Norge, mens andre forskningsresultater viser det motsatte. Vår vurdering er derfor at det fortsatt ikke er mulig å si noe mer presist enn at det *kan* være at vi får *mindre* "vanlig" og "ekstrem" vind mot 2050."

I mange samfunnssektorer vil en moderat endring i gjennomsnittlig vindhastighet ha lite å si for sårbarhetsbildet. Det er som regel styrken og frekvensen på ekstremhendelsene som bestemmer hvor hardt samfunnet blir rammet av vind. Også for sjøfarten vil endringer i ekstremvind ha stor betydning, men det kan dessuten se ut til at endringer i middelvind er viktigere her enn i de fleste andre sammenhenger. Grunnen til det er at en del skipstyper ikke kan gjøre anløp i havner ved høye vindstyrker som er godt under 99-prosentilen (vindstyrken som er definert som ekstremvind i denne sammenhengen). Dette er spesielt sårbart for tankskipsflåten, som i hovedsak trafikkerer olje- og gassterminalene. I Norge får ikke olje- og gasstankere legge til kai ved vindstyrker over 15 m/sek (stiv kuling), mens 10 m/sek er en vanlig grense i andre land. Også store bulkskip er sårbare for vind pga stort vindfang. Kortere tidsvindu for å operere skip inn og ut kan få konsekvenser for lagerbehovet på land og i visse tilfeller kan det bli nødvendig med en ekstra kai.²²



Figur 40. Endring i vindhastighet (%) fra perioden 1961-90 til 2050 om i de fire nordlige kystregionene. Verdier for bestefall og verstefall blant fire klimamodeller (A1B utslippsscenario).

Uavhengig av om vindstyrken kommer til å øke eller minke noen prosent i tiårene som kommer, kan den videre utviklingen av isdekket i Arktis få betydning for bølgehøyden i Nord-Norge. Tore Lundestad, som er leder av Miljø- og teknologikomiteen i Norsk Havneforening, sier med bakgrunn i en undersøkelse de har gjort, at kysten av Nord-Norge kan være utsatt for økt belastning på molokonstruksjoner som følge av at havisen får mindre utstrekning. Dette henger sammen med at oppbygging av bølger er avhengig av strøklengden, dvs lengden på den åpne havstrekningen som vinden kan få tak uten at bølgene dempes av øyer eller isdekke. I Nord-Norge er

²² Tore Lundestad, Norsk Havneforening / Borg havneområde, personlig opplysning.

strøklengden i utgangspunktet lang ved nordlige vindretninger, og dersom havisen får mindre utstrekning i vinterhalvåret (og forsvinner helt om sommeren) vil bølgehøyden kunne bli større enn i dag.

Samfunnsøkonomisk sårbarhet

I avsnittet om naturlig sårbarhet for havner har vi omtalt påvirkning av havneoperasjoner pga. endringer i vind- og bølgeforhold som den største utfordringen i forbindelse med klimaendringer. Dette er basert på en forutsetning om at havnivåstigningen går så sakte at man klarer å tilpasse havneinfrastrukturen til endret havnivå som ledd i ordinær fornyelse av havner. Vi baserer dette på opplysninger fra Norsk Havneforening, som i 2007 gjennomførte en analyse av klimasårbarhet for norske havner. Dette arbeidet ble aldri publisert, men lederen for Miljø- og teknologikomiteen i Havneforeningen, Tore Lundestad, har i intervju oppsummert hovedkonklusjonene for oss. Flere aktører var med på dette arbeidet, bl.a. NTNU (Kyst- og havneteknikk), Meteorologisk institutt og Kystverket. Man tok utgangspunkt i rapporten "Waterborne transport, ports and waterways: A review of climate change drivers, impacts, responses and mitigation" fra den internasjonale havneorganisasjonen PIANC, The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC, 2008).²³ Blant ca 50 faktorer som ble omhandlet i den internasjonale rapporten, gikk Havneforeningen inn på 8-10 faktorer som man mente var relevant for norske forhold, bl.a. havnivå og bølger. I tillegg til at Norge er gunstig stilt fra naturens side (bratt topografi, lite erosjonsutsatt kyst og landheving som kompenserer for deler av havnivåstigningen), er det samfunnsøkonomiske trekk som gjør havneinfrastrukturen robust til å møte klimaendringer.

Kaier har en økonomisk levetid på 30-50 år. Kaiene må i praksis bygges om før de har nådd sin tekniske levetid fordi de har gått ut på dato. Med en såpass rask utskiftingstakt regner man med å holde tritt med havnivåstigningen, og "litt overvann på en kai i en overgangsperiode tåler vi", mener Lundestad. Han peker på at havnivåstigning er en langt større utfordring i byområder, der en har et mye lengre perspektiv. Selv om en del bynære kaier vil kunne bli oversvømt, representerer det stigende havnivået større utfordringer for bebyggelsen og infrastrukturen bak disse kaiene. Bryggen i Bergen har vært trukket fram som et eksempel på kaier som ligger utsatt til, men for Havneforeningen framstår dette mer som en kulturminne- og byplanutfordring. Storparten av volumene som fraktes over transporthavner blir lastet og losset i havner som ligger utenfor bykjernen.

Vi skal belyse spørsmålet om samfunnsøkonomisk sårbarhet for havner med et blick på en av casekommunene våre, Fredrikstad. Tore Lundestad er hoveddirektør i det interkommunale selskapet Borg havn, som omfatter de kommunale transporthavnene i Fredrikstad og Sarpsborg. Havnevirksomheten er bred, hovedanlegget på Øra i Fredrikstad er et såkalt multi purpose-anlegg med både kontainer, tørrbulk, stykkgoods og passasjer. På Alvim i Sarpsborg er det mye transport av tømmer, korn og prosjektlaster som f.eks vegsalt. I tillegg til de to offentlige havnene er det en rekke private kaianlegg inntil Glomma mellom de to byene, med Borregaard i nord som det dominerende (kjemikalier, flytende bulk). Oppover Glomma går det små og mellomstore skip (maks 140 m), mens Øra håndterer skipsstørrelser opptil bulkskip. I 2008 hadde Borg havn 1932 anløp, av dette var 69 prosent på de offentlige anleggene (1003 på Øra og 321 på Alvim). 45 prosent av den totale trafikken er i dag kontainertrafikk (alt knyttet til Fredrikstad), og denne andelen er stadig økende. 90 prosent av de totale godsmengdene går til det regionale næringslivet.

Lundestad sier at Borg havn ikke er spesielt sårbar for klimapåvirkning i dag, og at han ikke regner med at anleggene deres kommer til å bli nevneverdig påvirket av klimaendringer de nærmeste åra, men at en vil sette inn tiltak etter behov. Strategiplanen for Borg havn for perioden 2010-2015 inneholder ingen omtale av sårbarhet for eller tilpasning til klimaendringer. En ser ikke på mudring og endring av strømmer som potensielle problemer. Dersom det blir mer vind i framtida vil det kunne påvirke laste- og losseoperasjoner. Av skipene som anløper Borg havn, er det særlig containerskipene som er sårbare for sterk vind (over 20 m/sek), ettersom de har stort vindfang. Dersom det blir flere perioder med sterk kuling og liten storm vil det føre til forsinkelser i lasting og lossing. Sett i lys av at kontainertrafikken er økende, noe som er en generell trend i sjøfarten, kan sårbarhet for vind ved havneoperasjoner bli en enda større utfordring i framtida.

Institusjonell sårbarhet

Det har blitt pekt på at det statlige ansvaret for havnesektoren er fragmentert og at dette bidrar til mangelfull utvikling av det økonomiske potensialet i sjøtransport av gods. Vi har ikke kunnet gå inn på vurderinger av hvorvidt styringsstrukturene virker inn på transporthavnenes evne til å drive tilpasning til klimaendringer. Videre

²³ Rapporten, som ble utgitt med bakgrunn i IPCCs fjerde hovedrapport, er udatert, men basert på referansebruken kan vi slå fast at utgivelsesåret var 2008. Rapporten kan lastes ned fra www.pianc.org.

gjelder det som NOU Klimatilpasning har påpekt; nemlig at det statlige ansvaret for å følge opp problemer knyttet til havnivåstigning ikke er definert.

Sårbarhet kommunal og fylkeskommunal transport

Naturlig sårbarhet

Som omtalt i delrapport 1, har CICERO og COWI (2008) pekt på at sikring av alternative ruter for transport vil være den viktigste måten å redusere sårbarheten for klimaendringer i transportsektoren. Under skal vi se nærmere på hvordan spørsmålet om transportberedskap og sikring av alternative transportruter blir behandlet av offentlige etater i Hordaland, og hvordan temaet blir vurdert av våre informanter.

Hordaland fylkeskommune utarbeidet i 2005 dokumentet "Transportberedskap Hordaland 2005 med analyse av risiko og sårbarhet" (Strøm mfl. 2005). Rapporten, som går under benevnelsen "TransportROS", hadde bakgrunn i at fylkeskommunen overtok ansvaret for transportberedskapen i og med at den tidligere sivile transportberedskapsorganisasjonen (TBO) ble nedlagt 1. juli 2005. TransportROS tar utgangspunkt i ekstraordinære situasjoner og analyserer hvilke transportbehov slike hendelser kan utløse. Slik sett er den ikke egnet til å si så mye om de daglige utfordringene den kommunale og fylkeskommunale transporten støter på i møte med dagens og morgendagens klima. Dokumentet berører likevel sårbarheter i transportsystemet og noen klimarelaterte hendelser som gjør at det er av interesse for vårt formål.

TransportROS går gjennom 15 uønskede hendelser som ble analysert i FylkesROS for Hordaland (Fylkesmannen i Hordaland 2004). Dette er hendelser som kan medføre et ekstraordinært, regionalt transportbehov. Gjennom en beredskapsanalyse blir fem "dimensjonerende beredskapshendelser" identifisert og beskrevet, med krav til type transport og kapasitet som skal til for å imøtekomme transportberedskapsbehovet. En av disse fem gjelder flom i flere vassdrag, og det skisseres et scenario som går ut på at ekstremnedbør kombinert med snøsmelting fører til samtidig flom i vassdragene ved Eidfjord, Etne, Modalen, Voss/Evanger og Vaksdal. Skadene omfatter bygninger mens Etne og Mo også har brudd i vegsambandet. I følge scenarioet er Bergensbanen, Riksvei 7 i Øvre Eidfjord og E16 Lønnavatnet (Voss) brutt i to døgn pga. utrasing fra flomvann. Scenarioet beskriver hvilke beredskapsressurser som trer i kraft og hvor stort transportbehov som må møtes: Innen ett døgn må det mobiliseres 10 busser i lokal beredskap, 2 fartøy for persontransport av minst 100 personer og varer, ekstra ferje Kvanndal - Kinsarvik og 10 ekstrasusser daglig t/r mellom Bergen og Oslo via Haukeli. TransportROS inneholder også en ressurskartlegging i form av kommunevise lister over aktører som inngår i transportberedskapsordningen, med opplysning om hvilke ressurser (kjøretøy, fartøy) den enkelte disponerer. Det er ikke identifisert et gap mellom operative mål (behov i en krisesituasjon) og faktisk ressurstilgang, men det pekes på at i én av de dimensjonerende beredskapshendelsene, ødeleggelse av kritisk infrastruktur (Sotrabraua), vil rekvirering av ferjer og teknisk tilstand på kaianlegg være kritiske faktorer.

Den oppdaterte FylkesROS for Hordaland fra 2009 har følgende oppsummering av temaet stengte veger, inklusiv en vurdering av sannsynlighet og konsekvenser ved vegstenginger av lengre varighet (Fylkesmannen i Hordaland 2009:103):

På riks- og fylkesvegane i Hordaland varierer trafikkmengda, og samfunnet er meir avhengig av enkelte delar av vegnettet enn av andre delar. Nokre delar av vegnettet er meir risikofylte og sårbare enn andre delar. Det er i gang eit arbeid med å skape eit meir robust og mindre sårbart vegsystem, og Statens vegvesen gjennomfører no ROS-analysar og etablerer ein plan for omkøyning for riks- og fylkesvegane. Målet er at alle viktige vegar skal ha omkøyringsveg. På omkøyringsvegane kan det vere vanskeleg å halde oppe same kapasiteten som på hovudkorridorane. Vegstenginga kan mellom anna kome av naturhending, trafikkulykke, brann eller teknisk svikt.

Sannsynet for stenging av vegar på grunn av uønskte hendingar varierer. Kvart år er det mange vegar i fylket som vert stengde, både for kortare og lengre tid. Sannsynet for ei lengre stenging er generelt vurdert til lite sannsynleg.

Konsekvensane for liv og helse og miljø er vurdert til moderate, medan dei økonomiske konsekvensane kan verte store.

For kommunal og fylkeskommunal vegtransport er den største utfordringen knyttet til sårbarhet ved lengre vegstengninger i områder uten omkjøringsalternativer, i første rekke kyst- og fjordstrøk på Vestlandet og i Nord-Norge.

Samfunnsøkonomisk sårbarhet

Under avsnittet om naturlig sårbarhet for kommunal og fylkeskommunal transport, gikk vi gjennom TransportROS for Hordaland, der transportbehovet ved ekstraordinære hendelser er utredet. Driftssjef Gunnar Kråkenes peker på at mange av vegene i Hordaland som mangler omkjøringsalternativer i tilfelle stenging, har et transportvolum som er så stort at det ikke lar seg gjøre å håndtere med ferjetransport. Kapasitetsproblemet er delvis knyttet til manglende oppstillingsplasser for kjøretøy. Dermed står en tilbake med kriseløsninger som skyssbåt for å frakte folk, mens det må innføres strenge prioriteringer når det gjelder godstransport.

Institusjonell sårbarhet

Under avsnittet om naturlig sårbarhet for veg, er det med et sitat fra FylkesROS for Hordaland, som viser til at Statens vegvesen gjennomfører ROS-analyser og etablerer planer for omkjøring for riks- og fylkesvegene. Beredskapsansvarlig i Statens vegvesen Region vest opplyser at etatens arbeid med å kartlegge sårbare punkter langs vegnettet i regionen, ikke har kommet skikkelig i gang, selv om det har gått fem år siden dette arbeidet ble initiert fra Samferdselsdepartementet under navnet SamROS. Hans inntrykk er at arbeidet heller ikke har startet opp i de andre vegregionene.²⁴ Som forklaring på at dette arbeidet ikke er kommet i gang, vises det til generelt arbeidspress og at "ting tar tid". I Vegdirektoratet får vi opplyst at det er én av vegregionene, Region øst, som har gjort noe arbeid på SamROS, mens de fire andre regionene så langt bare har skaffet seg verktøyet som skal brukes.²⁵ I den grad et slikt arbeid blir utsatt i lang tid eller eventuelt lagt vekk, vil det bidra til å hindre en ønskelig reduksjon av sårbarheten i vegtransporten, noe som også vil ramme kommunal og fylkeskommunal transport.

Usikkerhet

I tabellene under har vi oppsummert de typene usikkerhet som er omtalt over når det gjelder vurdering av klimasårbarhet.

Tabell 27 Usikkerhetsprofil for vurdering av klimasårbarhet for veier og havner

Typer usikkerhet	Lokalisering av usikkerheten		
	Klima	Natur	Samfunn
Veger			
Grunnleggende usikkerhet	Mekanismene som styrer ekstremvind	Mangler kunnskap om sammenhengen mellom enkelte klimaparametre og ulike typer skred	
Modellusikkerhet	Forekomst av ekstremvind og terrengmodellering av vind	Forekomst av økt skred- og flomfare	
Skalausikkerhet	Regional fordeling av nedbørsendringer og ekstremværhendelser	Regional fordeling av flom, særlig regnflom i mindre vassdrag	Regional fordeling av framtidig person- og godsmobilitet
Datausikkerhet	Lokale data om tidligere tilfeller av ekstremnedbør	Lokale vurderinger av flomfare	Lokal kunnskap om standard på veinettet
Havner			
Grunnleggende usikkerhet	Mekanismene som styrer ekstremvind		
Modellusikkerhet	Endret forekomst av vind og bølgehøyde		
Skalausikkerhet	Regional fordeling av vind og bølgehøyde		Regional fordeling av transportomfang til sjøs
Datausikkerhet			

Konklusjon

Når det gjelder *naturlig sårbarhet* for klimaendringer på vegnettet kan det se ut til at Østlandet er den landsdelen som får de mest negative endringene i klimabelastning for vegnettet mot midten av dette århundret, selv om det fremdeles vil være kysten av Vestlandet og Nordland som også i framtida får de største nedbørmengdene og kraftigste ekstremnedbøren. Klimautfordringene i vegsektoren er særlig knyttet til de økte vannmengdene, både i form av flom og nedbørsutløste skred. For offentlig vegtransport er den største utfordringen knyttet til sårbarhet ved lengre vegstengninger i områder uten omkjøringsalternativer, i første rekke kyst- og fjordstrøk på Vestlandet

²⁴ Oddvar Sørensen, Statens vegvesen Region vest, personlig opplysning.

²⁵ Gordana Petkovic, Vegdirektoratet, personlig opplysning.

og i Nord-Norge. Noen av fylkene med mange havner/stor godsmengde har også den største forventede havnivåstigningen (Hordaland og Rogaland). Det er likevel vind og bølger som ser ut til å være kritiske faktorer for naturlig sårbarhet i sjøfarten, særlig knyttet til havneoperasjoner. Framskrivinger av vind er generelt usikre; våre verstefallsscenarioer tyder på økt vindhastighet om høsten og mindre vind om vinteren. Uavhengig av utviklingen i middelvind vil mindre havis i nordområdene kunne gi større bølger i Nord-Norge pga større strøklengde, med økt påkjenning på moloer som resultat.

To forhold står sentralt når det gjelder *samfunnsmessig sårbarhet* for kommunale og fylkeskommunale veger: Kvalitet på vegene i forhold til trafikkbelastningen og vedlikeholdsetterslep (forfall) på vegnettet. Fylkesvegnettet er preget av gamle veger med dårlig bæreevne og svakt dreneringssystem, som blir utsatt for kjøretøy og transportvolum de ikke er konstruert for å takle. I tillegg har det i mange tilfeller blitt lagt asfalt ut på vegskuldrene som ikke er fundamentert for å tåle trafikken. I bratt terreng har slik utvidelse av vegen gått ut over dreneringskapasiteten. Administrativ oppgradering av deler av vegnettet i 1995 førte til høyere aksellast og slutt på telerestriksjoner, som i kombinasjon med tyngre kjøretøy og høyere trafikkbelastning aksellererte forfallet på mange fylkesveger (og riksveger). Det er et omfattende vedlikeholdsetterslep på fylkes- og kommunevegnettet, selv om det i det siste har blitt tatt grep for å redusere forfallet og bevare vegkapitalen. Investering i nye veger framfor drift og vedlikehold, underbudsjettering av nybygg, samt eskalerende driftsutgifter på nye veg- og tunnelstrekninger er med på å forklare det dårlige vedlikeholdet gjennom mange år.

Havner har en økonomisk levetid på 30-50 år. Gitt at havnivåstigningen ikke blir raskere enn dagens framskrivinger antyder, vil man derfor trolig klare å tilpasse havneinfrastrukturen som ledd i ordinær fornyelse. Dersom det blir mer sterk vind i framtida vil det føre til forsinkelser i havnene, noe som kan utløse behov for flere kaier og større lagerkapasitet på land. Dette gjelder særlig for containerskip som har stort vindfang (og gass-/oljetankere), en sårbarhet som forsterkes ved at containertrafikken får en stadig økende andel av sjøtransportene.

Den *institusjonelle sårbarheten* i vegsektoren kan blant annet knyttes til kontraktssystemet for drifts- og vedlikeholdsoppgavene på riks- og fylkesvegene. Kunnskap om det lokale vegnettet blir i liten grad i overført ved fornyelse av drifts- og vedlikeholdskontrakter. Kartgrunnlag og andre verktøy kan til en viss grad kompensere for den inngående lokalkunnskapen hos de gamle vegmestrene, men det er et problem at deler av driftspersonellet ikke behersker eller kjenner til disse verktøyene. Slike utfordringer forsterkes av at det ikke stilles formelle krav om kompetanse ved drift og vedlikehold. Mangelfulle systemer for kompetanseheving og kvalitetssikring øker den institusjonelle sårbarheten i vegsektoren. For å redusere klimasårbarheten for kommunal og fylkeskommunal transport er det viktig at utsatte partier på vegnettet blir kartlagt og utbedret. Her har metodeutvikling innenfor Vegdirektoratets etatsprosjekt "Klima og transport" lagt til rette for slike aktiviteter i framtida. Vegregionenes mangelfulle oppfølging av Samferdselsdepartementets kartleggingsinitiativ SamROS gjennom fem år, viser at tilgjengelige verktøy ikke er nok, og at institusjonelle barrierer bidrar til det totale sårbarhetsbildet.

Kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon

Innledning

Vi kan skille mellom primær- sekundærvirkninger av forventede klimaendringer. Primærvirkninger vil omfatte hvordan klimapåkjenninger gir effekter for kraftforsyningsnett og elektronisk kommunikasjonsnett, og vil i hovedsak være rettet mot eiere/forvaltere og driftere av nettene. Sekundærvirkninger av klimaendringer omfatter konsekvenser for drift av tjenester, bygninger og anlegg av strømskifte. Det er den siste typen virkninger som trolig er mest omfattende for kommuner og fylkeskommuner. Vi går i dette kapitlet gjennom både primær- og sekundærvirkninger for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon. Det refereres kort til funn fra kunnskapsstatusen i delrapport 1, før en mer grundig gjennomgang av de utvalgte klimaparmetrene relatert til funn i delrapport 2, med en gjennomgang av regionale variasjoner innenfor det enkelte klimaparameter. Avslutningsvis er det gjort en enkel studie av casekommuner og påvirkning innefor det enkelte klimaparameter.

Generelt om klimasårbarhet

Strømbrydd er kanskje den mest kritiske effekten av økte klimapåkjenninger på infrastruktur for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon. Det er flere kritiske kommunale og fylkeskommunale tjenester/samfunnsoppgaver som vil bli hardt rammet av et strømbrydd. Når strømtilførselen stanser, påvirkes bl.a. de fleste aktivitetene for å sikre liv og helse for kommunens innbyggere. Kommunikasjon ift. beredskapsansvar, koordineringsansvar, varsling og utrykning (politi, brann, ambulanse) rammes. Gjennomføring av kommunale tjenester som drifting av

kommunaltekniske tjenester, helsetjenester, sykehus (fylkeskommunalt eid) og sykehjem vil i stor grad bli påvirket.

Temperaturøkninger kan medføre høyere last pga økt kjølebehov på sommeren, og dermed, i kombinasjon med høyere lufttemperatur, linjesig som igjen kan medføre jordslutning/kortslutning og strømbrudd.

Temperaturøkninger (og mer nedbør) kan gi økt tilvekst av vegetasjon. Med mindre innsatsen i form av skogrydding økes kan dette medføre økt risiko for strømbrudd – særlig i sammenfall med linjesig. På den annen side kan høyere vintertemperaturer medføre lavere last, og dermed lavere påkjenninger på nettet vinterstid.

Forbruket over året jevnes ut.

Primærvirkninger av temperaturendringer på IT vil i første rekke være knyttet til kjølebehov av IKT-utstyr. Her vil plassering av utstyr være av stor betydning for kjøle- og kraftbehov. Utvikling av såkalte grønne IT-lagre i fjellhaller er i økende grad tatt opp i media.

Temperaturøkninger kan medføre økte krav til beredskap, særlig i varme perioder på sommeren.

Høyere vintertemperaturer kan gjøre at et strømbrudd om vinteren blir litt mindre kritisk, men dette er en problemstilling som er nært knyttet til samfunnsrelaterte og sosiale problemstillinger og er ikke videre vurdert her.

Det er en gjensidig avhengighet mellom av kraftforsyning og IT, ved at kraftforsyningsanleggene styres av elektroniske kommunikasjonssystemer som er avhengige av strøm. Dvs at vi har både sekundærvirkninger på elektronisk kommunikasjon og tertiærvirkninger av at elektroniske kommunikasjonssystemer faller ut. IKT-sikkerhet og beredskap ift strømbrudd må derfor omfatte alle former for styringssystemer der elektroniske kommunikasjonssystemer er i bruk.

Økt risiko for strømbrudd vil øke sårbarheten til elektroniske kommunikasjonssystemer og -nettverk på grunn av avhengigheten av strøm. Den gjensidige avhengigheten mellom elektroniske kommunikasjonssystemer og kraftforsyning vil også øke sårbarheten for rask igangsetting av kraftforsyningen. Sekundærvirkninger vil øke behovet for beredskapsplaner og alternative strømkilder for drift av elektroniske kommunikasjonssystemer ved mulig strømskans, spesielt sårbart er mobilnettet der det i svært liten grad er utbygget/tilrettelagt for nødstrømsanlegg til master og antenner. Fasttellenettet er langt bedre sikret for drift ved strømbrudd.

Under er sammenfattet de viktigste effektene av klimaendringer for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon.

Tabell 28 De viktigste effektene av klimaendringer for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon

Klimaparameter	Påkjenning	Effekt – mulig skade
Vind	Ekstremvind	Skade på master, nett og bygninger ved direkte påkjenning eller ved trefall
	Nedslag av salt	Overslag pga. saltbelegg på isolatorer og gjennomføringer
	Havflommer (stormflo, springflo)	Utfordringer knyttet til lavtliggende kraftforsyningsanlegg
Nedbør	Flom	Utsatte kraftforsyningsanlegg kan bli satt under vann, mulige skader på fundamenter, bygninger, og nett
	Store mengder snø	Vegetasjon kan legge seg over linjenettet, mulig kortslutning med strømbrudd og andre skader på nettet. Snømengder kan vanskeliggjøre lokalisering og reparasjon
	Intens nedbør	Skred (jord- og leirskred, snøskred) kan gi skader på bygninger, fundamenter, master og nett
	Tørkeperioder	Økt skogbrannfare. Mulig skade bygninger og nett
Temperatur	Veksling mellom fryse- og tineperioder	Frostsprengning kan medføre forvitring på betong og steinkonstruksjoner. Mulig skade på bygninger, fundamenter, master og nett
	Høye sommertemperaturer	Linjesig kan medføre kontakt mellom kraftledning og vegetasjon med påfølgende jordslutning. Overbelastning av nettet pga belastning ved kjøling av bygninger og anlegg kan føre til strømbrudd
Ising	Ising og snø på linjer	Kan medføre store mekaniske påkjenninger og brudd i kraftledningen eller annen skade på linjen

Et viktig poeng når det gjelder klimasårbarhet for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon er å ha oppmerksomheten rettet mot mulige effekter av sammenfall i endringer for ulike klimaparametre, slik som:

- Kombinasjonen høy luftfuktighet og høy temperatur kan medføre råde i treverk (stolper, bygninger)
- Kombinasjon av høy temperatur, fuktighet og uværsfrekvens har en mulig effekt på lynaktivitet. Lyn er en betydelig årsak til avbrudd i dag.

- Temperatur og fukt påvirker vegetasjonstilveksten. Om linjer og vegetasjon kommer i berøring medfører dette jordslutning
- Samtidig snøfall og vind, eller ising og vind, gir økt mekanisk påkjenning og fare for skade på linjer. Herunder fare for trefall på linjer.
- Utfordringer for kraftforsyningens reparasjonsberedskap når andre infrastrukturer blir berørt samtidig. Ekstremvær kan gi problemer med å komme fram og dermed gi lange avbrudd som følge av vanskelige arbeidsforhold for de som skal reparere skader.

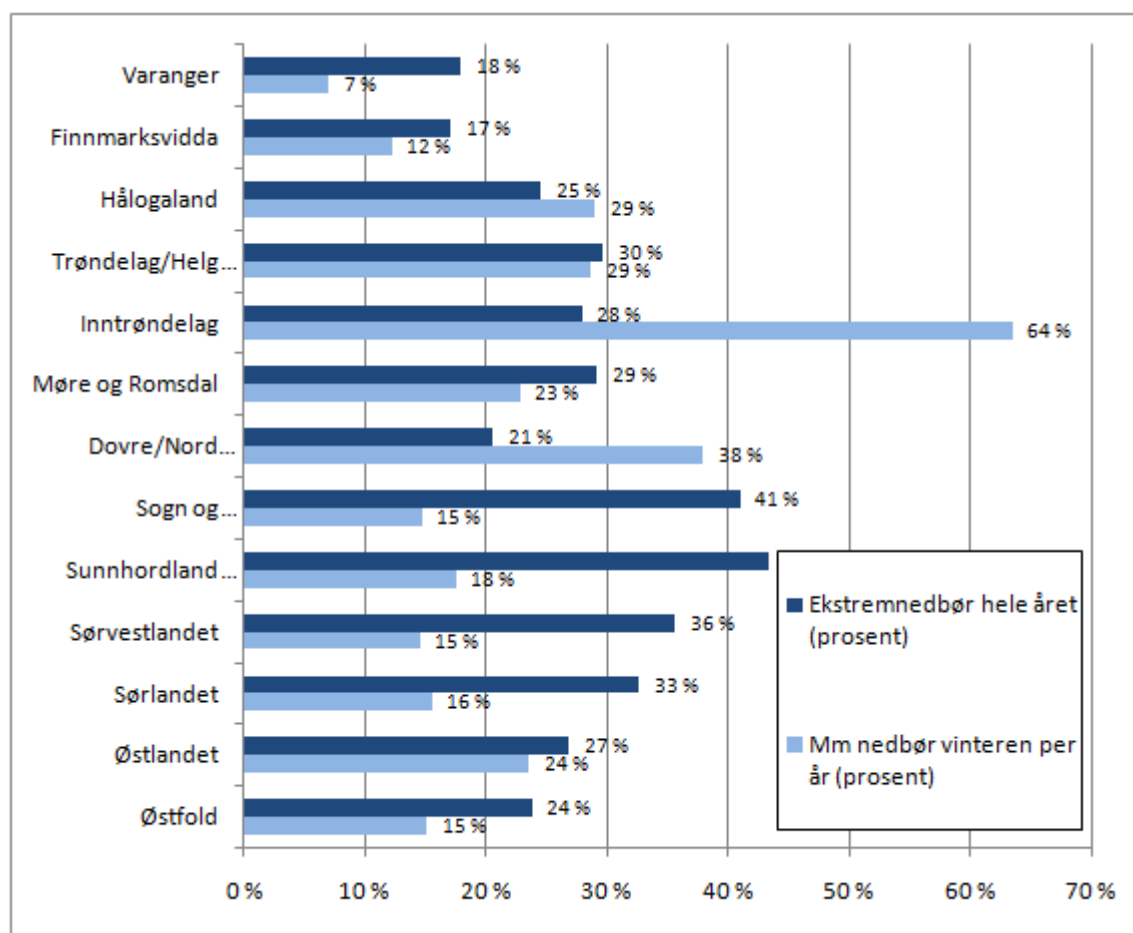
Den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten ansees å være moderat men økende. Samfunnet er i stadig økende grad IT-avhengig. Dette gjelder i forhold til bruk av IT som kommunikasjons- og lagringsmedium, men spesielt og i utbredt grad til systemstyring av offentlige tjenester som offentlig energiforsyning, vannforsyning, pumpe- og renseanlegg, driftsanlegg for bl.a. varmeanlegg i bygninger, styring av alarm- og redningssentraler, elektroniske kommunikasjonssystemer for beredskap osv. Samfunnsøkonomisk sårbarhet knyttet til infrastruktur for elektronisk kommunikasjon er med andre ord tett bundet til energileveranser. Denne avhengigheten vil være gjensidig, ettersom styringssystemer for energileveranser og drift av kraftstasjoner er styrt av elektroniske kommunikasjonssystemer/IKT. Igangsetting av kraftleveransen etter et strømbrydd vil derfor være avhengig av nødstrøm.

Selv om det innenlandske energiforbruket samlet sett ikke har økt i Norge det siste tiåret, er det rimelig å forvente at etterspørselen etter elektrisitet – og dermed avhengigheten av stabil overføring av elektrisitet – vil øke framover som følge av tiltak for å redusere klimagassutslipp. Tre eksempler er oppvarming, drift av oljeinstallasjoner offshore og transport (for eksempel el-biler). Videre er det stor aktivitet når det gjelder å øke utbyggingen av fornybar energi, noe som gir en potensiell økt belastning på linjenettet, og samtidig et linjenett med behov for rehabilitering vil øke sårbarheten i energileveransen.

Et potensielt vedlikeholdsetterslep på linjenettet, forårsaket av aldring av nettet, vil kunne ramme kommuner og fylkeskommuner.. Men til forskjell fra bygg og veier har ikke kommuner eller fylkeskommuner ansvar for å rette opp dette i og med at de ikke er eiere av linjenettet og IT-nettet. Kommuner og fylkeskommuner vil likevel kunne rammes av problemer som skyldes dette potensielle vedlikeholdsetterslepet.

Regionale variasjoner

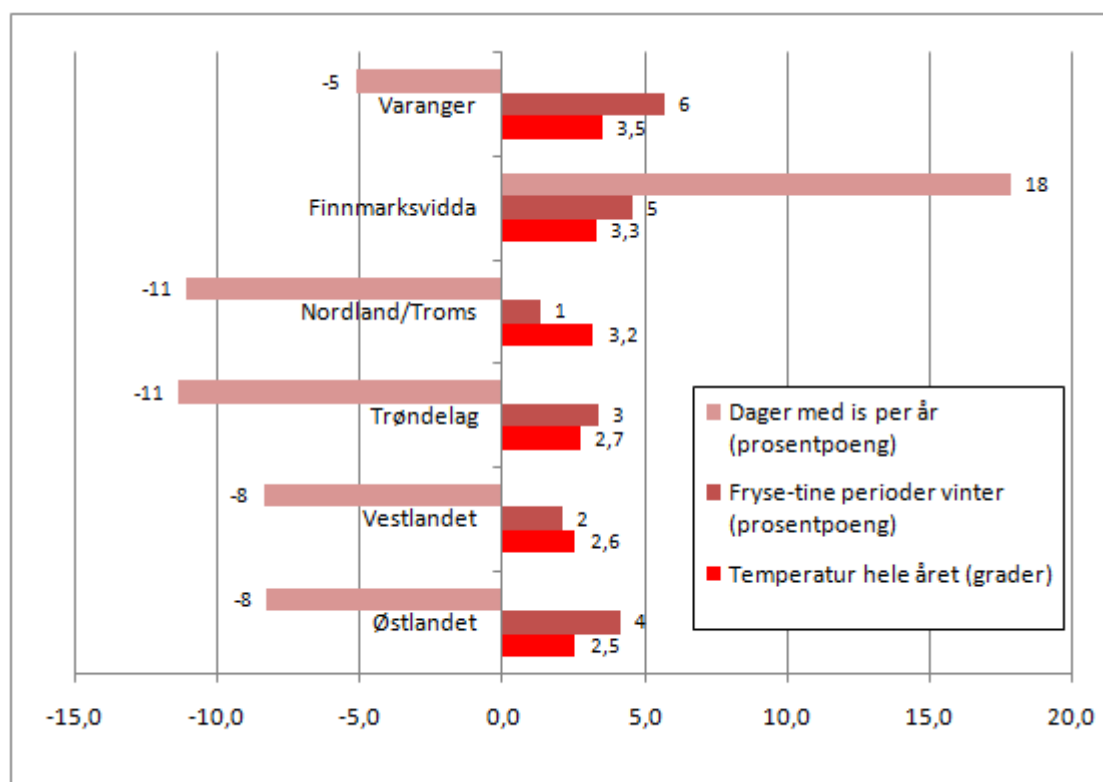
Under er vist en sammenstilling av den regionale variasjonen for noen av klimaparametrene som antas relevante for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon. For de nedbørrelaterte klimaparametrene (ekstremnedbør hele året og vinternedbør) ser vi en generell tendens til minst prosentvis økning i Nord-Norge og på Østlandet og størst økning i Trøndelag og på Vestlandet.



Figur 41 Indekserte verstefall forventede prosentvise endringer i nedbørsrelaterte klimaparametre som antas å være relevant for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon. Endringer i 2050 ifht perioden 1960-1991 (100 = landsgjennomsnitt)

For de temperaturrelaterte klimaparametrene ser vi for årstemperatur en generell nord-sør akse, med størst absolutt økning i nord og minst i sør. For prosentvis endring i dager med is og fryse-tine perioder om vinteren ser vi en noe annerledes fordeling, med mest positiv utvikling (i betydningen størst reduksjon eller minst økning) i Nordland, Trøndelag og på Vestlandet, og minst positiv utvikling i Finnmark og på Østlandet.

Vind er utelatt i figuren pga den store usikkerheten og de relativt små endringene nasjonalt (- 0,2 % i sekundmeter i gjennomsnitt for hele landet og over året). De små absolutte tallene gir lett at vi får store forskjeller i prosentvise endringer, noe som gir svært store utslag i regionale forskjeller ved indekseringen som er gjort i figurene over.



Figur 42 Indekserte verstefall forventede prosentvise endringer i temperaturrelaterte klimaparametre som antas å være relevant for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon. Endringer i 2050 ifht perioden 1960-1991 (100 = landsgjennomsnitt)

Både resultatene fra Bjerknessenteret og Klima i Norge 2100 viser at Norge blir *varmere* for alle landsdeler og for alle årstider. Imidlertid kan det forventes størst oppvarming i nordlige regioner, og særlig om vinteren. Dette kan oppfattes som gunstig mht sårbarhet i kraftforsyningen: Makslasten, særlig i de nordlige områdene, kan bli lavere. Oppvarmingen vil iht. scenarioene være størst om vinteren og i områder der det ikke er mye skog i dag. Problemer knyttet til økt tilvekst av vegetasjon vil også kunne bli et problem i områder med mindre vegetasjon i dag. Det betyr at der man i fremtiden vil kunne få problemer med vegetasjon ift. linjenettet, der det i dag ikke er et problem.

Økning i *antall fryse/tine sykluser* gir økt frostsprengning og økt forvitring på betongkonstruksjoner som fundamenter og bygninger. Dette gjelder både kraftforsyning og elektronisk kommunikasjon. Analyseresultater viser at antall fryse-tine perioder vil høye i noen regioner (for eksempel høytliggende områder og Finnmarksvidda om vinteren og høsten) og andre vil få nedgang (kystnære områder i alle 3 sesongene når 0-passeringer skjer). Dette betyr at problemer med frostsprengning/forvitring vil tilta i høytliggende områder og på Finnmarksvidda, mens de kan avta langs kysten. "Nye" selskaper må med andre ord være oppmerksomme på problemet.

Eventuelle *tørkeperioder* med påfølgende skogbrannfare medfører risiko for kraftnettet. Mer nedbør og tilhørende luftfuktighet (i kombinasjon med høyere temperaturer) kan gi økende problemer med råte, f.eks. i trestolper og bygninger. Ved flom vil utvasking og påfølgende utglidning av fundamenter og nedrivning av stolper og master kunne være et problem. Økt nedbør og mulig påfølgende flom vil derfor øke sårbarheten til kraftforsyningsinfrastrukturen og gi økt risiko for strømbrydd. De siste somrene har skogbranner herjet særlig på Sørlandet. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) har blant annet bidratt til en forsøksordning for å stimulere til at ledelsespersonell fra andre brannvesen bidrar med koordinering av skogbrannslukningsarbeid²⁶. Det kommunale og interkommunale brannvesenet samarbeider tett med DSB for å iverksette brannforebyggende tiltak.

Vinternedbør vil kunne komme både som våt og tørr nedbør. Dette vil kunne øke belastningen på linjenettet ved at store mengder snø kan feste seg på linjene, eller at vegetasjon kan legge seg over linjene. Dette kan medføre store mekaniske påkjenninger og brudd i kraftledningene eller annen skade på linjenettet. Elektroniske

²⁶ www.nrk.no/nyheter/distrikt/sørlandet

kommunikasjonsnett, master og antenner vil være tilsvarende sårbart som kraftforsyningsnettet i forhold til nedbør. Mobilnettet er imidlertid ikke like sårbart som fastlinjenettet for tele, ettersom det i større grad er basert på trådløse system. Fasttelefonnettet vil være tilsvarende utsatt som kraftforsyningsnettet for belastning ved store snømengder. Regn i store mengder vil kunne føre til utvasking av fundamenter for mobilmaster, men ettersom svært mange master er plassert på høyder og topper, vil dette sannsynligvis ikke være et stort problem. Nedbør og flom vil sannsynligvis ha større innvirkning på bygninger som rommer anlegg for elektronisk kommunikasjon/IKT, noe det vil være naturlig å vurdere i sammenheng med plassering av IKT-utstyr og bygningsutforming/-plassering. Økning av snølaste på antenner og master vil kunne være et problem. Økte snømengder, spesielt i kombinasjon med temperatursvingninger og vind, vil kunne gi økt fare for snøskred og derved øke sårbarheten til faste installasjoner/bakkenett som kraftlinjer, antenner, master/stolper og telelinjer.

Analyseresultatene viser at det blir mer *nedbør* i hele landet for alle årstider og i alle regioner. Vinternedbøren kan øke med over 40 prosent i deler av Øst-, Sør- og Vestlandet mot slutten av århundret. Sommernedbøren på Sør- og Østlandet anslås å avta mot slutten av århundret. Dette innebærer at en må være ytterligere på vakt mht råte over hele landet. På Sør- og Østlandet kan skogbrannfare medføre økt risiko i tørkeperioder, da dette vil kunne påvirke linjenettet både i forhold til kraftforsyning og fasttellenettet.

En økning i antall dager med *ekstremnedbør* vil medføre økt fare for skred og flom, som igjen f.eks. kan medføre utglidning av fundament for kraftmaster, vanninntrengning i transformator- og nettstasjoner etc. Resultatet er økt fare for strømbrudd.

Bjerknessenterets rapport viser at det ikke kan konkluderes med hensyn til utvikling i *ekstremvind* fremover. En eventuell økning i ekstremvind, eventuelt endring i vindretninger som medfører ekstremvind i andre områder enn der det er vanlig i dag, kan medføre at kraftledninger blir skadet f.eks. ved at trær faller over ledningene. Dette vil igjen medføre økt fare for strømbrudd.

Vind vil på samme måte som for kraftforsyningsnettet kunne gi på fasttelefonnettet f.eks. på grunn av trær som faller over linjenettet. Flere produsenter av basestasjoner for mobiltelefoner forsker på utvikling av såkalte grønne master, som skal kunne driftes på vind til kjøling og drift. Hvis man lykkes i utviklingen av slike master, vil dette kunne være et godt alternativ til nødstrømsaggregat og vil redusere både avhengighet og forbruk av levert energi.

En eventuell økning i ekstremvind vil stille større krav til beredskap. "Nye" selskaper og kommuner kan oppleve problematikken, ved at kommuner som tidligere ikke har hatt problemer med vind kan komme til å måtte etablere beredskap for sekundærvirkninger ved ekstremvind. Trefall over veier kan i tillegg vanskeliggjøre fremkommelighet/ reparasjon.

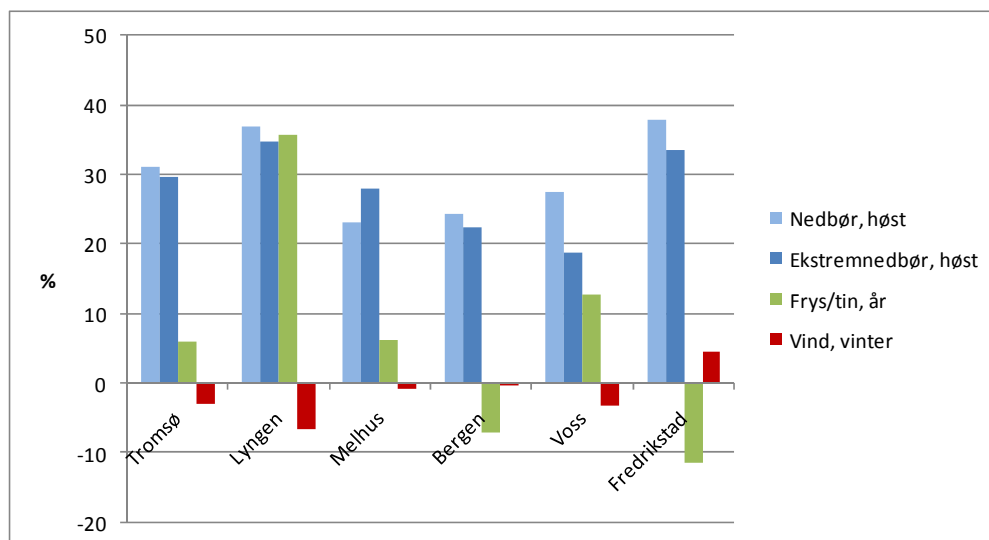
Resultatene gir ikke grunnlag for å si noe om regionale forskjeller på utvikling i vindforhold, men generelt vil det være sann at kraftnettet og det elektroniske kommunikasjonsnettet (faste installasjoner) er mer sårbart om vind opptrer i "nye" områder, f.eks. som følge av endringer i vindretning som gjør at vind kommer inn over områder lenger inn i landet, og gjerne med mye skog.

Resultatene indikerer at problemer med *ising* kan øke i indre strøk og avta i ytre strøk. Ising (og gjerne kombinert med vind) kan medføre for store mekaniske belastninger på luftledninger slik at disse ryker og resultatet blir strømbrudd. Dette vil kunne medføre samme mekaniske belastninger på telelinjer.

Analysene viser at temperaturforhold som legger til rette for ising vil få en økning i indre strøk, og særlig langt nord i temperaturregion 5, Finnmarksvidda, med mer enn 20 dager mer enn i normalperioden 1961-90. Det er samtidig en nedgang i isingstemperaturer over større områder i kystsonen og inntil 100 km innover langs kysten. Problemer med ising kan dermed forventes å opptre i andre områder enn der dette har vært vanlig tidligere.

Lokale caseanalyser

Det er gjort en enkel sårbarhetsanalyse av følgende casekommuner: Fredrikstad, Bergen, Voss, Melhus, Steigen, Lyngen og Tromsø. Sårbarhetsanalysen (med unntak for Steigen) er gjort som en enkel vurdering av klimapåvirkning og hvilke effekter dette kan ha for de kommunene i caseutvalget. Klimaparametrene som er lagt til grunn er vist i figuren under.



Figur 43 Endringer for ulike klimaparametre i de utvalgte casekommunene i 2050 ifht perioden 1960-1991, basert på verstefallsscenario

Fredrikstad

Analyseresultatene indikerer generelt høyere temperaturer i alle sesonger. Det forventes videre mer nedbør høst, vinter og vår, mens resultatene indikerer tørrere somre. Dette medfører at en må være oppmerksom på problemer som økt ettervekst av vegetasjon, linjesig, økt risiko for kraftforsyningen som følge av skogbrann, samt gi økende problemer med råte og eventuelt kraftige snøfall. For elektronisk kommunikasjon vil økte temperaturer kunne medføre økt kjølebehov til elektroniske kommunikasjonssystemer i spesielt varme perioder. Kraftige snøfall og flom kan medføre økt fare for strømbrudd.

En nedgang i antall fryse/tine perioder vil kunne ha noen positive effekter. Forventet havnivåstigning innen 2050 er moderat, det samme gjelder mulig stormflo. Dette kan gi konsekvenser for lavtliggende nettstasjoner, og kan påvirke elektronisk kommunikasjonsutstyr plassert i lavtliggende bygninger.

For alle forholdene som medfører økt sårbarhet, og da særlig i forhold til strømbrudd, gjelder det at kommunen må fokusere på tilpasning og ev. utarbeidelse av beredskapsplaner, herunder brannvern og kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttelenett og mobiltelenett.

Bergen

Analyseresultatene indikerer generelt høyere temperaturer i alle sesonger. Det forventes videre mer nedbør høst og vår (20 %). Dette medfører at en må være oppmerksom på problemer som økt ettervekst av vegetasjon og linjesig, med mulig strømbrudd som konsekvens. Videre kan dette gi økende problemer med råte. For elektronisk kommunikasjon vil økte temperaturer kunne medføre økt kjølebehov til elektroniske kommunikasjonssystemer i spesielt varme perioder.

En nedgang i antall fryse-/tine perioder vil kunne ha noen positive effekter. Forventet havnivåstigning innen 2050 er moderat, mens mulig stormflo er høy. Dette kan gi konsekvenser for lavtliggende nettstasjoner, og kan påvirke elektronisk kommunikasjonsutstyr plassert i lavtliggende bygninger.

For alle forholdene som medfører økt sårbarhet, og da særlig i forhold til strømbrudd, gjelder det at kommunen må fokusere på tilpasning og ev. utarbeidelse av beredskapsplaner, herunder kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttelenett og mobiltelenett.

Voss

Analyseresultatene indikerer generelt høyere temperaturer i alle sesonger. Det forventes videre mer nedbør vinter, høst og vår (10-20 %). Dette medfører at en må være oppmerksom på problemer som økt ettervekst av vegetasjon og linjesig, med mulig strømbrudd som konsekvens. Videre kan dette gi økende problemer med råte og ved eventuelle kraftige snøfall. For elektronisk kommunikasjon vil økte temperaturer kunne medføre økt kjølebehov til elektroniske kommunikasjonssystemer i spesielt varme perioder. Kraftige snøfall og flom kan medføre økt fare for strømbrudd.

En økning i antall fryse/tine perioder vil kunne ha en negativ innvirkning på strømforsyning og elektronisk kommunikasjon i form av økt forvitring på betong- og murkonstruksjoner, og natursteinsfundamenter.

For alle forholdene som medfører økt sårbarhet, og da særlig i forhold til strømbrudd, gjelder det at kommunen må fokusere på tilpasning og ev. utarbeidelse av beredskapsplaner, herunder kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttelenett og mobiltelenett.

Melhus

Analyseresultatene indikerer generelt høyere temperaturer i alle sesonger. Det forventes videre mer nedbør i alle sesonger, med størst økning om vinteren (> 30%). Dette medfører at en må være oppmerksom på problemer som økt ettervekst av vegetasjon og linjesig. Videre kan dette gi økende problemer med råte og ved eventuelle kraftige snøfall. For elektronisk kommunikasjon vil økte temperaturer kunne medføre økt kjølebehov til elektroniske kommunikasjonssystemer i spesielt varme perioder. Kraftige nedbørsmenger som regn og snøfall, flom, snøskred og jord-/leirskred kan medføre økt fare for strømbrudd.

Antall fryse/tine perioder vil øke om vinteren, liten endring ellers. Dette medfører økt sårbarhet i form av økt forvitring på betong- og murkonstruksjoner, og natursteinsfundamenter. Forventet havnivåstigning innen 2050 er liten, mens mulig stormflo er meget høy. Melhus har liten bebyggelse langs sjøen, men det kan gi konsekvenser for eventuelle lavtliggende nettstasjoner. Dette kan også påvirke elektronisk kommunikasjonsutstyr plassert i lavtliggende bygninger.

For alle forholdene som medfører økt sårbarhet, og da særlig i forhold til strømbrudd, gjelder det at kommunen må fokusere på tilpasning og ev. utarbeidelse av beredskapsplaner, herunder kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttelenett og mobiltelenett.

Steigen

Steigen i Nordland kan tjene som en illustrasjon på hvilke utfordringer lokalsamfunn kan stå overfor ved langvarige strømbrudd. I et samfunn som Steigen er strømbrudd ikke en uvanlig hendelse, og normalt har disse en relativt kort varighet (typisk under ett døgn) takler innbyggerne og en kommune som Steigen greit. Imidlertid var det ingen som forutså et strømbrudd av den varighet som man opplevde fra 25. til 30. januar 2007.

Kommunen oppfattet ikke situasjonen som en krise før etter flere døgn, og lenge var det en forventning om at strømmen ville komme tilbake innen forholdsvis kort tid. Det dukket etter hvert opp stadige nye problemstillinger i takt med at strømbruddet vedvarte, og mange forhold var det vanskelig å forestille seg kunne bli et problem før de faktisk oppsto. Et eksempel på en slik uforutsett konsekvens var at fyrene på kysleia inn til Hellnessund delvis ble slokt, noe som kunne ha satt skipstrafikken i fare.

Husabø (2010) beskriver hvordan krisa ble håndtert av kommunen og Fylkesmannen. Steigen kommune etablerte kriseledelse, og koblet inn strømlleverandør og andre eksterne aktører. Alle kommunale sektorer rapporterte til kommuneledelsen, som igjen sto i kontakt med Fylkesmannen. Ordfører Berit Woie-Berg uttalte seg slik like før strømmen kom tilbake: " Vi har ingen beredskapsplan for strøm som blir borte i flere døgn. Vi har aggregater på sykehjem, men all beredskap er basert på telefon. Men så forsvinner både alarmtelefon, sentralbord og alle andre linjer" (fra en kommunal rapport, sitert i Husabø 2010:28). Under et seinere evalueringsmøter i regi av Fylkesmannen i Nordland ble Steigen kommune ikke kritisert for mangel på beredskapsplanverk, men kommunen fikk beskjed om at de burde hatt bedre oversikt over beredskapsplanene til andre aktører.

Lyngen

Analyseresultatene indikerer generelt høyere temperaturer i alle sesonger. Det forventes videre mer nedbør i alle sesonger utenom våren, med størst økning vinter og høst (~ 20 %). Dette medfører at en må være oppmerksom på problemer som økt ettervekst av vegetasjon og linjesig. Videre kan dette gi økende problemer med råte og ved eventuelle kraftige snøfall. For elektronisk kommunikasjon vil økte temperaturer kunne medføre økt kjølebehov til elektroniske kommunikasjonssystemer i spesielt varme perioder. Kraftige nedbørsmenger som regn og snøfall, flom, snøskred og jord-/leirskred kan medføre økt fare for strømbrudd.

Det er forventet en økning i antall fryse/tine perioder om vinteren, ingen vesentlig endring ellers. Dette kan gi økt sårbarhet i form av økt forvitring på betong- og murkonstruksjoner, og natursteinsfundamenter.

Forventet havnivåstigning innen 2050 er moderat, mens mulig stormflo er meget høy. Dette kan få konsekvenser for eventuelle lavtliggende nettstasjoner, og kan påvirke elektronisk kommunikasjonsutstyr plassert i lavtliggende bygninger.

For alle forholdene som medfører økt sårbarhet, og da særlig i forhold til strømbrudd, gjelder det at kommunen må fokusere på tilpasning og ev. utarbeidelse av beredskapsplaner, herunder kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttellenett og mobiltellenett.

Tromsø

Analyseresultatene indikerer generelt høyere temperaturer i alle sesonger. Det forventes videre mer nedbør i alle sesonger utenom våren, med størst økning vinter og høst (10 – 20 %). Dette medfører at en må være oppmerksom på problemer som økt ettervekst av vegetasjon og linjesig. Videre kan dette kan gi økende problemer med råte og ved eventuelle kraftige snøfall. Kraftige nedbørsmengder som regn og snøfall, flom, snøskred og jord-/leirskred kan medføre økt fare for strømbrudd.

Det forventes en stor økning i antall fryse/tine perioder om vinteren (45 %), og 20 % nedgang om våren og høsten. Dette kan medføre økt sårbarhet i form av økt forvitring på betongkonstruksjoner herunder kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttellenett og mobiltellenett.

Det forventes at antall dager med temperaturer gunstige for ising reduseres med 15 % på årsbasis, dette gir en positiv effekt.

Forventet havnivåstigning innen 2050 er moderat, mens mulig stormflo er meget høy. Dette kan få konsekvenser for eventuelle lavtliggende nettstasjoner, og kan påvirke elektronisk kommunikasjonsutstyr plassert i lavtliggende bygninger.

For alle forholdene som medfører økt sårbarhet, og da særlig i forhold til strømbrudd, gjelder det at kommunen må fokusere på tilpasning og ev. utarbeidelse av beredskapsplaner herunder kommunikasjonsalternativer ved mulig bortfall av fasttellenett og mobiltellenett.

Usikkerhet

I tabellene under har vi oppsummert de typene usikkerhet som er omtalt over når det gjelder vurdering av klimasårbarhet.

Tabell 29 Usikkerhetsprofil for vurdering av klimasårbarhet for informasjonsteknologi og kraftforsyning

Typer usikkerhet	Lokalisering av usikkerheten		
	Klima	Natur	Samfunn
Grunnleggende usikkerhet	Mekanismene som styrer ekstremvind	Mangler kunnskap om sammenhengen mellom enkelte klimaparametre og ulike typer skred	
Modellusikkerhet	Forekomst av ekstremvind og terrengmodellering av vind	Forekomst av økt skred- og flomfare	
Skalausikkerhet	Regional fordeling av nedbørsendringer og ekstremværhendelser	Regional fordeling av flom, særlig regnflom i mindre vassdrag	Regional fordeling av etterspørsel etter og produksjon av el
Datausikkerhet	Lokale data om tidligere tilfeller av ekstremnedbør	Lokale vurderinger av flomfare	

Konklusjon

Kommuner og fylkeskommuner er ikke forvaltere av eller drifter kraftnett og elektroniske kommunikasjonssystemer. Samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet for klimaendringer i kommuner og fylker vil derfor være mer relevant å betrakte enn naturlig sårbarhet for klimapåkjenninger i infrastruktur for kraftleveranse og elektronisk kommunikasjon.

Negative konsekvenser av klimapåvirkning ifht kraftoverføring og IT vil primært være knyttet til strømbrudd og skader på kommunalt eid og fylkeseid infrastruktur og bygninger og gjenoppretting av kommunaltekniske tjenester. Videre vil det være knyttet til behov for utvikling av nye anlegg og nett for å minske sårbarheten for overbelastning på eksisterende nett. Effekter av klimaendringene viser at dimensjonering, materialbruk og utforming av fundamenter for økt robusthet i master og bygninger er av stor betydning. Tilgjengelighet til kraftnett og nett for elektronisk kommunikasjon vil også være avgjørende for rask reparasjon og gjenoppretting av kraftleveransen ved strømbrudd og skader.

Høyere vintertemperaturer kan gjøre at strømbrudd om vinteren blir mindre kritisk enn i dag, men dette er nært knyttet til samfunnsrelaterte og sosiale problemstillinger ift kommunal tjenesteyting. Ved strømbrudd i perioder

med frost vil bygninger og infrastruktur være spesielt sårbart ift frostskaider og vannlekkasjer, som hvert år fører til store forsikringsutbetalinger for reparasjon av skader forårsaket av vannlekkasjer på grunn av frostsprengning. Skader på grunn av frostsprengning og økt forvitring på betongkonstruksjoner som fundamenter og bygninger, forsterkes av vedlikeholdsetterslepet i kraftlinjenettet, som øker sårbarheten for klimapåkjenninger i linjenett, fundamenter, master og stolper.

Økt risiko for strømbrydd vil ytterligere øke sårbarheten til elektroniske kommunikasjonssystemer og -nettverk på grunn av avhengigheten av strøm. Utvikling av nye typer basestasjoner for som kan driftes på vind til kjøling og drift vil kunne være et godt alternativ til nødstrømsaggregat og vil kunne redusere både avhengighet og forbruk av levert energi. Det vil dessuten kunne bidra til bruk av mer bærekraftige løsninger for det mobile nettverket av basestasjoner. Gjensidige avhengighet mellom elektroniske kommunikasjonssystemer og kraftforsyning vil øke sårbarheten for rask gjenoppretting av kraftforsyningen. Elektroniske styringssystemer for kraftforsyningen er derfor avhengig av velfungerende nødstrømsløsninger.

For å senke belastningen på kraftnettet og minske sårbarheten til elektroniske kommunikasjonssystemer, blir utvikling av nye og mindre energikrevende løsninger for lokalisering av IKT-utstyr ift kjøle- og kraftbehov viktigere. Dette er primært knyttet til produsenter, og ikke omhandlet her. Men krav fra storbrukere som kommuner og fylkeskommuner av elektroniske lagringsmedier vil kunne sette fart i utviklingen av f.eks. fjellhaller til installasjoner som IKT-servere.

Økt risiko for forvitring og råteskader setter større krav til dimensjonering, utforming og materialvalg i nyetablering av linjenett, fundamenter, master og stolper. Dette er et ansvar som vil påligge de som utvikler og drifter slike nettverk. Samtidig vil et godt klimatilpasset linjenett minske sårbarheten for at kommunalt og fylkeskommunalt eid infrastruktur blir påvirket av påkjenninger som følge av nåværende klima og kommende klimaendringer. Mekaniske påkjenninger og brydd i kraftledningene eller annen skade på linjenettet er mulige følger av stor belastning pga snø.

Temperaturøkninger kan medføre økte krav til skogbrannberedskap, særlig i varme perioder om sommeren. Dette er særlig aktuelt for Østlandet, Sørlandet og sørlige deler av Rogaland. Særlige temperaturøkninger på Øst-, Sør- og deler av Vestlandet i den varmeste årstiden kan også føre til økt grad av linjesig og risiko for strømbrydd, særlig i kombinasjon med økt kjølebehov.

Økt skadegrad på linjenett som følge av økning i vegetasjonsvekst er en mulig konsekvens av klimaendringene. Tilvekst av vegetasjon vil kunne komme der det i dag ikke er slike problemer knyttet til linjenettet, f.eks. i Nord-Norge som forventes å få den største temperaturøkningen i landet.

Økning i antall fryse/tine sykluser kan gi frostsprengning og økt forvitring på betongkonstruksjoner som fundamenter og bygninger, både innen kraftforsyning og elektronisk kommunikasjon. Slike problemer kan avta langs kysten, men vil ventelig forsterkes i høyereliggende strøk og i deler av innlandet. Vedlikeholdsetterslepet i kraftlinjenettet bidrar ytterligere til økt sårbarhet for klimapåkjenninger i linjenett, fundamenter, master og stolper.

Værfenomenet ising vil ventelig avta i kyststrøk og et stykke innover i landet. I indre og høyereliggende strøk, særlig på Finnmarksvidda, forventes det en økning i forekomst av temperatur- og fuktforhold som gir ising vinterstid. Slike forekomster av ising kan i verste fall medføre strømbrydd pga. store mekaniske belastninger på kraftoverførings- og fasttelefonlinjer, som derved kan forventes å opptre særlig i Finnmark.

Oppsummering

Tematisk oppsummering

Analysene for arealforvaltning er delt inn i to: forvaltning av dyrka og dyrkbar mark og lokalisering av fysisk infrastruktur. For spørsmålet om forvaltning av dyrka mark har vi også tatt hensyn til mulige konsekvenser i Norge av klimaendringer i andre land gjennom en drøfting av mulige endringer i den globale matvaresikkerheten.

Den *globale matvaresikkerheten* vil sannsynligvis svekkes i fremtiden. Klimaendringer vil negativt forsterke den globale matvaresikkerheten i samspill med bl.a. befolkningsøkning, økt forbruk av kjøtt, peak oil og peak phosphoros.

Den *naturlige sårbarheten* når det gjelder jordbruksproduksjon i Norge er usikker. Det skyldes at det er stor usikkerhet omkring netto effekt av forventede endringer for de ulike klimaparametrene, i tillegg til at det er svært store lokale variasjoner i endringer av klimaparametre og de naturgitte forhold som kan bli påvirket av disse endringene.

Kombinasjonen av faktorer som lavt jordbruksareal per person, vedvarende tap av jordbruksarealer, begrensede ressurser med dyrkbar mark, vedvarende tap av jordbruksbedrifter, tap av tradisjonell kunnskap om bruk av utmarksressurser, og at Norge bare har 50 % nasjonal selvforsyning av mat på energibasis, gjør at vi samlet sett vurderer den *samfunnsøkonomiske sårbarheten* når det gjelder jordbruksproduksjon som høy.

Vestlandet og Nord-Norge skiller seg ut som de regionene der det er flest bygninger og boliger innenfor kartlagte aktsomhetsområder for *skred* (steinsprang og snøskred). De største *flomutfordringene* i forhold til bygninger med bosetting og tilhørende infrastruktur er i dag på Østlandet. Våre resultater tilsier at de regionene som i perioden 1961 -1990 hadde mest ekstremnedbør målt i millimeter, også blir de som får mest ekstremnedbør i 2050.

Vestlandskysten skiller seg ut her, deretter følger kysten av Nordland. Økningen i ekstremnedbør fram mot 2050 ser ut til å bli størst i østre deler av Sør-Trøndelag og nordlige deler av Hedmark, i Nord-Hordaland og områdene sør for Sognefjorden og i Nordland og deler av Finnmarkskysten. Dette tilsier at en del områder med store utfordringer i forhold til flom i dag, slik som Sogn og Fjordane og Hedmark får økte problem. Det er imidlertid knyttet stor usikkerhet til klimascenarioer for ekstremnedbør, og ikke minst til den geografiske fordelingen av nedbøren. Økning i skadeflommer som følge av ekstremnedbør må påregnes å øke i hele landet.

Det er et stort potensial for økning i personskafe og skade på eiendom som følge av økt ras- og flomfare utløst av klimaendringer, og det er store regionale variasjoner i dette risikobildet. Et økende utbyggingspress i områder med muligheter for økt risiko for naturskade og økende konkurranse om egnede utbyggingsarealer forsterker det samlede risikobildet. Eksisterende kunnskap om framtidige klimaendringer er ikke innarbeidet i statlige systemer for risikovurdering av skred og flom, men NVE har i sin strategiplan fra 2009 signalisert at dette skal rettes opp. Det er også uheldig at det fortsatt er uavklart hvor det statlige ansvaret ifht havnivåstigning og urban flom skal ligge.

Den *naturlige sårbarheten* når det gjelder *bygg* er vurdert å være middels. Det er et stort potensial for materiell skade og med store regionale variasjoner. Råteproblemer forventes å øke sterkt langs hele kysten og i indre deler av Østlandet og i Trøndelag.

Den *samfunnsøkonomiske sårbarheten* er vurdert å være middels og økende. Dette skyldes et generelt økende utbyggingspress og stor grad av klimarelaterte skader i nybygg og en økende bruk av like bygningstekniske løsninger uavhengig av klimasone og geografisk plassering. Dette kan føre til økt eksponering for klimaskader. Videre kommer at det stedvis er et stort vedlikeholdsetterslep i offentlige bygg.

Den *institusjonelle sårbarheten* er vurdert å være stor og økende. Eksisterende kunnskap om klimaendringer og kravsetting til klimatilpasning er ikke implementert i kommunale planer, virkemidler og prosesser. Den økte bruken av ROS-analyser er viktig, men disse mangler ofte omtale av risiko knyttet til klimaendringer. Det offentlige tilsyn i byggesaker er svekket det siste tiåret, og det er et manglende fokus på klimatilpasning i tilsynsaktiviteten. Det skjer også en forvitring av kompetanse om lokal klimatilpasning og lokal byggeskikk innen plan- og byggesaksfeltet.

Den *naturlige sårbarheten* for *vann og avløp* er vurdert som middels. Det vil trolig bli økte problemer med flom og oversvømmelse av avløpsnett og overvannsystemet, med tilhørende kjelleroversvømmelser og flom på urbane flater. Når det gjelder vannforsyning vil vi trolig oppleve dårligere råvannskvalitet i form av økte mengder av naturlig organisk materiale og økt mikrobiologisk aktivitet.

Den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten er vurdert til stor og økende. Dette skyldes to forhold: Et stort og økende vedlikeholdsetterslep kombinert med økende bygningstetthet og omfang av harde flater i tettsteder.

Den *institusjonelle* sårbarheten er vurdert til middels og økende. Det er vanskelig å rekruttere personell med relevant kunnskap og å vedlikeholde den institusjonelle kapasiteten i kommunene. Videre kommer usikkerhet knyttet til at det statlige ansvaret ifht urban flom ikke er avklart. I mange kommuner er det også en manglende vilje til å ta i bruk alternativ kunnskap når det gjelder håndtering av overflatevann.

Når det gjelder *veger* har vi vurdert den *naturlige* sårbarheten til moderat. Den viktigste klimaparameteren er nedbør, både endringer generelt, hvordan endringer fordeler seg på ulike årstider, og endringer i ekstremnedbør. I tillegg kommer temperaturøkning og endring i fryse-tine perioder som viktige parametre.

Den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten er vurdert til middels og økende. Dette skyldes særlig to forhold: Den økende mobiliteten og det store vedlikeholdsetterslepet. Bare det siste tiåret har persontransportarbeidet på veger økt med 13 %, mens økningen når det gjelder godstransport er prosentvis nesten dobbelt så stor; på 23 %. Anslag for vedlikeholdsetterslep varierer mellom 12 og 26 milliarder kroner for kommunale og om lag 11 milliarder kroner for fylkeskommunale veger - hvorav kanskje så mye som 80 % av dette er klimarelevante vedlikeholdskategorier (altså dårlig kvalitet som gjør vegene mer utsatt for negativ klimapåvirkning). I tillegg kommer den administrative oppgraderingen i 1995 av vegnettet (økt aksellast og oppheving av telerestriksjonene) som har økt belastningen for enkelte vegstrekninger. Samfunnsøkonomisk sårbarhet er også knyttet til manglende fysisk oppgradering av veinettet.

Den *institusjonelle* sårbarheten er vurdert til middels og stabil. Det skjer en generell nedbygging av relevant lokal kunnskap i offentlig forvaltning, gjennom nedskalering av offentlig administrasjon og privatisering av driftsoppgaver. For å kompensere for dette etableres omfattende kontroll, plan- og styringssystemer. Det oppstår også en sårbarhet knyttet til mangelfull planlegging, for eksempel manglende oppfølging av eksisterende nasjonale rassikringsplan (som heller ikke har tatt opp nye utfordringer knyttet til klimaendringer). Det har samtidig skjedd en viktig styrking av relevant kunnskap – i alle fall på nasjonalt nivå – gjennom Statens vegvesens etatsprosjekt "Klima og transport".

Når det gjelder *havner* har vi vurdert den *naturlige* sårbarheten til å være relativt lav. Dette skyldes at for havner isolert sett er havnivåstigning trolig ikke et stort problem pga. kort økonomisk levetid på havneinfrastrukturen (noe helt annet kan gjelde for baklandet til havnene, jf problemene med Bryggen i Bergen). Enkelte av klimamodellene tilsier redusert vind; noe som kan redusere sårbarheten deler av året (trolig størst utslag på Vestlandet). Her er usikkerheten imidlertid stor. På den andre siden kan en ventet reduksjon i havisen føre til større bølgehøyder og økt påkjenning på moloer og dekningsverk, og dermed økte problemer med havneoperasjoner (mest aktuelt i Nord-Norge).

Også for den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten har vi vurdert sårbarheten til lav, men svakt økende. Dette siste skyldes forventninger om økt sjøtransport i nordområdene. Dagens utskiftingstakt når det gjelder havner er i mange tilfeller raskere enn klimaendringene for de fleste kommunale kaier (kanskje med unntak av større byer). Og som påpekt over er infrastruktur bak kaiene, og da særlig i bysentra, ofte mer utsatt enn selve kaiene.

Den *institusjonelle* sårbarheten er vurdert til middels og stabil. Dette henger sammen med at ansvaret for havnivåstigning ikke er plassert nasjonalt og at det statlige ansvaret for havnesektoren er fragmentert; noe som gjør at styringssignaler omkring klimatilpasning innen havnesektoren lett oppfattes som utydelige.

Når det så gjelder *offentlig transport* har vi vurdert den *naturlige* sårbarheten til middels. For kommunal og fylkeskommunal vegtransport er den største utfordringen knyttet til sårbarhet ved lengre vegstengninger i områder uten omkjøringsalternativer, i første rekke kyst- og fjordstrøk på Vestlandet og i Nord-Norge. Den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten er vurdert til middels og økende. Dette knytter seg til det økende transportvolum på veier uten omkjøringsalternativer der transportvolum er så stort at det ikke lar seg gjøre å håndtere med ferjetransport. Videre at det er flere sårbare kriseløsninger der det mangler omkjøringsveier i form av skyssbåt for å frakte folk, mens det må innføres strenge prioriteringer når det gjelder godstransport. Den *institusjonelle* sårbarheten er vurdert til middels og stabil. Sårbarheten knytter seg her til manglende oppfølging innen Statens vegvesen av et initiert prosjekt som var ment å kartlegge sårbare punkter langs veinettet.

Generelt har vi vurdert den *naturlige* sårbarheten til middels. Det er imidlertid en lang rekke sammenhenger som kan gjøre seg gjeldende når det gjelder den naturlige sårbarheten for kraftoverføring og elektronisk kommunikasjon; noe som gjør bildet komplekst og derfor vanskelig å si noe sikkert om.

Ekstremvind kan føre til skade på master, nett og bygninger ved direkte påkjenning eller ved trefall. Her er det stor usikkerhet omkring en eventuell økning i ekstremvind; både om dette vil skje og hvordan dette eventuelt vil

fordele seg geografisk. Endringer i vind kan også føre til endring i saltbelegg på bl.a. isolatorer, som igjen kan skape problemer med overslag. Forventede økninger i storm og springflo kan gi utfordringer knyttet til lavtliggende kraftforsyningsanlegg. Økninger i flom kan gi økte problemer for utsatte kraftforsyningsanlegg ved at disse kan bli satt under vann, med bl.a. tilhørende mulige skader på fundamenter, bygninger og nett. Regioner der man kan forvente økt ekstremnedbør om vinteren i form av store snømengder vil kunne oppleve oftere skader på linjenettet. Økt ekstremnedbør kan også gi mer skred med påfølgende skade på bygninger, fundamenter, master og nett. Tørkeperioder kan på sin side gi økt skogbrannfare, som igjen kan skade bygninger og nett. Økte vekslinger mellom fryse- og tineperioder kan medføre økt forvitring på bygninger, fundamenter og master. Høyere sommertemperaturer kan føre til sig i kraftlinjene, som igjen kan medføre økt kontakt mellom kraftledning og vegetasjon med påfølgende jordslutning. Økt ising og snø på linjer kan medføre store mekaniske påkjenninger og brudd i kraftledningen eller annen skade på linjen.

Vi har vurdert den *samfunnsøkonomiske* sårbarheten til middels og økende. Dette skyldes bl.a. samfunnets økte avhengighet av IT til kommunikasjon, privat og offentlig tjenesteyting og systemstyring. Det er også en økt avhengighet av elektrisk energi til stadig nye oppgaver, og denne avhengigheten forventes å øke som følge av tiltak for å redusere klimagassutslipp (eks el til oppvarming, drift av offshore oljeinstallasjoner og transport). Den forventede økte utbyggingen av fornybar energi øker også presset på eksisterende linjenett, og øker også behovet for helt nye linjenett. Diskusjonen omkring de såkalte monsternastene illustrerer dette poenget til fulle. Mange steder er det også et betydelig vedlikeholdsetterslep på linjenettet.

Den *institusjonelle* sårbarheten er vurdert til middels og stabil. Også her skjer det en stadig nedbygging av relevant lokal kompetanse i offentlig forvaltning parallelt med en privatisering av driftsoppgaver. En mulig konsekvens av dette er kapasitetsmangel på reparasjonssiden i tilfeller der store områder blir rammet av skader på linjenettet samtidig. Tilsvarende som på transportsektoren ligger det en utfordring i å etablere gode nok kontroll-, plan- og styringssystemer. Det er signalisert en ambisjon fra NVE om økt innsats når det gjelder klimatilpasning i kraftsektoren.

Samlet oppsummering

Om vi ser de tematiske klimasårbarhetsanalyser under ett, og sammenligner våre tre *kategorier av sårbarhet* - naturlig, samfunnsøkonomisk og institusjonell sårbarhet – så framstår sårbarheten som noenlunde lik i den forstand at vi har vurdert disse relativt likt i vår grovmaskede skala "stor", "middels" og "liten" sårbarhet. Det er selvsagt ikke rett å sammenligne direkte rankeringer i så ulike systemer. Det er for eksempel ikke enkelt å avgjøre om en "stor" sårbarhet innenfor den naturlige sårbarheten (for eksempel i form av økt nedbør og påfølgende økt fare for flom) er like alvorlig som en "stor" sårbarhet innenfor den samfunnsøkonomiske sårbarheten (for eksempel i form av økende utbygging nær vassdrag og dermed økt eksponering for flomskader). Vår sammenligning på tvers av sårbarhetskategorier gir likevel grunn til én viktig påpekning: Det er ikke tilstrekkelig å se isolert på den naturlige sårbarheten når man skal utlede tiltak for klimatilpasning. I mange tilfeller kan endringer i samfunnet være vel så avgjørende for den samlede framtidige klimasårbarheten som klimaendringene isolert sett; en innsikt som også kan være bestemmende for valg av tilpasningsstrategier og -tiltak. Det kanskje klareste eksempelet på dette er innen temaet jordbruksproduksjon, der mange tidligere analyser har trukket fram at klimaendringer kan være positivt for jordbruket. Vår konklusjon er at om man ser forventede endringer i klima og samfunn under ett, så er det mer riktig å si at også for jordbruket så er det knyttet store utfordringer til det å tilpasse seg klimaendringer, og at disse utfordringene knytter seg vel så mye til endringer i samfunnet som i klimaet.

Om vi sammenligner mellom våre *kategorier av infrastruktur*, så får vi fram en noe større variasjon enn samlet sett og mellom sårbarhetskategorier. I våre analyser framstår havner som den klart minst klimasårbare sektoren, mens jordbruksproduksjon, bygg og vann og avløp framstår som mest sårbare. I en mellomkategori finner vi transport og informasjonsteknologi og energiforsyning.

Tabell 30 Oppsummering av våre vurdering omkring klimasårbarhet innen hver kategori av kommunal og fylkeskommunal infrastruktur

Type infrastruktur	Naturlig sårbarhet	Samfunnsøkonomisk sårbarhet	Institusjonell sårbarhet
Jordbruksproduksjon	Usikker nasjonalt, stor globalt	Stor og økende	Liten og økende
Lokalisering av infrastruktur	Stor	Middels og økende	Middels og stabil
Bygg	Middels	Middels og økende	Stor og økende
Vann og avløp	Middels	Stor og økende	Middels og økende
Veger	Middels	Middels og økende	Middels og stabil
Havner	Lav	Lav og svakt økende	Middels og stabil
Offentlig transportarbeid	Middels	Middels og økende	Middels og stabil
IT og strømforsyning	Middels	Middels og økende	Middels og stabil

Vi har også forsøkt å få fram de *regionale variasjonene* i klimasårbarhet. Fordi vi opererer med en todimensjonal vurdering (i noen tilfeller tre dimensjoner) av klimasårbarhet (naturlig og samfunnsmessig sårbarhet, i noen tilfeller har vi splittet den samfunnsmessige sårbarheten opp i samfunnsøkonomisk og institusjonell), er det ofte vanskelig å si noe generelt om den samlede regionale variasjonen. Den naturlige sårbarheten har ofte en annerledes regional variasjon enn den samfunnsmessige; eventuelt har vi mer sikker kunnskap om den ene av de to (eller tre) sårbarhetsdimensjonen. Under har vi likevel forsøkt oss på en kortfattet oppsummering mhp regional variasjon i den samlede klimasårbarheten for de ulike kategoriene av infrastruktur.

Tabell 31 Oppsummering av våre vurderinger omkring regional variasjon i den samlede klimasårbarheten innen hver kategori av kommunal og fylkeskommunal infrastruktur

Type infrastruktur	Regional variasjon
Jordbruksproduksjon	Vanskelig å anslå fordi det generelt sett er vanskelig å fastslå sumeffekten av klimaendringer på dyrkingsvilkår
Lokalisering av infrastruktur	Vestlandet og Nord-Norge trolig mest utsatt for skred, mens Østlandet og sentrale Vestlandet mest utsatt for flom
Bygg	Råteproblemer forventes å øke sterkt langs hele kysten og i indre deler av Østlandet og i Trøndelag
Vann og avløp	Nedbør øker over hele landet, minst økning langs kysten og mest i innlandsregioner. Korttidsnedbør er viktig. Eldst rørsystem i Oslo.
Veger	Trolig størst utfordringer på Vestlandet og i Nord-Norge, men gjenstår å gjøre gode nasjonale sårbarhetsvurderinger
Havner	Havnivåstigningen og økt vindhastighet trolig størst på Vestlandet, der også transportmengden er størst; men størst samfunnsøkonomisk sårbarhet i Nord-Norge knytte til forventning om økt transportmengde til sjøs.
Offentlig transport	Trolig størst problem langs kyst- og fjordstrøk på Vestlandet og i Nord-Norge
IT og strømforsyning	Regional variasjon i relevante klimaparametre indikerer størst negativ endring i Trøndelag og på Vestlandet

Referanser

- Aaheim, A., and Dannevig, H. and Ericsson, T. and van Oort, B. and Innbjør, L. and Rauken, T. and Vennemo, H. and Johansen, H. and Tofteng, M. and Aall, C. and Groven, K. and Heiberg, E. (2009). Consequences of climate changes, adaptation and vulnerability in Norway. (In Norwegian: *Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge*). Report to the climate adaptation panel. CICERO report 2009:04
- Aall, C, Norland, I.T 2003: *Indikatorer for vurdering av lokal klimasårbarhet*. Vestlandsforskning, Prosus. VF-rapport 15/03.
- Aall, C. (2010): How to handle the issue of uncertainty in Local Climate Change Adaptation Policymaking – summing up the models and approaches developed in Clim-ATIC. Presentation at the International project conference of Clim-ATIC, Flora samfunnshus, Florø, Norway 26-28 October 2010.
http://vestforsk.undersoking.com/clim-atic2010/27oct/models-and-approaches-developed-in-clim-atic_carlo-aall.pdf
- Albert, J. (2008) Climate change and water quality issues. Article in *Drinking Water Research - Climate change and drinking water*. Climate change special issue 2008. Volume 18, Number 2, 11-14. AWWA Research Foundation.
- Anders-Johan Almås: Foreløpig tittel "Climate design of buildings". Pågående PhD-arbeid ved NTNU, Fakultet for Bygg, anlegg og transport, Trondheim. Ferdigstillelse beregnet 2012.
- Alfnes, E. and Førland, E. J. (2006). Trends in extreme precipitation and return values in Norway 1900-2004. Met.no report no. 2/ *Climate*.
- Battisti, D. S. og R. L. Naylor (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 232, 240-245.
- Benestad, R. E. and Hanssen-Bauer, I. (2009). Warming trends and circulation. Met.no report no. 9/2009 *Climate*.
- Bruaset, S. (2008). Optimisation of water network operation and maintenance. Student Master Thesis at the Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Budsjettneemda for jordbruket 2009. Utredning nr. 3. Resultatkontroll for gjennomføring av Landbrukspolitikken, http://multimedia.api.no/www.nationen.no/archive/03119/Les_rapporten_der_3119284a.pdf
- Bye, A.S., Aarstad, P. A. Løvberget, A.I., Berge, G. og Hoem, B. 2010: *Jordbruk og miljø Tilstand og utvikling 2010*. SSB Rapportar 48/2010. Statistisk sentralbyrå.
http://www.ssb.no/emner/01/04/rapp_jordbruk/rapp_201048/rapp_201048.pdf
- Cordell, D., Drangert, J.-O. White, Stuart 2009: The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19 (2009) 292–305
- Delpla, I. and Jung, A.V. and Baures, E. and Clement, M. and Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International* 35, 1225-1233.
- Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A., Sorteberg, A. (2007). *Opptil en meters havstigning langs Norskekysten innen år 2100*. CICERONE rapport, mars.
- Eikebrokk, B. (2000): *Effects of coagulant type and coagulation conditions on NOM removal from drinking water*. Proc. 9th Gothenburg Symp. Oct 2-4, Istanbul, Turkey. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-67574-4, pp. 211-220
- Eikebrokk, B. (2006): *Contact filtration for NOM removal*. Proc. Workshop - Developments in Drinking Water Treatment Modeling, TU Delft, The Netherlands, June 22 -23
- Eltun, R. Romstad E., og Øygarden, L.(red.) 2010: Kunnskapsstatus "Bedre agronomi". Utredning av kompetansegrunnlaget for bedre agronomi for å møte landbrukets klimautfordringer. Bioforsk Rapport. Vol. 5 Nr.66 2010
- FAO 2009: "The State of Food and Agriculture", FAO 2009
- Fjeld, S., Gaustad, A., Bronger, C., Olausen, A., Hajum, E. (2002): Nasjonal transportplan 2006-2015. Virkninger av klimaendringer for transportsektoren – forstudie. Arbeidsdokument mars 2002. Oslo: Jernbaneverket, Kystverket, Luftfartsverket og Statens vegvesen.
- Fylkesmannen i Hordaland, 2009: FylkesROS Hordaland 2009. Risiko- og sårbaranalyse for Hordaland fylke. Bergen.
- Grønlund, A. & H. Riley 2009: Bioforsk FOKUS 4(2)
- Grønlund, A. og Rasse, D. 2009: Carbon loss from cultivated peat soils in Norway.
<http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/29125/Carbon%20loss%20from%20cultivated%20peat%20soils%20in%20Norway.ppt#256,1>,
- Grønlund, A., Knott de Zarruk, K., Rasse, D., Riley, H., Klakegg, O. & Nystuen, I. 2008a. Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. Bioforsk rapport 3 (132). 47 s.
- Grønningsæter, G. (2010). KOSTRA landbruk. En vurdering av rapporteringen for 2009. Rapport-nr.: 16/2010, Statens landbruksforvaltning.

- Heiberg, E., Aall, C., Amundsen, H., Storm, H.N., Høyer, K.G., Næss, L.O., Solstad, L.P., Hovelsrud, G.K. (2008:). *Indikatorer for lokale klimasårbarhetsanalyser. Kunnskapsstatus og skisse til en metode for utprøving i norske kommuner*. VF-rapport 5/08. Sogndal: Vestlandsforskning.
- Heiberg, E. 2010: Hvorfor er det viktig med naturvitenskapelig kompetanse i kommunene? Foredrag på Naturviterforum 2010.
- Heiberg, E. og Aall, C. 2010: Climate change adaptation at the regional level in Norway: status quo and challenges. Presentation at Nordic Climate Change Adaptation Research Network Conference 8 – 10 nov 2010 Stockholm
- Hetzel, F., Vaessen, V., Himmelsbach, T., Struckmeier, W. and Villholth, K.G. (Editors) (2008). *Groundwater and Climate Change: Challenges and possibilities. Groundwater – resources and Management*. Commissioned by the German federal ministry for Economic Cooperation and development (BMZ).
- Hole, L.R. *Influence of climate variability on nitrogen deposition in temperate and arctic climate*. In: *Climate Change and variability* (Eds: Simrad, W. and Austin M.E.). SCYIO, p. 97–118. ISBN 978-953-307-144-2, 2010.
- Holvik, I. S. (2010). *Impact of storm water runoff from climate change. Example study in Sandnes, Norway*. Master thesis at the Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Hunter, P.R. (2003). Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology*, Volume 94, 37S-46S.
- Husabø, I. 2010: *Erfaringsgrunnlag for klimatilpassing hos Fylkesmannen*. VF-rapport nr. 4/2010 Vestlandsforskning,
- IEA 2010: World Energy Outlook 2010
- Jacoby, J.M. and Collier, D.C. and Welch, E.B. and Hardy, F.J. and Crayton, M. (2000). Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57, 231-240.
- Lindholm, O., Engan, J. A., Rapp, Ø., Petersen-Øverleir, A., and Markhus, E. (2003). *Revurdering av beregningskriterier for avløpssystemer, flom i kommunale avløpssystem*. Research report. NIVA RAPPORT LNR 4652-2003. Oslo, Norway.
- Logstein, B. og Blekesaune A. 2010: *Trender i norsk landbruk 2010*. Norsk senter for bygdeforskning
- Madsen, A. B. (2007). *Flomskader og forurensningsutslipp i Bergen. Analyse av klimaendringers virkninger*. Master's thesis, Department of Mathematical Sciences and Technology, Norwegian University of Life Sciences (UMB). Ås, Norway.
- Maier, H.R., Dandy, G.C. (1997). Modelling cyanobacteria (blue green algae) in the River Murray using artificial neural networks. *Mathematics and Computers in Simulation*, 43, 377-386
- Mamen, J., Iden, K. A. (2010). *Analyse av korttidsnedbør i Norge 1968-2008*. Met.no rapport.
- Miles, M., Richter, K. (2010). *Klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur. Delrapport 2: Klimanalyse*. Bjerknesentre rapport.
- Mittenzwei, K., Rustad, L.J., Bø, E. 2009: *Effekter av en omlegging av virkemiddelbruken i norsk jordbruk*. NILF: discussion paper 1-2009: Norsk Institutt for landbruksøkonomisk forskning.
- Naturviterne 2009: *Kommuneundersøkelsen 2009*.
- Nesje A., J. Bakke, Ø. Lie og S. O. Dahl (2002) Dramatisk for norske isbreer i framtiden. Hentet fra <http://www.bjerknes.uib.no/pages.asp?id=519&kat=2&lang=1#> , 24.02.2006
- Nie, L. and Heilemann, K. and Hafskjold, L.S. and Sægrov, S. (2009). *Review of research and development of climate change, risk management of urban flooding and adaptation to climate change*. SINTEF report for the Research Council of Norway (NFR).
- PIANC (2008). *Waterborne transport, ports and waterways: A review of climate change drivers, impacts, responses and mitigation*. Brussels, The World Association for Waterborne Transport Infrastructure,.
- Rekdal, Y. og Strand, G.H., 2005: *Arealrekneskap for Noreg Fjellet i Hedmark*. NIJOS-rap. nr 06/05. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging
- Riksrevisjonen 2007: Dokument nr. 3:11 (2006–2007) *Riksrevisjonens undersøkelse av bærekraftig arealplanlegging og arealdisponering i Norge*.
- Riksrevisjonen 2010b: *Riksrevisjonens undersøkelse av måloppnåelse og styring i jordbruket*. Dokument 3:12 (2009-2010) http://www.riksrevisjonen.no/SiteCollectionDocuments/Dokumentbasen/Dokument3/2009-2010/Dokumentbase_Dok_3_12_2009_2010.pdf
- Riksrevisjonen, 2009: *Riksrevisjonens undersøkelse av drift og vedlikehold av vegnettet*. Dokument nr. 3:16 (2008-2009). Oslo, Riksrevisjonen.
- Roald, L. A. (2008). *Rainfall Floods and Weather Patterns. A Consultancy Report*, no. 14 -2008. Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). Oslo, Norway.

- Rosland, P., Larsen, J.O., Skoglund, K.A., Johnsen, E., Larsen, O.M. (2007): *Virkninger av klimaendringer for transportsektoren. Rapport fra en tverrfaglig arbeidsgruppe*. Sekretariatet for Nasjonal transportplan. Oslo: Statens vegvesen Vegdirektoratet
- RIF. 2010: *State of the Nation*. Oslo: Rådgivende Ingeniørers Forening
- Saglie, I., Falleth, E. 2007: Spredt bygging – en viktig trussel mot langsiktig jordvern? *Plan* 3-4 2007
- Saglie, I., Falleth, E., Bloch, A. S. og Steinnes, M. 2006: *Spredt utbygging og jordvern. Om omfang og drivkrefter bak bygging på jordbruksarealer*. Oslo: NIBR-rapport 2006:6
- Saker, M.L. and Griffiths, D.J. (2001). Occurrence of blooms of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya and Subba Raju in a north Queensland domestic water supply. *Marine and Freshwater Research* 52, pp. 905-915.
- Schjølberg et al., 2009: *Vedlikeholdsetterslep i vegsektoren*. Multiconsult.
- Selstad, Tor 2008. *Norge gjennom hundre år. Et forsøk på å beskrive det samfunnet som skal møte klimaendringene i andre halvdel av 21. århundret*. ØF-rapport nr. 03/2008. Lillehammer: Østlandsforskning.
- Selstad, T. 2010: *Lokalsamfunn og klimatilpasning – et framtidsperspektiv*. ØF-rapport nr 07/2010. Østlandsforskning
- Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., Gustafsson, L-G. (2006). *The impacts of climate change and urbanisation on urban drainage in Helsingborg* – Final report. Dept. of Water Res. Eng., Lund University, Sweden.
- Slavik, I., Uhl, W. (2009). Analysing water quality changes due to reservoir management and climate change for optimization of drinking water treatment. *Water Science & Technology: Water Supply*. 9 (1), 99-105.
- Solheim, A. (NGI) : Muntlig medd nov. 2010
- SSB (2009c); Temaside Jordbruk, tilgjengelig på <http://www.ssb.no/emner/10/04/10/jordbruk/>
- St.meld. nr 39 *Klimautfordringene – Landbruket en del av løsningen* (2008 – 2009)
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/dok/regpubl/stmeld/2008-2009/stmeld-nr-39-2008-2009-.html?id=563671>
- Statens kartverk 2010: Arealstatistikk 2010.
- Statens landbruksforvaltning 2010: *Produksjonstilskudd og avløsertilskudd* Veiledningshefte – 2010/2011
- Strand, G. H. og Bekkhus, R. 2008: *Markslagstatistikk. Dyrka og dyrkbart areal*. Ressursoversikt fra Skog og landskap 03/2008. Norsk Institutt for skog og landskap. <http://www.skogoglandskap.no/filearchive/ro-03-08.pdf>
- Strand, G. H.: 2010: Innlegg i Nationen 9 mars 2010
- Strand, G-H., Bekkhus, R. (2008): *MARKSLAGSTATISTIKK. Dyrka og dyrkbart areal*. Ressursoversikt fra Skog og landskap 03/2008. Ås.
- Strøm, L., Wiberg, P. og J.H.S. Andersen, 2005: *Transportberedskap Hordaland 2005 med analyse av risiko og sårbarhet*. Bergen: Hordaland fylkeskommune.
- Svengård, S. 2010: Stans i nydyrking av myr – konsekvenser for klimautslipp og norsk jordbruk. Foredrag. Klimakonferansen ZERO10 22.-23.11.2010. http://www.zero10.no/innleggene/Siri_Svendgaard-Stokke.pdf
- Tjomsland, T. and Rohrlack, T. (2008). *Simulated effects on hydrophysics and water quality in lakes due to climate changes*. NIVA report, 5573-2008.
- Vasskog, K. (2007). *Fremtidig havnivåstigning i norske kystkommuner*. Bergen, Bjerknes Centre for Climate Research.
- Vevatne, Jonas and Westskog, hege and Engen-Skaugen, Torill and Myhre, Cathrine Lund and Orderud, Geir and Roals, Lars A and Solstad, Synne P and Tryland, Ingun. (2007). *Adaptations to climate changes in the Oslo region (In Norwegian: Tilpasninger til klimaendringer i Osloregionen)* CINES, Research centre for environment and society. CopyCat AS.
- Vik, J. og Blekesaune A. 2008: *Trender i norsk landbruk*. Norsk senter for bygdeforskning 2008
- Wold, Terje (2010). *Markavassdragene 2009*. Oslo: Vann og avløpsetaten (VAV) I Oslo kommune. Rapport 1/2010.
- Zwolsman, Gertjan and van Ellen, W. (2007). *Spain, A TECHNEAU case study, phase II, climate change*. TECHNEAU EU report, Deliverable number D 1.1.6a.