

# 792 Klima og økosystemtjenester

Norske økosystemers potensial for avbøting av og tilpasning til klimaendringer

Graciela M. Rusch

NINA Rapport



## **NINAs publikasjoner**

### **NINA Rapport**

Dette er en elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

### **NINA Temahefte**

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

### **NINA Fakta**

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

### **Annen publisering**

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

# Klima og økosystemtjenester

Norske økosystemers potensial for avbøting av og tilpasning til klimaendringer

Graciela M. Rusch

Rusch, G. M. 2012. Klima og økosystemtjenester. Norske økosystemers potensial for avbøting av og tilpasning til klimaendringer. – NINA Rapport 792. 43 s.

Trondheim, februar 2012

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426- 2387-4

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

Rapporten er også utgitt på engelsk: Rusch, G. M. 2012. Climate and ecosystem services. The potential of Norwegian ecosystems for climate mitigation and adaptation - NINA Report 791. 43 pp.

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Per Arild Aarrestad og Inga E. Bruteig

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningssjef Signe Nybø

OPPDRAGSGIVER(E)

Direktoratet for naturforvaltning (DN)

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Linda Dalen

FORSIDEBILDE

*Naustdal kommune, Sogn og Fjordane.*

Foto: Odd Terje Sandlund

NØKKEWORD

Karbonlager, karbonopptak, flomkontroll, jorderosjon, grønn infrastruktur, økosystemtjenester, biologisk mangfold.

KEY WORDS

Carbon stock, carbon sequestration, flood control, soil erosion, green infrastructure, multiple ecosystem services, biodiversity.

#### KONTAKTOPPLYSNINGER

##### **NINA hovedkontor**

Postboks 5685 Sluppen  
7485 Trondheim  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 73 80 14 01

##### **NINA Oslo**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 22 60 04 24

##### **NINA Tromsø**

Framsenteret  
9296 Tromsø  
Telefon: 77 75 04 00  
Telefaks: 77 75 04 01

##### **NINA Lillehammer**

Fakkeltgården  
2624 Lillehammer  
Telefon: 73 80 14 00  
Telefaks: 61 22 22 15

## Sammendrag

Rusch, G.M. 2012. Klima og økosystemtjenester. Norske økosystemers potensial for avbøting av og tilpasning til klimaendringer. – NINA Rapport 792. 43 s.

Økosystemtjenester er et samlebegrep for alle de grunnleggende goder som naturen forsyner oss med, og som vi ofte har en tendens til å ta for gitt. Det teoretiske rammeverket understreker sammenhengen mellom økosystemer, dets bestanddeler og menneskevelferd. Det innebærer også et forsøk på å supplere eksisterende forvaltningstiltak og praksis, da disse har vist seg å være utilstrekkelige i forhold til å nå 2010-målene om å stoppe tap av biologisk mangfold. I noen tilfeller har økosystemtjenestene et økonomisk omfang og kan potensielt gis en økonomisk verdi. Dette gjelder for eksempel når individer eller samfunnet tar avgjørelser angående ressursfordeling. Samtidig er mange andre aspekter av naturen verdifulle, uten at de kan verdsettes i et økonomisk perspektiv, da de ikke er koblet til sosiale eller individuelle økonomiske avveininger.

Denne rapporten fokuserer på noen av de godene vi får fra naturen, som er knyttet til utfordringene klimaendringer medfører. Rapporten fokuserer på to grupper av økosystemtjenester, med eksempler på økologiske og biologiske egenskaper og prosesser som belyser tjenestene. Den første gruppa går på naturens evne til å motvirke og redusere effekten av økningen i globale klimagassutslipp. Denne økosystemtjenesten omfatter plantevekst og prosessene som tar opp karbon i biomasse og i jord. Naturlig vegetasjon og uforstyrret jord danner store karbonreservoarer i terrestriske økosystemer, som slippes ut i form av karbondioksid når vegetasjonsdekket og jorden omdannes gjennom brenning, jordbearbeiding og drenering, eller gjennom jorderosjon.

Den andre gruppa økosystemtjenester går på naturens evne til å motstå negative konsekvenser av ekstremvær, for eksempel i situasjoner med mye nedbør som kan gi flom og økt jorderosjon. Slike episoder vil ifølge gjeldende klimascenarier sannsynligvis bli mer alvorlige i framtida. Den menneskeskapte påvirkningen på økosystemenes evne til å yte tjenester er vektlagt. Rapporten framhever også de potensielle fordelene som kan oppnås ved å inkludere flere aspekter av naturverdier i planlegging og forvaltning av naturområder. Det er en overvekt av eksempler fra boreal skog på grunn av omfanget og den økonomiske verdien denne typen natur har i Norge. Endringer i arealbruk og skogsdrift har viktige konsekvenser for økosystemtjenestene. Eksempler fra økosystemer som elvesletter og elvebredder er tatt med på grunn av deres betydning for vannføring og flomkontroll. Grønn infrastruktur er lansert som en komplementær ressurs til andre foreslåtte klimaendringstilpassingstiltak.

Til slutt er betydningen av de ulike dimensjonene av naturressursforvaltning framhevet. Naturen gir mange tjenester og varer, og ytelsen kan bedres med god planlegging. Å bare ta hensyn til et snevert formål, for eksempel karbonbinding, er ikke tilstrekkelig for å håndtere den naturlige kompleksiteten. I slike tilfeller kan høyere samlet effektivitet og kostnadseffektivitet oppnås når alle viktige mål blir integrert i en helhetlig planlegging.

Graciela M. Rusch, Norsk institutt for naturforskning, Postboks 5685 Sluppen, 7485 Trondheim. [graciela.rusch@nina.no](mailto:graciela.rusch@nina.no)

## Abstract

Rusch, G.M. 2012. Climate and ecosystem services. The potential of Norwegian ecosystems for climate mitigation and adaptation – NINA Report 791. 43 pp.

The concept of ecosystem services encompasses the many benefits that society receives from nature and that are often taken for granted. The conceptual framework highlights the connection between ecosystems and its components, and human well-being. It aims to complement current conservation measures and practices which have turned to be insufficient to achieve the 2010 targets of controlling the drivers of biodiversity loss. Ecosystem services are the aspects of nature that society uses, consumes, or enjoys. In some cases, i.e. when individuals or the society make choices that imply the allocation of resources, the benefits from nature have an economic dimension and can potentially be attached an economic value. At the same time many other aspects of nature are valuable but cannot be valued in an economic sense because they are not associated with social or individual economic choices.

This report is about some of the benefits that society receives from nature and that are linked with the challenges that society faces regarding climate change. Two areas in which nature brings benefits to society are highlighted which we support with examples about the ecological and biological characteristics and processes that underpin the level of service supply. The first one is associated with the capacity of nature to counteract or mitigate the increase in global greenhouse gas emissions. This benefit is ultimately delivered by the growth of plants and the processes that accumulate carbon in biomass and in the soil. In addition, natural vegetation and undisturbed soil in terrestrial ecosystems form large reservoirs of carbon that are released as carbon dioxide when the vegetation cover and the soil are transformed through burning, tillage and draining, or through soil erosion. A second group of benefits is related to the capacity of nature to buffer against hazards produced by climatic extremes, for example, events with high rainfall which are often the cause of floods and higher soil erosion. These challenges will likely be of more concern in the future according to the projected changes in the climate. The impacts of human activities on the capacity of ecosystems to provide services are emphasized as well as the potential benefits that can be obtained both by incorporating the multiple values of nature into planning and by improving the management of live systems. There is a strong weight of examples from boreal forest because of the extent and economic importance of this nature type in Norway, and because decisions about land-use and forest management have important consequences for the provision of many benefits. There are also examples from floodplains and riparian ecosystems because of their value in water flow and flood control. Green infrastructure is presented as a complementary resource to other proposed climate change adaptation measures.

Finally, some additional benefits are highlighted and used as examples of trade-offs and synergies among the multiple services associated with climate change, underscoring the value of the ecosystem service framework to inform decision-making. Nature provides many goods and services, the provision of which can be enhanced by good planning. To manage nature according to a narrow purpose, for example the capacity of a system to capture carbon, is not sufficient to address complexity. In those cases, higher efficiency and cost-effectiveness of management and policy instruments can be achieved if all important goals are taken into consideration and integrated in wise planning.

Graciela M. Rusch, Norsk institutt for naturforskning, Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim. [graciela.rusch@nina.no](mailto:graciela.rusch@nina.no)

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>3</b>
<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>Innhold</b>	<b>5</b>
<b>Forord</b>	<b>6</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2 Omfanget av rapporten</b>	<b>9</b>
<b>3 Karbonsyklus og klimagassutslipp</b>	<b>10</b>
<b>4 Forventede klimaendringer i Norge</b>	<b>13</b>
4.1 Egenskaper ved det norske klimaet	13
4.1.1 Temperatur og plantevekstsesong	13
4.1.2 Nedbør og hydrologi	13
4.2 Klimaendringsscenarier	14
<b>5 Økosystemtjenester knyttet til klimaendringstiltak</b>	<b>16</b>
5.1 Karbon lagret i naturlig og seminaturlig vegetasjon	16
5.2 Karbonopptak og lagring	18
5.3 Arealbruk og økosystemenes kapasitet til å redusere effekter av klimaendring	20
5.3.1 Karbonlagring og skogforvaltning	20
5.3.2 Karbonlagring og arealforvaltning	22
5.3.3 Andre klimaeffekter av skogbruk	22
<b>6 Resultat av klimaendringer</b>	<b>24</b>
6.1 Konsekvenser av hydrologiske sykluser	24
6.2 Forekomst av tørke	25
6.3 Løsmasseskred og snøskred	25
6.4 Økosystemtjenester og tilpasning til klimaendring	26
6.4.1 Skogens evne til å regulere vannavrenning og flom	26
6.4.2 Våtmarkenes rolle i flomkontroll	27
6.4.3 Kontroll av løsmasseskred, snøskred og jorderosjon	27
6.5 Arealbruk og klimatilpasning	28
6.5.1 Flomkontroll og skogdekke	28
6.5.2 Erosjonskontroll og skogforvaltning	29
6.5.3 Flomkontroll og forvaltning av våtmarker	30
<b>7 Planlegging av økosystemtjenester for klimaendringstiltak og klimatilpasning</b>	<b>32</b>
7.1 Utfordringer ved tilpasning til klimaendring	32
7.2 Beredskap og tilpasning til klimaendringer	32
7.2.1 Forvaltning av økosystemtjenester for klimaavbøting – karbonlagring	34
7.2.2 Forvaltning av økosystemtjenester for klimatilpasning – flomkontroll	35
7.2.3 Forvaltning av sammensatte økosystemtjenester	37
<b>8 Ordliste</b>	<b>39</b>
<b>9 Referanser</b>	<b>40</b>



## Forord

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning (kontrakt nr. 11040046) og har som mål å framheve sammenhengene mellom klima og økosystemtjenester. Spesielt fokus er satt på å vise hvordan god forvaltningspraksis for norske økosystemer kan redusere klimaendringer og øke samfunnets evne til å takle klimaendringer. Dette prosjektet vil bidra til direktoratets arbeid med å sikre at naturen er forvaltet på best mulig måte med tanke på forventede klimaendringer.

Rapporten fokuserer hovedsakelig på reguleringstjenester som har betydning økosystemets evne til å redusere klimaendringer (for eksempel lagring av karbon) og forbedring av samfunnets evne til å takle naturkatastrofer som er forventet å øke som et resultat av global oppvarming. Jeg oppsummerer mekanismene bak disse tjenestene, beskriver hvordan menneskelige aktiviteter kan påvirke økosystemenes evne til å yte slike tjenester og diskuterer hvordan økosystemtjenester kan forbedres med god planlegging og forvaltning.

Jeg takker Jon Museth for tilrettelegging av referanser og materiell angående våtmarkers kapasitet for flomkontroll. Annika Hofgaard og Erik Framstad gav mange gjennomtenkte kommentarer på tidligere utdrag av rapporten. Takk til Per Arild Aarrestad og Inga E. Bruteig for en grundig gjennomgang av rapporten. Takk også til økosystemtjeneste-gruppa ved NINA som har fungert som diskusjonsforum.

24. februar 2012, Graciela M. Rusch



# 1 Innledning

Godene som samfunnet får fra naturen er ofte omtalt som økosystemtjenester (Daily 1997, Millennium Ecosystem Assessment 2005). Disse tjenestene er økologiske bestanddeler, prosesser og funksjoner som er verdsatt av mennesker (Boyd 2007). Utrykket "tjenester" kommer fra økonomi, men har blitt tilpasset økologien for å fokusere på sammenhengen mellom økosystemer og menneskevelferd. Rammeverket for begrepet ble utviklet for å øke samfunnets bevissthet rundt viktigheten av naturen og naturlige prosesser. Modellen oppfordrer til refleksjon rundt de påvirkningene menneskelig aktivitet har på naturlige systemer. I mange tilfeller fører menneskelig aktivitet til alvorlige trusler for forvaltningen av økosystemer og deres funksjoner. I dag er målet å forbedre dagens forvaltningstiltak og praksis som har vist seg å være utilstrekkelige for å nå 2010-målene om å kontrollere de påvirkningsfaktorene som forårsaker tap av biologisk mangfold.

Etter at rammeverket ble introdusert (Daily 1997), vurderte det internasjonale Millennium Ecosystem Assessment (MA 2005) konsekvensene av endringer i økosystemer for menneskelig velferd. De etablerte også et vitenskapelig grunnlag for nødvendige tiltak for en bedre forvaltning og bærekraftig bruk av økosystemer og deres bidrag til menneskelig velferd (MA 2005, **Tabell 1**).

Noen goder kommer av økologiske funksjoner hos de enkelte organismene som er del av økosystemene. Mikroorganismer i jord og planter regulerer eksempelvis grunnleggende biogeo-kjemiske prosesser som inngår i nærings sirkulasjon i jordsmonnet, produksjonen av biomasse og karbonfangst på land og i vann (Mace et al. 2012). En del goder fra naturen er i tillegg avhengige av et samspill mellom organismer. For eksempel er jordas fruktbarhet avhengig av et samspill mellom jordsmonnets biota og planter, plantespisere og rovdyr (Wardle et al. 2004). Bestøving av avlinger og skadedyrbekjempelse er likeledes avhengig av biologisk samspill (predasjon, beiting, fôring, snylting, mutualisme) mellom ulike arter og grupper av organismer. Andre goder inkluderer ulike former for rekreasjon, estetisk nytelse, kommersiell og forvaltningsmessig høsting, skadebegrensning, menneskehelse og glede over livets mangfold (Boyd 2007).

Økosystemtjenester er den delen av naturen som samfunnet bruker, forbruker og har glede av (Boyd 2007). I noen tilfeller kan godene samfunnet får fra naturen vurderes ut fra deres økonomiske verdi. Disse er, per definisjon, de godene der mennesker tar avgjørelser om ressursallokering (Boyd 2007). Samtidig er det mange sider av naturen som er verdifulle og danner et grunnlag for velferd, men som ikke kan tilegnes direkte økonomisk verdi fordi de ikke omfattes av samfunnsmessige eller individuelle valg (Boyd 2007). Goder som er spesifikke for individer eller private aktører, kalles private goder, andre er kollektive goder. Det forekommer ofte avveininger innen og mellom private og kollektive goder. Med andre ord, avgjørelsen om å øke noen goder kan føre til reduksjon av andre goder.

Godene som naturen produserer er ujevnt fordelt i rom fordi de underliggende økologiske prosessene varierer (Balmford et al. 2008). Bruken av disse godene er heller ikke jevnt fordelt, da de er avhengige av sluttbrukernes beliggenhet (f. eks. byer eller landbruksområder). Dette skaper betydelig romlig variasjon i verdien av goder, selv innen områder med lik naturlig produksjon og fordeling (Balmford et al. 2008). Pollinering (plantebestøvning) er et annet eksempel på en romlig strukturert økosystemtjeneste. Høy grad av pollinering avhenger av kvaliteten på reirplasser og pollenkilder for pollinatorer (Hegland & Bøke 2006), tilgjengeligheten av reirplasser og avstand mellom reirplasser og avling (Kremen et al. 2007, Lonsdorf et al. 2009). Slik gir avveininger mellom de ulike godene seg et utslag i det fysiske rom (Troy & Wilson 2006, Nelson et al. 2009, Tallis & Polasky 2011).

Noen av de godene som samfunnet får fra naturen spiller en viktig rolle i å takle klimaendringer (EU 2010, **Tabell 1**).

**Tabell 1:** Forslag til grunnstruktur for kategorisering av økosystemtjenester ifølge Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), sammenholdt med TEEB<sup>1</sup>-klassifiseringen. Tre viktige tema for økosystemtjenester (tilfang – regulering og vedlikehold – kulturelle tjenester); Haines-Young & Potschin 2011 (Update). Orange bokser viser tjenestene diskutert i denne rapporten.

CICES tema	Grupper	Eksempler fra TEEB kategorier			
Tilfang	Ernæring	Mat	Vann		
	Ressurser	Råvarer	Genetiske ressurser	Medisinske ressurser	Ornamentale ressurser
	Energi				
Regulering og vedlikehold	Regulering av avfall	Luftrensing	Avfallsbehandling (spesielt vannrensing)		
	Regulering av vannføring	Hindre eller moderate forstyrrelse	Regulering av vannføring	Forebygging av erosjon	
	Regulering av fysisk miljø	Klimakontroll (inkludert C-lagring)	Vedlikehold av næringsstatus i jord		
	Regulering av biotisk miljø	Beskyttelse av genetisk mangfold	Vedlikehold av livssykluser	Pollinering	Biologisk kontroll
Kulturelt	Symbolsk	Kognitiv utvikling			
	Intellektuelt og eksperimentelt	Estetisk opplevelse	Inspirasjon for kultur, kunst og design	Åndelig opplevelse	Rekreasjon og turisme

<sup>1</sup> TEEB-prosjektet: The Economics of Ecosystem Services and Biodiveristy (Balmford et al. 2008).

## 2 Omfanget av rapporten

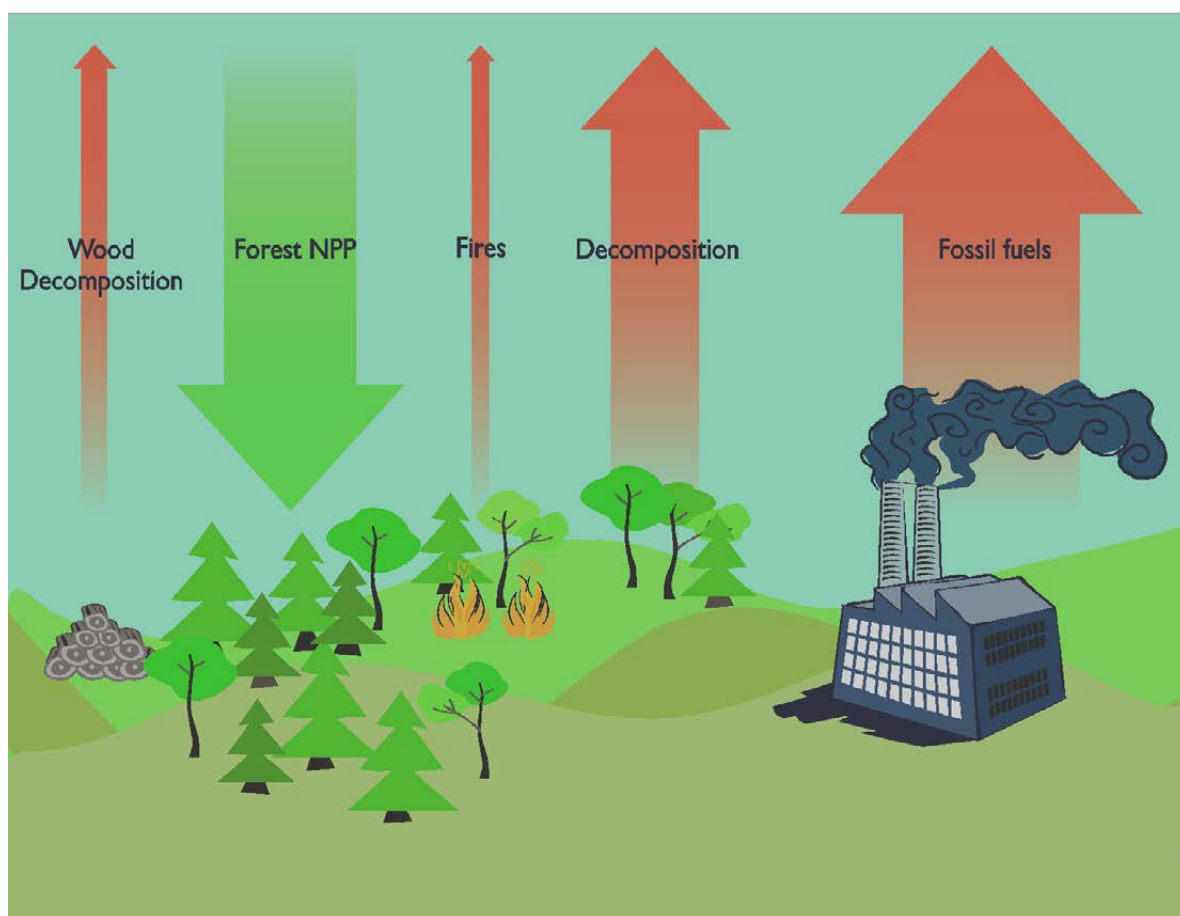
Denne rapporten beskriver goder samfunnet får fra naturen og hvordan de henger sammen med samfunnets utfordringer i forbindelse med klimaendringer. Rapporten fokuserer på tre viktige områder der naturen gir oss verdifulle goder gjennom økosystemtjenester.

Det første området har sammenheng med naturens kapasitet til å motvirke eller redusere økningen i globale klimagassutslipp (GHG-utslipp). Disse er i hovedsak et resultat av bruken av fossilt brensel, men kommer også fra endringer i arealbruk. Godene er i hovedsak et resultat av plantevekst eller andre prosesser i primærproduksjon. I tillegg utgjør naturlig vegetasjon og uforstyrret jord i terrestriske økosystemer også store lager av karbon (C). Når vegetasjonsdekket og jordsmonnet endres gjennom brenning, jordbearbeiding og drenering, frigis dette i form av karbondioksid (CO<sub>2</sub>) og kan bidra til å øke klimagassutslippene.

Et annet område er sammenhengen mellom naturens evne til å virke som en buffer, og motstå negative konsekvenser av klimatiske ytterligheter. Et slikt eksempel er situasjoner der mye nedbør fører til oversvømmelse og økt jorderosjon. Disse problemene vil sannsynligvis øke i framtida da de forventede klimaendringene på den nordlige halvkule spår stadig flere episoder med mye nedbør. Vegetasjonsdekket har kapasitet til å absorbere nedbørstopper og har dermed en avbøtende funksjon mot oversvømmelse og erosjon og medførende tap av jord. Naturens kapasitet til å redusere faren for tap av mat, stoff/fiber og tømmer, henger også sammen med klimatiske fenomener.

### 3 Karbonsyklus og klimagassutslipp

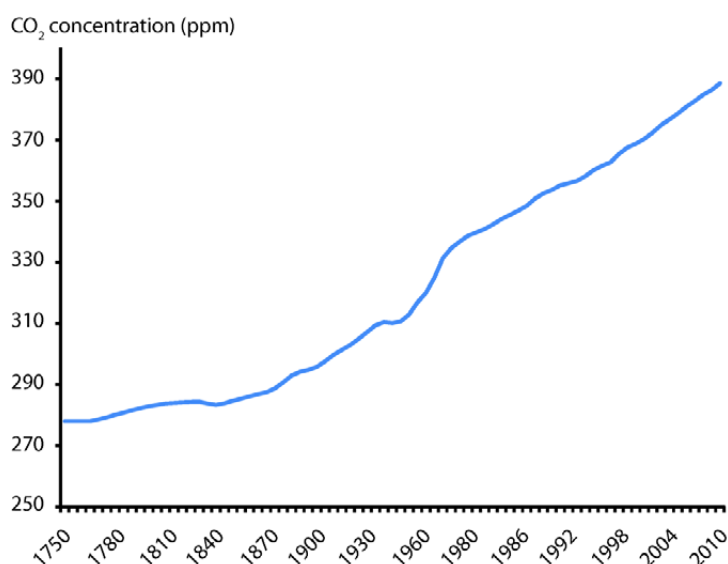
Terrestriske planter tar opp atmosfærisk  $\text{CO}_2$  gjennom fotosyntesen, og omdanner  $\text{CO}_2$ -molekyler til organiske forbindelser som plantevev og opplagsnæring (stivelse og sukker). Hastigheten av karbonlagringen er med andre ord hastigheten  $\text{CO}_2$  fjernes fra atmosfæren og bindes i plantenes biomasse. Dette har direkte sammenheng med fotosyntese og primærproduksjon (**Figur 1**). Planter returnerer noe  $\text{CO}_2$  tilbake til atmosfæren gjennom respirasjon, og differansen mellom mengden  $\text{CO}_2$  som tas opp gjennom fotosyntesen og det som frigjøres gjennom respirasjon, resulterer i oppbyggingen av biomasse (**Figur 1**). Planter er således helt avgjørende i karbonsyklusen. I tillegg til utslippene fra respirasjon slippes  $\text{CO}_2$  fra biologiske systemer tilbake til atmosfæren gjennom nedbrytning av organisk materiale. Brann og brenning av organisk materiale (trevirke og torv) er også prosesser som slipper ut  $\text{CO}_2$ .



**Figur 1.** Illustrasjon av prosessene som er involvert i karbonsyklusen. Den grønne pila viser netto karbonlagringsfunksjon fra atmosfæren til planter. Røde piler viser utslipp av klimagasser til atmosfæren gjennom nedbrytning av biomasse, brann og forbrenning av fossilt brensel. Pilens størrelse indikerer omfanget av prosessen.

Fossilt brensel er organiske forbindelser som planter har produsert og bygget opp over en lang tidsperiode (over hundre millioner år) og som er lagret under jordoverflaten, hovedsakelig som kull og olje. Når disse stoffene brennes, slippes oppsamlet  $\text{CO}_2$  og andre GHG (klimagasser) ut i atmosfæren. Mengden  $\text{CO}_2$  i atmosfæren viser omfanget av utslippet etter starten på den in-

dustrielle perioden, da disse kildene begynte å bli omfattende utnyttet (**Tabell 1**). Den økte mengden av GHG i atmosfæren er et resultat av forbrenningen av fossilt brensel, og fra forbrenning og økt respirasjon av biomasse og organisk jordmateriale som er dannet over lengre tidsperioder (tidsordenen 100 til 10 000 år) som forårsakes av endringer i arealbruk (**Tabell 2**). Målinger av den globale atmosfæriske konsentrasjonen av klimagasser viser en sterk økning siden den førindustrielle perioden, med en CO<sub>2</sub>-mengde som er langt over den naturlige variasjonen de siste 650.000 årene. Konsentrasjonen av atmosfærisk CO<sub>2</sub> har økt fra en mengde på 280 ppm fra den førindustrielle perioden til mer enn 387 ppm i 2008 (**Figur 2**).



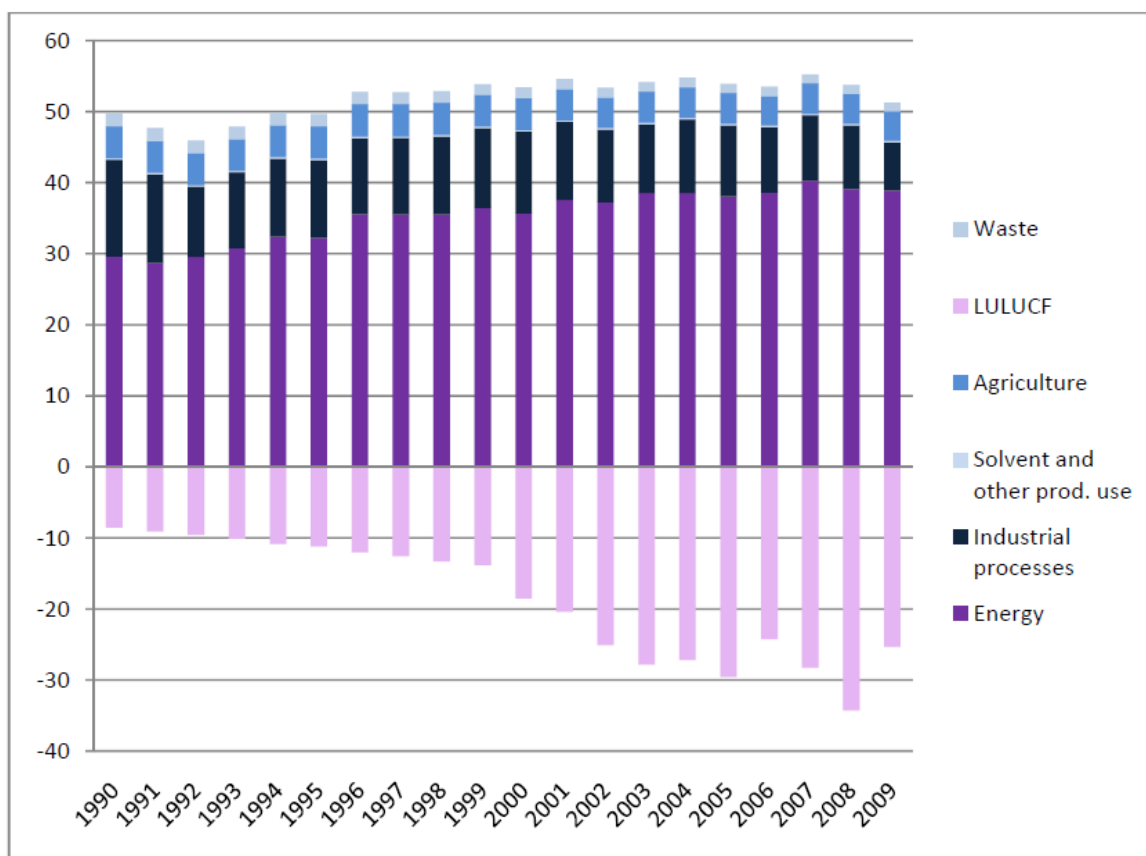
**Figur 2.** Historisk utvikling av atmosfærisk CO<sub>2</sub>-konsentrasjon (ppm). Kilde: European Environmental Agency (EEA).

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-co2-ppm> accessed 2011-12-20.

**Tabell 2:** Beregnet karbonutslipp fra fossilt brensel og endring i arealbruk (tusen tonn C per år). Kilde: Oak Ridge National Lab, Carbon Dioxide Information Analysis Center, i Stavins & Richards (2005).

	1850	1900	1950	1960	1970	1980	1990	2000
Fossilt brensel	54	534	1612	2535	3998	5177	5969	6385
Endring i arealbruk	503	697	935	1302	1537	1608	2158	2081

Utslippene i Norge har økt de siste 20 årene, hovedsakelig i energisektoren, men har hatt en liten reduksjon de siste par årene, hovedsakelig på grunn av mindre utslipp fra industrien (**Figur 3**).



**Figur 3.** Totale utslipp av GHG fra 1990 til 2009 for ulike samfunnssektorer, regnet som tusen tonn CO<sub>2</sub>. LULUCF: Arealbruk, endring i arealbruk og skogbruk. Kilde: Klif 2011.

## 4 Forventede klimaendringer i Norge

### 4.1 Egenskaper ved det norske klimaet

#### 4.1.1 Temperatur og plantevekstsesong

Norge har en betydelig geografisk og temperaturmessig variasjon (Hanssen-Bauer et al. 2009). Klimaet er relativt varmt sammenlignet med andre områder på samme breddegrad på grunn av påvirkning fra luft- og havstrømmer. Endringer i disse havstrømmene fører til endringer i det lokale klimaet. Den årlige gjennomsnittstemperaturen varierer fra +6 °C langs kysten på Vestlandet til -4 °C i områder som ligger høyere over havet (høgalpin sone). Parallelt varierer lengden på vekstsesongen, beregnet som antall dager med temperaturer over 5 °C, fra 225 dager på Vestlandet til under 70 dager i høyereliggende områder.

Variasjonen i breddegrad, nærhet til og høyde over havet, påvirker gjennomsnittstemperatur, lengde på vekstsesongen og sesongmessige temperaturvariasjoner.

#### 4.1.2 Nedbør og hydrologi

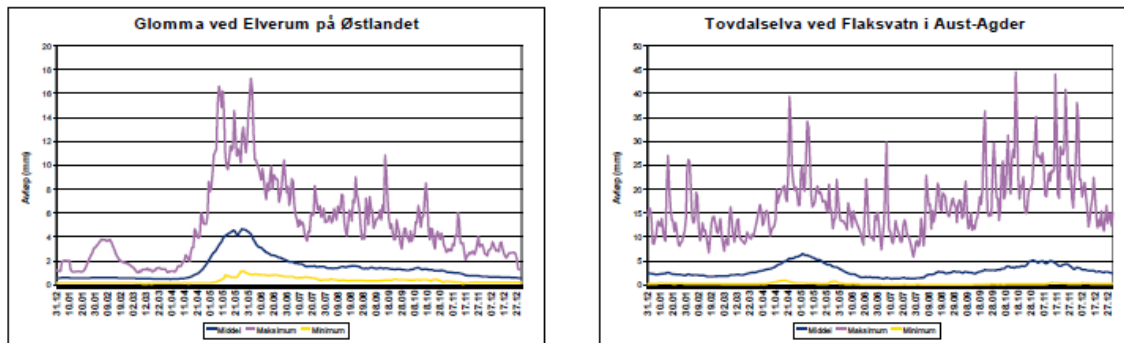
Avstanden til kysten regnes som en viktig klimatisk faktor, fra et oseanisk klima i kystområder til et kontinentalt klima i fjellene. Nærheten til hav har dermed en viktig innflytelse nedbørsmengden, uavhengig om den faller som vann eller snø, på avrenning og på den hydrologiske syklusen.

Den hydrologiske syklusen beskriver vannets bevegelser som nedbør, hvordan det akkumuleres som snø og is, eller absorberes og lagres som jord- og grunnvann, hvordan det returneres til atmosfæren gjennom fordampning og hvordan det blir brakt til sjøen som overflatevann (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Gjennomsnittlig faller det 1486 mm regn per år i Norge, hvorav 346 mm (ca. 25 %) tilbakeføres til atmosfæren gjennom fordampning og 1140 mm dreneres ved infiltrasjon og avrenning (Wong et al. 2011). Norge har dermed en positiv nedbørs-/fordampingsbalanse selv om de regionale forskjellene er store. I følge Hanssen-Bauer et al. (2009) varierer den årlige gjennomsnittsnedbøren fra omtrent 300 mm til 3500 mm, med mest nedbør i vestlige og nordlige deler av Norge. Øvre Gudbrandsdalen og indre Troms er de tørreste områdene (med mindre enn 300 mm nedbør), og enkelte områder på Vestlandet er våtest med over 5000 mm nedbør. I tillegg varierer gjennomsnittlig nedbør for regnværsdager i tørre og våte områder, med henholdsvis 15 mm til ca. 150 mm. Disse gjennomsnittsverdiene overstiges 3-4 ganger per år. Slike nedbørsmønstre påvirker i stor grad mengden av avrenning, som er størst på Ålfotbreen med ca. 5400 mm årlig nedbør, og lavest i Gudbrandsdalens kontinentale nedbørsfelt med en årlig nedbør på ca. 350 mm.

Nedbørsfelt nær kysten har i gjennomsnitt bare et par dager med snødekke, mens høyere fjellområder er dekket av snø mer enn 300 dager i året. Isbreer har snø- eller isdekke gjennom hele året. Den sesongmessige vannføringen i elver varierer avhengig av om de ligger ved kysten eller i innlandet (Beldring et al. 2003). Vannføringen i kontinentale elver og i fjellområder er lav om vinteren, og meget stor om våren og sommeren. Dette skyldes stabil og forutsigbar sesongmessig snøsmelting (Poff 2002, Beldring et al. 2003, og **Figur 4a**). På den annen side har nedbørsfelt i kystregioner mindre forutsigbare vannføringsmønstre med høy vannføring høst og vinter forårsaket av regn, og lav vannføring om sommeren (**Figur 4b**).





**Figur 4.** Normal (blå), størst (rød) og lavest (gul) observert vannføring (mm/dag) per dag og år i Glomma ved nedbørsfeltet i Elverum i Østlandsregionen (a) og i Tovdalselva ved Flaksvatn i Aust-Agder (b). (a) representerer fjell og (b) kystregionens avrenningsregimer (Beldring et al. 2003). Kilde: Hanssen-Bauer et al. 2009.

## 4.2 Klimaendringsscenarier

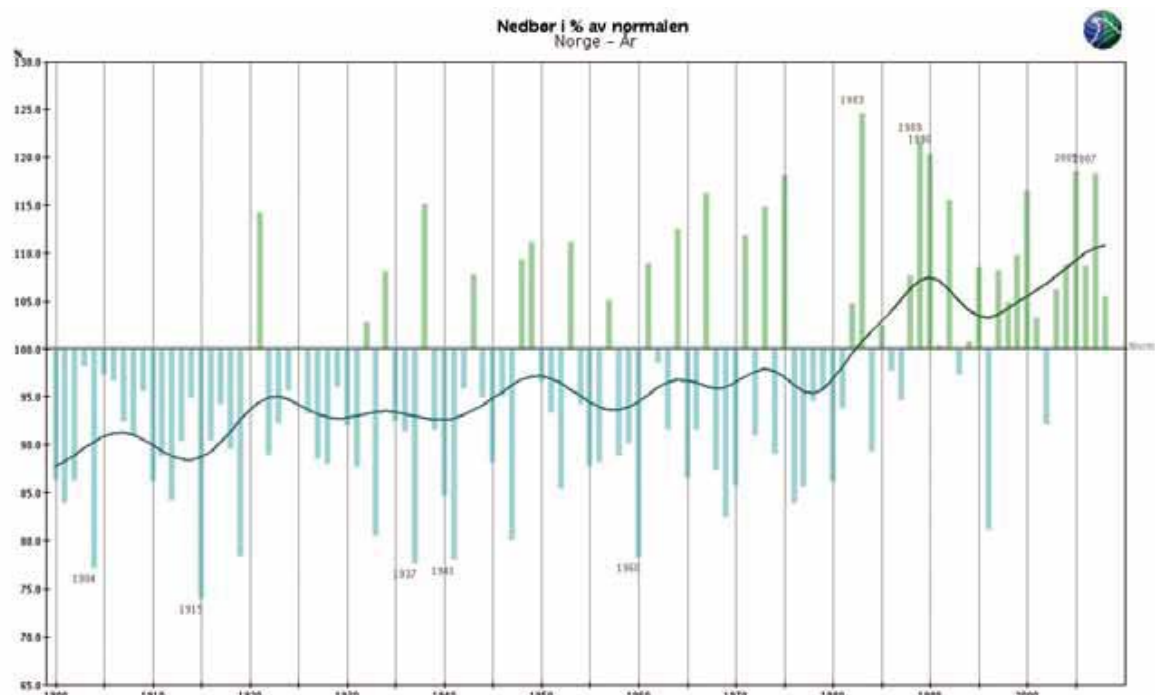
Kunnskapen om framtidens klimaendringer – hvor fort og hvor mye klimaet vil endre seg, er verken fullstendig eller sikker. Det er derimot en generell enighet blant forskere om at utslipp av klimagasser i atmosfæren vil ha betydelige konsekvenser for klimaet og livet på jorden. Dagens klimaforskning kommer ikke med sikre svar, men gir en indikasjon på hvilke klimaendringer som kan forventes (Flæte et al. 2010).

Hanssen-Bauer et al. (2009) beskriver hvilke klimaendringer som har vært observert det siste århundret. Til tross for at det er observert store variasjoner mellom år og tiår i det kontinentale Norge, har det vært en tydelig økning i nedbørsmengde de siste hundre årene, spesielt fra slutten av 1970-tallet (**Figur 5**). I det siste århundret har den årlige nedbørsmengden økt med nesten 20 %, med størst økningen observert på Vestlandet. Analysen viser også at økningen i nedbør i denne perioden har vært størst vinterstid og minst om sommeren (henholdsvis 24 % og 8 % økning de siste 100 årene). Men det er en betydelig variasjon mellom de forskjellige klimaområdene i landet. Sør-Norge har hatt den laveste økningen i sommernedbør.

I tillegg til observerte endringer i temperatur og mengde nedbør, kan hyppigheten og intensiteten av ekstreme klimahendelser også være en pekepinn på klimaendringer. Hanssen-Bauer et al. (2009) beskriver endringene i episoder med ekstrem nedbør observert i Norge i perioden 1900 til 2004 på følgende måte: Høyeste målte nedbørsmengde på en dag økte ved 2 av 3 målestasjoner i denne tidsperioden, selv om trendene kun var av statistisk betydning ved 4 stasjoner. Det er også antydninger til en økning i hyppigheten av kraftig nedbør i korte perioder (mindre enn en dag). I Osloområdet har det for eksempel vært en økning i hyppigheten av kraftig nedbør i 1-times intervaller i perioden mellom 1968 og 2008. Disse observasjonene stemmer overens med den internasjonale utviklingen. En rapport som nylig ble publisert av FNs klimapanel (engelsk: Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) (IPCC 2011) peker tydelig på at klimaendringer sannsynligvis øker i form av ekstreme klimahendelser.

Observasjoner av hydrologiske mønstre viser stor variasjon og er vanskelige å koble til klimaendringer. Hanssen-Bauer et al. (2009) peker likevel på en tydelig økning i avrenning om vinteren på Østlandet. Denne økningen er større i lavlandet enn i høyereliggende områder. Dette mønsteret tyder på at det må ha vært flere perioder med mildere vær og snøsmelting kombinert med regn enn i normalperioden. I tillegg må den registrerte økningen i avrenning fra isbreer sommeren og høsten 1993 ha vært en konsekvens av ismelting kombinert med nedbør i isfrie breområder. Begge mønstrene tyder på både høyere temperaturer og flere hendelser av vinternedbør i form av regn. Slike "regn-på-snø"-hendelser er situasjoner der regn faller på

frossen bakke med et allerede eksisterende snødekke. I dette tilfellet økes avrenningen både fordi regnet ikke tas opp av jorden og fordi det i tillegg kan føre til snøsmelting. Slike forhold kan i visse tilfeller føre til flom.



**Figur 5.** Utviklingen av nedbør i fastlands-Norge i perioden 1900–2008. Grafen viser nedbør som prosent av gjennomsnittlig nedbør i normalperioden 1961–1990. Kilde: Hanssen-Bauer et al. 2009.

Til tross for stor klimatisk variasjon, viser analyser at de klimaendringene som er observert det siste århundret stemmer overens med det som forventes som resultat av menneskelig påvirkning i form av økte konsentrasjoner av GHG i atmosfæren (Hanssen-Bauer et al. 2009). De predikerte klimaendringer tyder på ulike endringer i temperatur og nedbør i ulike deler av verden. I Norge peker de siste scenariene mot varmere sommermånedene (15. mai–15. oktober) for hele landet, med en temperaturøkning på 1–4 °C (Wong et al. 2011). De største endringene kan forventes i sørøstlige og nordlige deler av Norge, minst endring forventes på vestkysten. Ifølge oversikten kan også Midt- og Nord-Norge forventes å oppleve en økning i sommernedbør på 100 mm til mer enn 200 mm. Det er også forventet en generell økning i fordamping som resultat av temperaturøkningen (Wong et al. 2011).

## 5 Økosystemtjenester knyttet til klimaendringstiltak

Som en respons på bekymringene angående påvirkningene av menneskelig aktivitet på sammensetningen av atmosfæren og konsekvensene for økosystemer, det globale klimaet og menneskevelferd i framtiden, har FNs Klimakonvensjon (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) satt et endelig mål: *”å stabilisere klimagass-sammensetningen i atmosfæren til et nivå slik at farlig menneskeskapt påvirkning på klimasystemet unngås. Et slikt nivå bør oppnås innen en tidsramme som er tilstrekkelig til å la økosystemer tilpasse seg naturlig til klimaendring, til å sikre at matproduksjonen ikke er truet og til å la økonomisk utvikling fortsette på en bærekraftig måte”* (UNFCCC 1997 Artikkel 2).

Viktige økosystemtjenester henger sammen med dette målet. En akseptert strategi for å stabilisere GHG i atmosfæren under Kyoto-protokollen er *”beskyttelse og forbedring av lager og reservoarer av GHG som ikke omfattes av Montreal-protokollen<sup>2</sup>; fremming av bærekraftig skogforvaltning, regenerering av skog og skogplanting”* (UNFCCC 1997). I kapittel 5.1 og 5.2 forklares faktorene som danner grunnlaget for tiltakstjenester. Disse delene ser på karbonreservoarer eller lager, og prosessene som ligger til grunn for karbonlagring. I kapittel 6 behandles spørsmålet om hvordan naturforvaltning kan påvirke klimatilpasningstjenestene.

### 5.1 Karbon lagret i naturlig og seminaturlig vegetasjon

Økosystemer lagrer store mengder organisk karbon i vegetasjon, i torv og annen jord. Jord og organisk biomasse inneholder 3–4 ganger den mengden karbon som finnes i atmosfæren, og spiller derfor en viktig rolle som en kontroll av GHG i atmosfæren (Grønlund et al. 2010). En måte å stabilisere GHG i atmosfæren på er derfor å opprettholde karbonlageret i terrestriske økosystemer. På den måten reduseres mengden GHG som beveger seg mellom terrestriske økosystemer og atmosfæren.

Det er store forskjeller mellom økosystemenes karbonlager, både i størrelse og i hvordan karbonet er fordelt. Størrelsen avhenger både av areal og av økosystemets egenskaper, og av fordelingen avhenger av forholdet mellom stående vegetasjon, dødt materiale og organisk jordmateriale (soil organic matter – SOM).

I Norge dekker skog omlag 38 % av innlandet, myr og våtmark dekker 6 %, jordbruksareal og beitemark 3 %. Områder som ikke er dekket av noen av disse kategoriene utgjør 45 % av det totale arealet – hovedsakelig fjellområder uten skogdekke. De resterende 8 % er urbane områder, vannforekomster og isbreer (Grønlund et al. 2010, **Tabell 3**).

---

<sup>2</sup> Montreal-protokollen er en FN-avtale om bruk av kjemiske forbindelser som bryter ned ozonlaget, som ble diskutert i Montreal 16. september 1987. Protokollen har siden blitt justert og endret (UNFCCC 1997).

**Tabell 3.** *Typer arealdekke i Norge. Kilde: Statistisk sentralbyrå <http://www.ssb.no/areal/>*

	%	Km <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>	100.0	323 782
Urbane områder og konstruksjoner	1,4	4 533
Jordbruksareal og beitemark	3,2	10 361
Myr og våtmark	5,8	18 779
Vannforekomster og isbreer	7.0	22 665
Skog	38.2	123 685
Fjellområder	44.4	143 759

Det arealdekket som bidrar mest til karbonlagring er skog, myr og våtmark samt fjellområder over tregrensa.

**Karbonlager i skog og skogsjord.** I Norge er karbonlagrene i skog (som inkluderer biomasse over bakken og røtter) beregnet til ca. 450 millioner tonn, fordelt som 90 % i levende biomasse og 10 % i døde trær og dødt materiale. Omtrent 78 % av lagrene er biomasse over bakkenivå og 22 % er i røtter i jorden (Grønlund et al. 2010). Det er derimot betydelig variasjon i størrelsen på karbonlagre i skogbestand, avhengig av jordas næringsinnhold, sammensetning og alder. Mengden karbon lagret i boreal skog er høyere i områder med høy produktivitet (Kranabetter 2009, Grønlund et al. 2010). Furuskog og blandingsskog med gran og furu har større karbonlagre enn rene granskoger.

Globalt er lagrene av karbon i jord det største karbonreservoaret i terrestriske økosystemer, to til tre ganger større enn karbonreservoaret i vegetasjon (Schlesinger 1991). I norske skoger utgjør karbonlagrene i jord omtrent 75 % av totalt karbonlager i skogens økosystem, og er beregnet til 1 550 millioner tonn (Grønland et al. 2010). Størrelsen på karbonlageret i jord varierer betydelig med områdets fysiske egenskaper; tørr jord har betydelig mindre karbonlager enn våt jord, noe som ble påvist i en nyere studie i Sverige (Olsson et al. 2009).

Mengde karbon varierer med lagerets alder, som bygges opp i takt med skogens utvikling. Studier gjort i boreale skoger utsatt for forstyrrelser (brann), viser at den totale mengden karbon lagret over bakken er høyere i skoger som forstyrres ofte (Wardle et al. 2012). De samme studiene viser at karbonlagre i røtter og jordsmonn er større i skoger som har hatt lengre tid til oppbygging av biomasse. Om en legger sammen karbonlager både over og under bakken får en totalt et større karbonlager i skoger med lange, uforstyrrede oppbyggingsperioder (Wardle et al. 2012). Disse studiene viser at i motsetning til lagrene i skogens biomasse, bygges organiske karbonlager i jordsmonnet i boreal skog opp over lang tid. Studiene av Wardle et al. (2012) viser en kontinuerlig oppsamling av organisk jordmateriale de siste 5000 årene, og lagring av karbon i jord er antatt å ha foregått i en periode på over 10 000 år i store deler av Skandinavia.

**Karbonlager i myr.** Til tross for det myr utgjør et relativt mindre område, utgjør karbon lagret i åpne myrer i Norge omtrent halvparten av karbonlageret i skog og skogsjord til sammen. Størrelsen på lageret avhenger av dybden på torvlaget (mellom 0,65 m og 2 m i Norge), tettheten og andelen torv. Det er beregnet å være 950 millioner tonn karbon lagret i myr i Norge (Grønlund et al. 2010).

**Karbonlager i fjell.** Fjellområder dekker 44,4 % av innlandet i Norge (**Tabell 3**). Det totale karbonlageret i disse områdene er beregnet til mellom 500 og 1500 millioner tonn karbon.

## 5.2 Karbonopptak og lagring

Storparten av GHG som slippes ut i atmosfæren gjennom brenning av fossilt brensel er CO<sub>2</sub>, den grunnleggende forbindelsen planter bruker til å bygge opp biomasse og som er grunnlaget for nesten alt liv på jorden. I skog er hastigheten av CO<sub>2</sub>-lagring i hovedsak bestemt av forholdene for plantevekst (f.eks. klima og næringsstoffer i jord), forvaltningsregime og type trær involvert (Stavins & Richards 2005). En positiv differanse mellom hastigheten av CO<sub>2</sub>-lagring og utslipp til atmosfæren, vil gi en netto akkumulering av biomasse (i form av blad, grener, stilker, røtter og andre plantefibre). Økosystemet fungerer i dette tilfellet som et CO<sub>2</sub>-lager, og dersom forskjellen er negativ, en CO<sub>2</sub>-kilde. De foreslåtte GHG-stabiliseringstiltakene for "beskyttelse og fremming av CO<sub>2</sub>-lager" (UNFCCC 1997) ser på vedlikehold og/eller fremming av CO<sub>2</sub>-lagring hos planter. Med andre ord, en metode naturen bruker for å motarbeide de negative konsekvensene av menneskelig aktivitet på atmosfæren og det globale klimaet. Endringer i lagret karbon måles i Norge og rapporter om GHG-utslipp og karbonlager blir også sendt inn til FNs Klimakonvensjon (UNFCCC) og til EU (Climate Pollution Agency 2011, **Figur 3**).

Skogbestandene i Nord-Europa (Luyssaert et al. 2010) og i Norge (de Wit et al. 2006) har økt de siste par tiårene, noe som har resultert i et betydelig sterkere karbonlager. I Norge var det mellom 1970 og 2001 en beregnet økning på henholdsvis 29 % og 4,5 % for skogens biomasse og karboninnholdet i jord i produktive skoger (de Wit et al. 2006). Både boreale skoger, myrer og våtmark utgjør i dag betydelige karbonsluk i Norge, men de kan bli netto karbonkilder i takt med at jorden blir varmere.

Det er flere faktorer som har innvirkning på om økosystemer er et karbonsluk<sup>3</sup> eller karbonkilde (om differansen mellom CO<sub>2</sub>-opptak gjennom fotosyntesen og utslipp gjennom respirasjon og lagring av organisk materiale er positiv eller negativ) (**Tabell 4**). Disse faktorene avhenger av ressursene som er tilgjengelige for plantevekst, klima, arealbruk og forvaltning. Derfor kan variasjon i grad av CO<sub>2</sub>-opptak og -utslipp være en konsekvens av endringer i disse faktorene.

CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i luft er avgjørende for plantevekst. Det kommer stadig flere bevis på at økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i atmosfæren har stor innvirkning på plantevekst. Bellassen et al. (2011) indikerer at høyere innhold av atmosfærisk CO<sub>2</sub> påvirker lagrene mer; noe som tyder på at GHG-utslipp har stor direkte påvirkning på karbonsyklusen og økosystemfunksjonene. Viktige vekstfaktorer som tilgjengelighet av vann, drenering og næringsinnholdet i jord, påvirker også skogens kapasitet til å ta opp CO<sub>2</sub>.

Kapasiteten for opptak av CO<sub>2</sub> er også bestemt av skogbestandens egenskaper, som alder og artsfordeling. Ellers er kapasiteten for CO<sub>2</sub>-lagring normalt lav i tidlige faser av skogbestanden, økende med alder, og synkende med modenhet. Bellassen et al. (2011) understreker viktigheten av skogbestandens alder for karbonlagringskapasitet. I denne studien gav skogbestandens ulike aldersstruktur og forvaltning stor variasjon i mengden karbon tatt opp i løpet av en skogrotasjon, en effekt som til og med var større enn den som var forårsaket av svingninger i klima (600g C m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup> sammenlignet med <300 g C m<sup>-2</sup> år<sup>-1</sup>, for henholdsvis forvaltning og klima). På en annen side varierer karbonopptaket mellom treslag (Stavins & Richards 2005). Til tross for tidligere påstander om at aldrende skoger slutter å ta opp karbon og når en fase med nøytral CO<sub>2</sub> nettobalanse, viser nyere studier at urskog også fjerner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren og derfor virker som et globalt karbonsluk (Luyssaert et al. 2008).

<sup>3</sup> Karbonsluk: komponent i økosystemet der karbonlagret øker. På engelsk 'carbon sink'

**Tabell 4:** Faktorer som påvirker CO<sub>2</sub>-opptak og utslippsprosesser, og dermed påvirker balansen mellom CO<sub>2</sub>-sluk og CO<sub>2</sub>-kilder i skog og skogsjord.

FAKTOR	C OPPTAKSPROCESS	C UTSLIPSPROCESS
<b>Fysiske forhold</b>		
Atmosfærisk CO <sub>2</sub> -konsentrasjon	Med høy CO <sub>2</sub> -konsentrasjon: økt fotosyntesehastighet, høyere biomasse og akkumulering av C i jord.	
Temperatur	Generelt høyere fotosyntesehastighet ved høyere temperatur.	Generelt høyere respirasjons- og nedbrytningshastighet ved høyere temperatur (Cornwell et al. 2008).
Vannbalanse	Planteveksthastighet avgjøres av vanntilgjengelighet, minker ved tørke.	Høy vannmetning i jord. De største C-lagrene i boreale skoger oppstår i områder med dårlig drenering (Rapalee et al. 1998). Jord- og våtmarkdrenering er ofte en av hovedårsakene til CO <sub>2</sub> -utslipp.
Områdets fruktbarhet	Mer C-lagring i områder med høyere produktivitet (Kranabetter 2009, Grønlund 2010).	
<b>Skogbestandens alder</b>	<p><i>På bestandsnivå</i> nås toppen av biomasseproduksjon ved middels alder (Stavins &amp; Richards 2005) men karbonlagring fortsetter i urskog (Luyssaert et al. 2008).</p> <p><i>På økosystemnivå</i> tilsier prognosene at skogbiomasseproduksjonen i norske boreale skoger vil jevne seg ut ved omlag 190–340 års alder (Holtsmark 2011)</p>	<p><i>Bestander</i> påvirkes av mengde strø og dødt trevirke. Kan øke i urskog på grunn av høyere nedbrytningshastighet av dødt trevirke.</p> <p><i>På økosystemnivå</i> vil jordkarbon i nordiske boreale skoger øke i minst 5 000 år (Wardle et al. 2012).</p>
<b>Arts-sammensetning</b>	Artsbestemt veksthastighet påvirker CO <sub>2</sub> -lagringshastighet.	<p>Plantearters strø og kvaliteten på dødt trevirke påvirker nedbrytningshastigheten av organisk materiale.</p> <p>*Lavt N, høyt lignininnhold og sekundærkomponenter reduserer nedbrytningshastigheten (Cornelissen et al. 1999, Cornwell et al. 2008).</p> <p>*Kvaliteten på strøet kan påvirke nedbrytningstypen (sopp vs. bakteriell nedbrytning). Høyere sopp/bakterie-ratio ser ut til å fremme C-akkumulering i jord (Wardle et al. 2004).</p>

viste at netto økosystem produktivitet (netto karbonbalanse inkluderer jord) vanligvis er positiv i skoger som er mellom 15 og 800 år gamle, noe som demonstrerer at urskog kan fortsette å ta

opp karbon. Disse resultatene står i kontrast til det mangeårige synet at urskoger er karbon-nøytrale.

En av hovedfaktorene for nedbrytning av organisk materiale og akkumulasjon av karbon i jord er kvaliteten på strøet, noe som henger sammen med plantenes bladkvalitet (se for eksempel Rothstein et al. 2004, Cornelissen et al. 2004, Cornwell et al. 2008, Weedon et al. 2009, Wardle et al. 2012). De klimatiske påvirkningene på strøets nedbrytningshastighet kan være viktig, men de virker å være mindre sammenlignet med forskjellene i strøets kvalitet (Cornwell et al. 2008). Videre virker det som strøets kvalitet har innvirkning på hvordan karbon i jord akkumuleres i løpet av skogens utvikling. Studier i nordlige deler av Skandinavia (Wardle et al. 2012 og referanser inkludert der) viser at karbon i jord bygges opp jevnt ettersom skogen utvikles. Karbonlagret øker når pionérarter blir erstattet av senere suksesjonsarter (her først og fremst gran). Wardle et al. (2012) forklarer økningen i skogsjordens karbonlagre med lav nedbrytningshastighet av strø fra sensuksesjonsartene, da strøfall fra bartrær har høyere innhold av ligning og annet tungt nedbrytbart organisk materiale.

## 5.3 Arealbruk og økosystemenes kapasitet til å redusere effekter av klimaendring

### 5.3.1 Karbonlagring og skogforvaltning

Endringer i forvaltningspraksis og arealbruk kan påvirke karbonlagre i terrestriske økosystemer. Avskoging og annen omlegging av naturlige vegetasjonsdekke er viktige kilder for CO<sub>2</sub>. Dette skyldes økt frigjøring av karbon på grunn av raskere nedbrytning av organisk materiale og gjennom forbrenning. Fra starten på den industrielle perioden har mer enn en tredjedel av menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslipp kommet fra arealbruksendring (Chan et al. 2006 og Houghton 2002<sup>4</sup>, **Tabell 2**). Dagens utslipp av karbon fra levende biomasse og organisk jordmateriale som kommer fra avskoging og arealbruksendring, og tilsvarer 20 % av de totale GHG-utslippene (IPCC 2007).

I Norge har arealbruk, endring i arealbruk og skogbruk (LULUCF) bidratt til et negativt GHG-utslipp av atmosfærisk CO<sub>2</sub> siden midt på 1990-tallet (Climate and Pollution Agency 2011, **Figur 3**). Med andre ord har det skjedd en netto biologisk binding av karbon i denne perioden. Så lenge årlig tilvekst er større enn årlig avvirkning, vil karbonlageret fortsette å øke.

Disse mønstrene kan derimot endres ved mer intensiv bruk av skogen, for eksempel ved utnytting av biobrensel. Dersom avvirkningen øker i forhold til dagens nivå vil karbonlageret øke saktere. Simulering av økt utvinning av biobrensel i Norge vil kunne påvirke det høstede arealet, omløpstiden (tid fra planting til avvirkning) og mengden karbon lagret i skogens biomasse. Et årlig avvirkningsnivå på 9,5 Mm<sup>3</sup> legger opp til en omløpstid på 250 år og et avvirkningsområde på 300 km<sup>2</sup> per år. En økning av avvirkning til 22,5 Mm<sup>3</sup> vil redusere karbonlageret i skogens biomasse med omlag 50 % (Holtsmark 2011, **Tabell 5**). Selv uten å vurdere tap av karbonlager fra jord, vil et høyere nivå av avvirkning av skogens biomasse redusere lageret med omtrent 90 Mt karbon. Det vil være en tidsforskyvning til dette utslippet er tatt opp igjen av ny skog som plantes etter avvirkning (**Figur 6**). Denne tidsforskyvning er ofte omtalt som tilbakebetalingstid (Klif 2011).

Resultatene fra ulike modeller (Holtsmark 2011, Klif 2011 og referanser i disse) viser at karbon tilbakebetalingstiden er opp mot 100 år eller mer (avhengig av hva trevirket anvendes til) – og minst 150 år før karbonregnskapet blir positivt, gitt permanent økt avvirkning. Klima- og forurensningsdirektoratet konkluderer i sin rapport (Klif 2011) at dette kan være et argument for å

<sup>4</sup> Globalt årlig netto flux av karbon til atmosfæren på grunn av arealbruksendring: 1850-2000 <http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/land-use/houghton/houghtondata.txt>

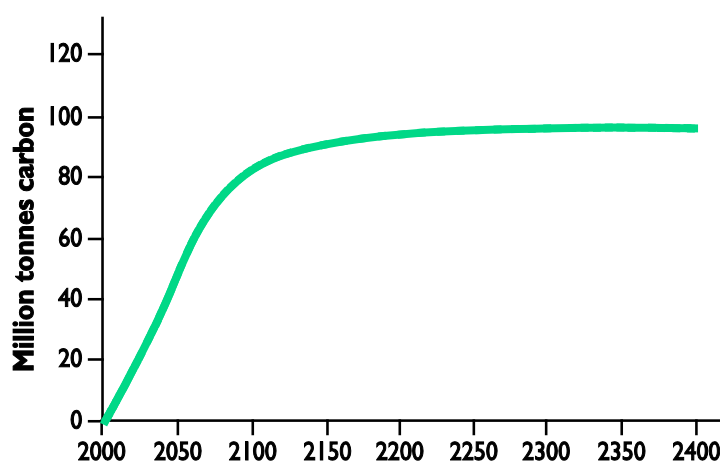


unngå større avvirkningsnivå enn i dag, for at skogen på den måten kan virke som karbonlager i enda større grad enn i dag.

**Boks 1.** De nasjonale LULUCF-utslippene og karbonopptakene er beregnet og rapportert til Klimakonvensjonen og Kyoto-protokollen basert på data fra Landsskogstakseringen (Skog og landskap) komplettert av andre data fra Statistisk sentralbyrå, Statens landbruksforvaltning, Mattilsynet, Direktoratet for naturforvaltning og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Kalkulasjonene av biomasse og karbonlager i skog er basert på hvert enkelt tres bestanddeler som stamme, bark, levende grener, døde grener, nåler, stubber og røtter, samt andre av skogbestandens egenskaper målt i permanente prøveflater av skog (Klif 2011).

**Tabell 5.** Eksempler på to scenarier av karbonlagret i skogens biomasse etter utvinning av biobrensel i Norge. Høyere årlig avvirkning fører til kortere omløpstid og større avvirkningsområder. Kilde: Holtsmark (2011).

Omløpstid (år)	Årlig avvirkning (Mm <sup>3</sup> )	Avvirkningsområde (km <sup>2</sup> /år)	C lagret i død og levende biomasse (MtC)
90	22,5	833	467
250	9,5	300	933



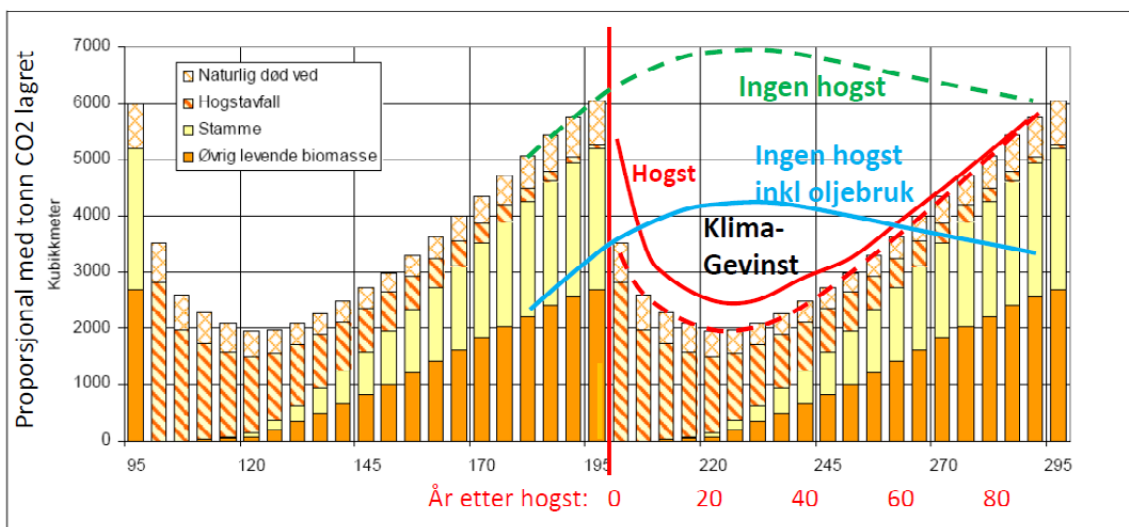
**Figur 6:** Forventet utvikling av karbonlager i skog ved økt skogavvirkning i Norge. Kilde: Holtsmark 2011.

Disse forventede endringene i skog tar kun hensyn til skogens biomasse og ser ikke på påvirkningene av skogens omløpstid på karbonlager i jord. Derfor er det sannsynlig at tap av karbonlager er underestimert (Holtsmark 2011). Studier av skog med ulike brannregimer støtter konklusjonen at hyppigere fjerning av biomasse resulterer i betydelig mindre karbonlager (Wardle et al. 2012). Fjerning av biomasse i form av tømmer og annet trevirke har sannsynligvis betydelige konsekvenser for karbonlagret gjennom reduksjon av mengden biomasse i jord. På den annen side er ikke oppbygging av karbonlager kun avhengig av tilførsel av strø og annet dødt plantemateriale. Andre prosesser som påvirker hastigheten av mineralisering av organisk materiale kan være enda viktigere og kan nøytralisere forskjellene i biomassetilførsel. For eksempel ser det ut til at felling av hele trær (*whole tree harvesting*) har mindre påvirkning på orga-

nisk karbon i jord enn om kun stammen er avvirket. Dette ble nylig belyst i en langtidsstudie i Sverige hvor forskjellene i karboninnhold ved ulike hogstmetoder ble tilskrevet et samspill av faktorer som påvirker aktiviteten til mikroorganismer i jordsmonnet (Vangelova et al. 2010).

### 5.3.2 Karbonlagring og arealforvaltning

Måten skogen er forvaltet på påvirker i stor grad utviklingen av CO<sub>2</sub>-oppbygging i skogens biomasse over tid. Holtmark har beregnet forskjellene i karbon oppsamling i to ulike skoger i Norge (**Figur 7**). I alternativ 1) "Hogst" er den voksne skogen høstet ifølge dagens praksis, hvor produktene er en tredjedel av ved, papir og tømmer hver. Tiden det tar for disse produktene å bli brent eller nedbrutt er beregnet til henholdsvis 1, 5 og 50 år. I alternativ 2) "Ingen hogst", blir skogen stående og energibehovet som oppstår fra reduksjonen i mengde ved, er kompensert for ved å brenne olje. Disse beregningene viser at i hogstalternativet reduseres karbonlageret i inntil 30 år, da det begynner å øke kraftig mens den nye skogen modnes. I ikkehogstalternativet, øker karbonlageret (etter beregnet utslipp fra oljebrenning) til det når et platå mellom år 20 og 40, deretter er det en langsom reduksjon. Ikkehogstalternativet resulterer i høyere karbonlager i perioden fra 5 til 55 år etter at avgjørelsen om hogst/ikkehogst er tatt (år 0). Det er behov for mer nøyaktige modeller for å forutsi karbondynamikken i norske skoger, men disse resultatene gir sterke indikasjoner på at økt avvirkning vil redusere CO<sub>2</sub>-lageret i skogen med stor sikkerhet på kort sikt (til ca. år 2050), men også på lang sikt (Randers 2011).



**Figur 7.** Utvikling av biomasse i en skogbestand over en periode på 100 år. Kilde: Bjart Holtmark, SSB, 2010 i Randers (2011). Alternativ 1 "Hogst": - - - CO<sub>2</sub> bundet i skogen som avvirknes i år 0. — inkluderer CO<sub>2</sub> bundet i det som ender opp som ved, papir og tømmer. Alternativ 2 "Ingen hogst": - - - Ingen hogst, brenning av olje med samme energiinnhold som ved som ikke høstes, men forblir i skogen. "Ingen hogst inkl oljebruk": — Netto CO<sub>2</sub>-balanse etter oljebrenning. Området mellom den blå og røde kurven representerer klimagevinsten i form av lavere CO<sub>2</sub>-utslipp, gitt at vedfyring erstattes av olje.

### 5.3.3 Andre klimaeffekter av skogbruk

Måten området og skogen forvaltes på kan ha andre effekter på klimaet i tillegg til de som følger av endringer i kapasitet til å binde og lagre karbon. Endringer i skogdekke, bestandsalder og artssammensetning påvirker klimaet ved at energibudsjettet endres. Generelt fordampes det mer vann og overføres mer varme til atmosfæren fra skog, sammenlignet med åpne eller buskede områder. Skogdekket påvirker også balansen av både langbølget og kortbølget stråling, og det påvirker albedo, som er et mål på en flates evne å reflektere lysinnstråling.

Jordoverflatas og atmosfærens albedo varierer fra 90 % for nysnø til rundt 40 % i moden boreal skog (Bright et al. 2011). Høgst og skogsbrukspraksis som endrer bestandsalder, tetthet og artssammensetning kan endre albedoen. Barskog gir lavere albedo enn løvskog, og tett skogsdekke gir lavere albedo enn hogstflater. Høyere albedo resulterer i avkjøling, noe som kan motvirke oppvarmingseffekten som følger av GHG-utslipp (Bright et al. 2011). Disse faktorene kan påvirke lokalt og globalt klima på ulike måter, og nettoeffekten på temperatur kan bli både positiv og negativ.

## 6 Resultat av klimaendringer

Temperaturøkningene i det 20. århundre har allerede påvirket flommønsteret, og framtidig oppvarming kan få alvorlige konsekvenser. Det forventes endringer i omfang, volum, frekvens og varighet av flomepisoder (Poff 2002). Nylige beregninger peker mot at klimaendringer vil resultere i mer ekstreme hendelser, for eksempel kraftigere nedbør (IPCC 2011) og endret flommønster (Johnsen et al. 2011).

I en nylig utgitt rapport understreker FNs klimapanel viktigheten av å stabilisere GHG-konsentrasjonene i atmosfæren, ved å se på sammenhengen mellom klimaendringer og ekstremvær. Basert på mer kunnskap om årsakene for tap på grunn av klimatiske farer, Rapporten presenterer solid grunnlagsmateriale for at noen viktige klimatiske ekstremere har endret mønster, og at disse vil endres mer i framtida. Konklusjonene er at det er "tilnærmet sikkert" at hendelser med ekstremt varmt vær vil oppstå oftere dette århundret, og at kraftigere nedbør og sterkere stormer sannsynligvis vil oppstå i de kommende tiår på global skala, ettersom klimaendringene tiltar i styrke (IPCC 2011).

### 6.1 Konsekvenser av hydrologiske sykluser

Klimaendringene som er observert i Norge er beskrevet i kapittel 4. Økt nedbørsmengde, økt frekvens av korte episoder med høy nedbør og økt hyppighet av regn på snø tyder på endringer i hydrologiske mønstre og økt sannsynlighet for flom. Dette betyr at hendelser som vanligvis oppstår hvert 100 til 200 år (**Figur 8**) sannsynligvis vil inntreffe oftere i framtida.



**Figur 8:** Flomstein som viser historiske vannstandsrekorder for Glomma ved Grøset, Grue. Det er verdt å legge merke til at flommen sommeren 2011 bare nådde den nedre delen av minnesteinen. Mye tyder på at forventede ekstreme hendelser sannsynligvis vil øke som en konsekvens av klimaendringer (IPCC 2011, Hansen-Bauer et al. 2009). Foto: A. Hofgaard.

Endringer i klima kan ha betydelige innvirkninger på hydrologiske prosesser og transport av løsmasser. Hvilken betydning klimaendringer har på hydrologiske prosesser og konsekvensene for løsmasseskred og geomorfologi er derimot vanskelige å forutse. Paleohydrologiske studier kan gi verdifull innsikt i hvordan klimaendringer har påvirket hydrologien. Flere studier med data fra en periode på over 7000 år viser at små endringer i temperatur (1–2 °C) og i nedbør (10–20 %) kan føre til store endringer i omfang og hyppighet av flom (Poff 2002). Når de observerte endringene sammenholdes med geologiske data, peker de mot en sammenheng mellom endringer i hydrologi og viktige prosesser knyttet til løsmasser og geomorfologi som kan ha gitt opphav til raske endringer i elveløpene (Poff 2002).

## 6.2 Forekomst av tørke

Selv i Norge, med rikelige ferskvannsressurser, har alvorlige og langvarige tørkeperioder resultert i store problemer i de siste årene (Wong et al. 2011). De forventede endringene i temperatur og nedbør vil sannsynligvis resultere i hyppigere tørkeepisoder. På den annen side vil forekomsten av tørke være avhengig av om nedbøren øker nok til å kompensere for økt fordampning. Trendanalyser indikerer at sommertørke i sørlige deler av Norge har blitt mer alvorlig (Wilson et al. 2010, sitert i Wong et al. 2011). Generelt forventes tørkeperioder relatert til jordfuktighet, avrenning og grunnvann (hydrologisk tørke) å bli vanligere. Dette er forventet for både gjennomsnittlig og maksimum lengde av tørkeepisodene (Wong et al. 2011). Wong et al. (2011) har modellert forekomsten av tørke som en konsekvens av klimaendringer. De konkluderte med at til tross for antatt økning i sommernedbør er økningen i sommertemperatur forventet å resultere i lengre hydrologiske tørkeperioder (16–60 dager) i store deler av Norge. De fant at både gjennomsnittlig og maksimum varighet av tørkeepisoder vil øke signifikant. Flere vedvarende hydrologiske tørkeperioder er også en konsekvens av at økte temperaturer påvirker tidspunkt for snøsmelting. Tidlig vår vil føre til tidligere snøsmelting, noe som resulterer i en lengre sommerperiode.

## 6.3 Løsmasseskred og snøskred

Løsmasseskred er en prosess der jord, regolitt<sup>5</sup> og stein beveger seg nedover en skråning under påvirkning av tyngdekraften. Løsmasseskred oppstår under følgende forhold: i) bratt terreng (normalt over 30° helning), ii) løse materialer som kan bevege seg, og iii) utløsende faktorer som fører til ustabilitet av løse materialer ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)). Utløsende faktorer for løsmasseskred henger sammen med klimatiske og hydrologiske prosesser, ettersom jordvann kan øke eller minske stabiliteten av en skråning avhengig av mengde vann til stede. Ved små mengder vann vil vannets overflatespenning bidra til at jordas bindekraft (kohesjon) øker. Dette gjør at jorden står imot erosjon bedre enn om den var tørr. Om for mye vann er til stede kan vannet virke som et smøremiddel, og således akselerere erosjonsprosessen og forårsake ulike typer skred (jordskred, ras o.l.). Derfor utløses skred ofte i perioder med kraftig regn, ved vannmetning i jorda, når trykket forårsaket av vann i jordporene er høyt.

Løsmasseskred, jorderosjon og snøskred kan utløses av ekstreme værforhold (Kronholm & Stalsberg 2009). Basert på de forventede endringene i nedbør, økt hyppighet av hendelser med kraftig regn og mer regn i stedet for snø om vinteren, vil risikoen for løsmasseskred og snøskred kunne øke i Norge, spesielt i kystområder. Områder der topografiske og klimatiske forhold som fremmer skred opptrer samtidig, vil være spesielt utsatt.

<sup>5</sup> Regolitt er et lag av løst, heterogent materiale som dekker stein. Det inkluderer støv, ødelagt stein og andre materialer.

## 6.4 Økosystemtjenester og tilpasning til klimaendring

### 6.4.1 Skogens evne til å regulere vannavrenning og flom

Flom oppstår som følge av ekstrem avrenning fra nedbørsfelter, og prosessene henger nøye sammen med den hydrologiske syklusen. Denne syklusen blir i dag påvirket av endringer i temperatur, nedbør, isbreer og snødekke – med andre ord klimaendringer. På den annen side kan andre faktorer som endringer i arealbruk også endre naturlig vannførsel. Forventede endringer i nedbørsregimene vil bidra til å endre intensiteten og hyppigheten av flom og muligens også av «flash»-flom<sup>6</sup> (EEA SOER 2010).

Hydrologiske prosesser er følsomme for romlige variasjoner i jordsammensetning og vegetasjon, og vegetasjonsdekket har en viktig funksjon i reguleringen av vannføring i nedbørsfelter. Selv om jordsammensetning, topografi og underliggende geologi ofte kan være viktigere faktorer enn vegetasjonen, kan endringer i skogdekke ha dramatiske konsekvenser for evnen til å ta opp nedbør i jordsmonnet og økosystemets evne til å regulere vannføring (Balmford et al. 2008). I Norge er grunnvannskapasiteten relativt liten på grunn av at store områder har relativt tynne løsmasser som ligger over ugjennomtrengelig berggrunn (Wong et al. 2011). Derfor er avrenningen relativt mer avhengig av fordamping og forekomster av snøoppsamling og isavsmelting (ablasjon) enn av jordsammensetningen. Disse faktorene er hovedsakelig påvirket av vegetasjonsdekket (Matheussen et al. 2000).

Om et område er skogdekt eller ikke, påvirker avrenningen fra nedbørsfelter gjennom ulike egenskaper og prosesser. Skog regulerer avrenning fra nedbørsfelter ved i) å beholde vann i trekronene som returneres direkte tilbake til atmosfæren gjennom fordamping (Birkinshaw et al. 2010); ii) å øke nedbørsinfiltrasjonen i jorden gjennom høyere jordporøsitet på grunn av dype og lange røtter (Price 2011); iii) økt kapasitet for å holde på vann på grunn av høyere jordporøsitet og innhold av organisk materiale og iv) høyere fordampingshastighet på grunn av større bladoverflate og rotsystemer (Price 2011). Ryddet land har lavere fordampingshastighet enn skog, og dette fører til at jordsmonnet blir våtere og mer utsatt for nedbør (Balmford et al. 2008) (**Figur 11**).

Påvirkningen av skogdekke på vannføring kan oppsummeres slik: *”Spesielt i områder med sesongmessig nedbør har hogst viktige konsekvenser for jordas egenskaper, som i sin tur påvirker nedbørens infiltrasjonshastighet og reguleringen av tilgjengelig vann for vanning, vannkraftproduksjon og transport (vannveier). Ved rydding blir nedbørsfeltets respons på nedbør mer tydelig og sporadisk, noe som resulterer i stor avrenning i regnværsperioder, og lavere fyllingsgrad av jordsmonnets vanninnhold og grunnvannsreserver. Generelt fører skogrydding til redusert (eller minimum) vannføring i tørkesesongen* (Balmford et al. 2008, oppsummert fra Brunijnzeel 2004).

#### Boks 2. Skogens tjenester for flomregulering av nedbørsfelt

- **Redusert vannmengde i nedbørsfeltet** ved at nedbør og snø fanges opp og ved høyere fordamping
- **Redusert avrenning** gjennom høyere nedbørsinfiltrasjon på grunn av høyere jordporøsitet
- **Reduserte utslippstopper fra nedbørsfeltet** gjennom økt vannlagringskapasitet i jord og vegetasjon

<sup>6</sup> Flashflom er en plutselig lokal oversvømmelse av lavtliggende områder. Dette oppstår i tilfeller der nedbør faller for raskt på vannmettet jord eller på tørr jord med for dårlig absorberings-evne til at vannet kan tas opp av jordsmonnet. Dette kan komme av kraftig regn eller smeltetvann fra is og snø som flyter over innlandsis eller breer.



### 6.4.2 Våtmarkenes rolle i flomkontroll

Hydrologien i våtmark har innvirkning på en rekke funksjoner som heving og senking av grunnvannstand, vannføring og sedimentavsetninger. Det er mange eksempler der våtmarker reduserer flomfare, øker grunnvannsmengden og senker vannføringen. Evnen våtmarkene har til å redusere avrenning og tilbakeholde vann varierer likevel mye. Det er derfor vanskelig å generalisere, siden tilsynelatende like våtmarker kan være drevet av ulike hydrologiske prosesser (Bullock & Acreman 2003).

Det er derimot en sterk enighet om at våtmark påvirker vannsyklusen betydelig. Bullock & Acreman (2003) oppsummerte de funksjonelle egenskapene våtmark har på hydrosykluser og fant at størsteparten (ca. 80 %) av de studerte tilfellene pekte mot at våtmark enten øker eller reduserer en spesifikk del av vannsyklusen. Noen våtmarker kan generere flom mens andre har kapasitet til å holde på vannet og virker som en buffer mot flomtopper. Elvesletter er den våtmarkstypen som har størst effekt i reduksjon av flomtopper. De fleste studiene (23 av 28) hos Bullock & Acreman (2003) med eksempler fra hele verden viste at elvesletter reduserer eller forsinker flom. Derimot gav kildevåtmarker i flere tilfeller økt flomvolum. Denne funksjonen oppstår fordi kildemark har en tendens til å være vannmettet og overfører dermed nedbør raskt til elven (Bullock & Acreman 2003).

Økosystemene langs elvebredder og elvekanter er allment anerkjent som noen av de viktigste vernene mot flomødeleggelse og erosjon av elvebredder. Tapet av elvebreddbufferens funksjoner øker vannføring og eroderende krefter i nedstrøms områder. Viktige reguleringstjenester av elvesletter og andre elvebreddbufferer er presentert i **Boks 3**.

#### Boks 3. Reguleringstjenester fra elvesletter og andre elvebreddformasjoner

- **Redusert flompåvirkning** ved absorpsjon av høy vannføring, bremsing av hastigheten av flomvann og regulering av grunnstrømmer.
- **Bidrar til stabilisering av elvebredder**, redusert elvebredderosjon og nedstrøms transport av sedimenter erodert fra elvebredder.
- **Reduserer miljøgifter i vassdrag i perioder med høy vannføring** ved filtrering, sedimentering og omdanning av miljøgifter som allerede er til stede i vassdraget.
- **Reduksjon av miljøgifter i vassdrag** ved filtrering, sedimentering og omdanning av miljøgifter i avrenning **før de kommer inn i vassdragene**.

### 6.4.3 Kontroll av løsmasseskred, snøskred og jorderosjon

Sannsynligheten for at en hendelse skal inntreffe er ofte påvirket av en kombinasjon av ulike samvirkende årsaker. Løsmasseskred utløses ofte når en skråning er brattere enn 25–30 grader, og nesten alltid i perioder med ekstrem nedbør og/eller snøsmelting. Påvirkningen av menneskelig aktivitet som forekomst og bygging av veier, utgraving og hogst kan redusere stabiliteten til løsmassene, og derfor øke sjansen for løsmasseskred og snøskred (DSB 2010).

Blaschke et al. (2008) oppsummerer følgende avbøtende effekt skogdekket har på jorderosjon: i) trerøttens bindende effekt på jordsmonnet, ii) generelt lavere jordvanninnhold på grunn av trærnes opptak og fordamping av nedbør og iii) økt jordsmonnsdannelse under trekroner på grunn av oppsamling av organisk jordmateriale som stabiliserer jordaggregeringen.



## 6.5 Arealbruk og klimatilpasning

### 6.5.1 Flomkontroll og skogdekke

I Norge oppstår flom på grunn av snøsmelting, snøsmelting i kombinasjon med regn, lengre perioder med nedbør og intense regnskyll. Hovedårsakene varierer mellom perioder og regioner (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Potensialet landområdene har til å påvirke hydrologiske prosesser, har ført til økt oppmerksomhet på forskning i nedbørsfelter de siste 40 årene. Det har også vært tilfelle i Norge etter den historiske flommen i Østlandet i juni 1995, som førte til opprettelsen av forskningsprogrammet HYDRA. HYDRA-programmet hadde som arbeidshypotese at summen av arealbruksendring og andre fysiske inngrep hadde resultert i økt flomrisiko for vassdrag på Østlandet (Eikenæs et al. 2000).

Generelt fører fjerning (eller reduksjon) av skogens tresjikt til økt oppsamling av snø på bakken i perioder med stort snøfall, og øker overføringen av energi i smelteperioder (som et resultat av økt vind og/eller solenergi ved overflaten). En studie i Columbiaelvens nedbørsfelt viser viktigheten av skogens alder for regulering av hydrologiske prosesser (Matheussen et al. 2000). Til tross for at det totale skogdekket forble uendret, resulterte en nedgang i urskogareal på 21 % i betydelige endringer i bladarealindeksen (LAI, bladareal per kvadratmeter bakkeareal), den viktigste vegetasjonsegenskapen som påvirker hydrologiske responser som fordamping, snøoppsamling og avrenning (Rinde 1998, Matheussen et al. 2000).

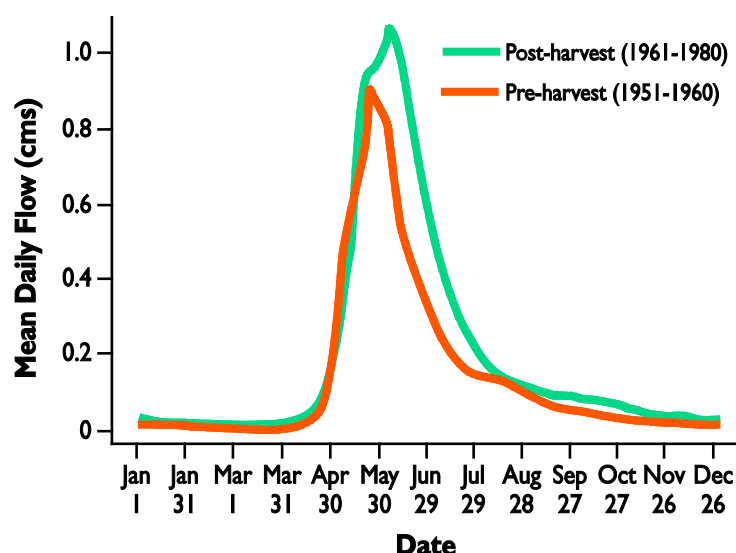
Vannbalansen i nedbørsfelter endres på to måter. For det første fører høy LAI om sommeren til høyere oppfangning og fordamping av regnvann. Dette reduserer mengden av vann som infiltrerer og akkumuleres i jordsmonnet. På Østlandet er det anslått at ca. 30 % av nedbøren blir fanget opp i trekronene i en tett granskog. Tørrere jord har evne til å ta opp mer regnvann, og kan derfor bufre avrenningstopper. For det andre påvirker LAI mengden snø som blir fanget opp av trekronen. En reduksjon i LAI bidrar til å øke opphopning av snø på skogbunnen. Snøen på bakken har en tendens til å vedvare lenger enn snø fanget i trekronene. I nedbørsfeltet til Columbia River (Matheussen et al. 2000), var det mer snø tilgjengelig for avrenning om våren ved lavere LAI, noe som forårsaket større vårfloam (**Figur 9**).

Skogdekket påvirker hydrologiske prosesser gjennom endringer i mengden av LAI og endringer i vegetasjonsdekket. Etter flatehogst er det generelt en økning i årlig avrenning (opp til 30 %) sammenlignet med områder der skogen opprettholdes (Eikenæs et al. 2000) (**Figur 11**). I tillegg reduserer skogen solinnstråling på bakken, noe som fører til forsinkelser i snøsmeltingen. På Østlandet har konsekvensene av skogbruk på avrenningsmønstre vært vanskelig å fastslå fordi innføringen av flatehogst har skjedd samtidig med endringer i skogkultur og ytre miljøpåvirkninger (økt CO<sub>2</sub> og nitrogennedfall) som har bidratt til økt i skogtilvekst og som kan ha motvirket effektene av hogst (Eikenæs et al. 2000). Men simuleringer av hydrologi av Osen-sjøens nedbørsfelt på Østlandet tyder på at den totale fordampningen var 14 % høyere for areal med plukkhogst (i 1920) sammenlignet med areal med flatehogst (i 1960 og 1990). Simulering av avskoging i små nedbørsfelt viste økt avrenning og høyere flomtopper fordi fordampningen ble redusert. Avskoging resulterte også i tidligere vårfloam siden snøsmelting var høyere i åpne områder sammenlignet med skogkledd områder (Rinde 1998).

Den internasjonale forskningslitteraturen støtter disse funnene. Syntesen Stednick (1996) gjennomførte i Rocky Mountains viste at en endring i hogstareal på 15 % resulterte i en målbar økning i vannføring. På den annen side legger Stednick (1996) vekt på viktigheten av å ta hensyn til andre hydrologiske egenskaper for å vurdere effekten av endring i arealdekke og skogforvaltning, for eksempel måten vannet beveger seg på i bakkeskråninger, hvordan bekkesystemene fungerer under og mellom regnværsperioder, dannelse av flomtopper med mer (**Figur 9**). Eksempelvis tyder en studie på kysten av Oregon på at avrenningsmønster fra elver ble endret av flatehogst, og viste at 28 år etter hogsten hadde disse ikke gått tilbake til opprinnelig nivå (Stednick 1996). Dessuten kan virkningen av skogsbilveier være betydelig. I nedbørsfeltet

i Oregon ble det observert en økning i maksimum avrenning på 50 % i en periode over 50 år. I tillegg til flatehogst ble effekten av skogsbilveier antatt å ha betydning for hastigheten av vannstrømmen (Eikenæs et al. 2000).

Omfanget av hogstområder sammenlignet med arealet av nedbørsfeltet er også en viktig faktor når en vurderer hydrologiske effekter av skogforvaltning. For eksempel viste det seg at både årlig vannføring og høyest målte vannføring økte med 36 % i et område i to subalpine skogers nedbørsfelt i Colorado, USA. Tømmerhogst resulterte derimot ikke i økt årlig vannføring i hovedelven når området utgjorde bare 10 % av det totale nedbørsfeltarealet (Troendle & King 1987).



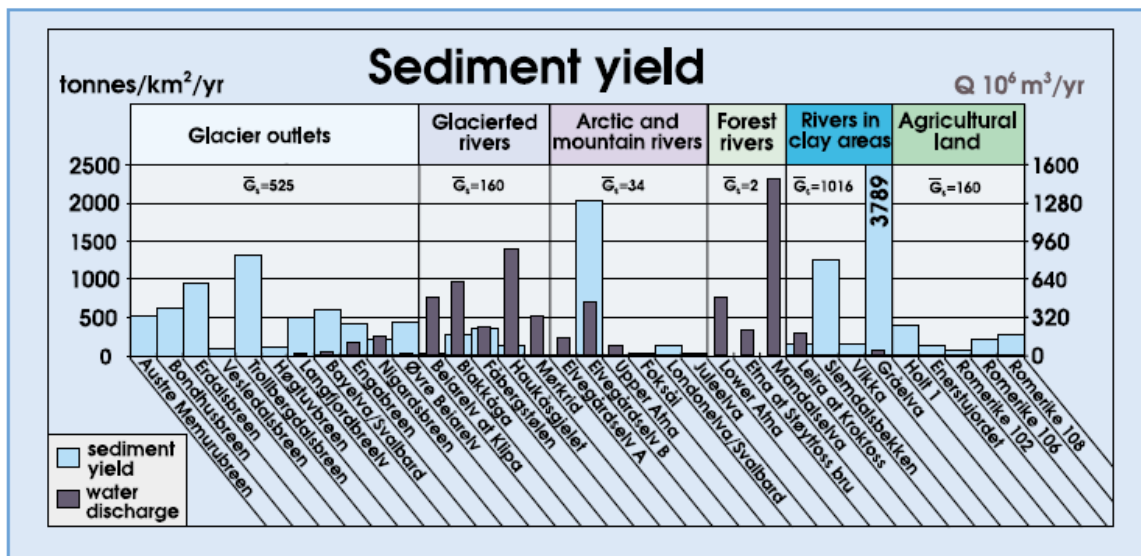
**Figur 9.** Gjennomsnittlig daglig vannføring ( $\text{cm}^2$ ) i elv i subalpin barskog i «North Fork of Dry Creek», Utah, USA før og etter tømmerhogst. Kurvene tyder på en høyere topp for maksimum vannføring og en lengre høy vannføringsperiode etter hogst sammenlignet med før hogst. Kilde: Bearbeidet etter Troendle & King (1997).

### 6.5.2 Erosjonskontroll og skogforvaltning

Mangel på vegetasjonsdekke med dype røtter er også en avgjørende faktor for løsmasseskred. I tillegg til jordfuktighet er reduksjon av dype røtter som forankrer jorden til grunnfjellet en viktig faktor som kan utløse bevegelse i en skråning. Risikoen for ødeleggelser på grunn av ras minsker med skogbestandens alder på grunn av økt biomasse og trekronedekke (Bloomberg et al. 2011).

Videre støtter mange studier verden rundt det faktum at skog beskytter jord, og reduserer erosjonshastigheten og sedimentasjon av løsmasser i elver (Blascke et al. 2008). Målinger av avrenning og sedimentasjon i norske vassdrag viser at elver i skog praktisk talt har ingen sedimentasjon sammenlignet med elver som drenerer nedslagsfelt som domineres av isbreer, alpine områder og jordbruksareal (**Figur 10**) (Eikenæs et al. 2000).

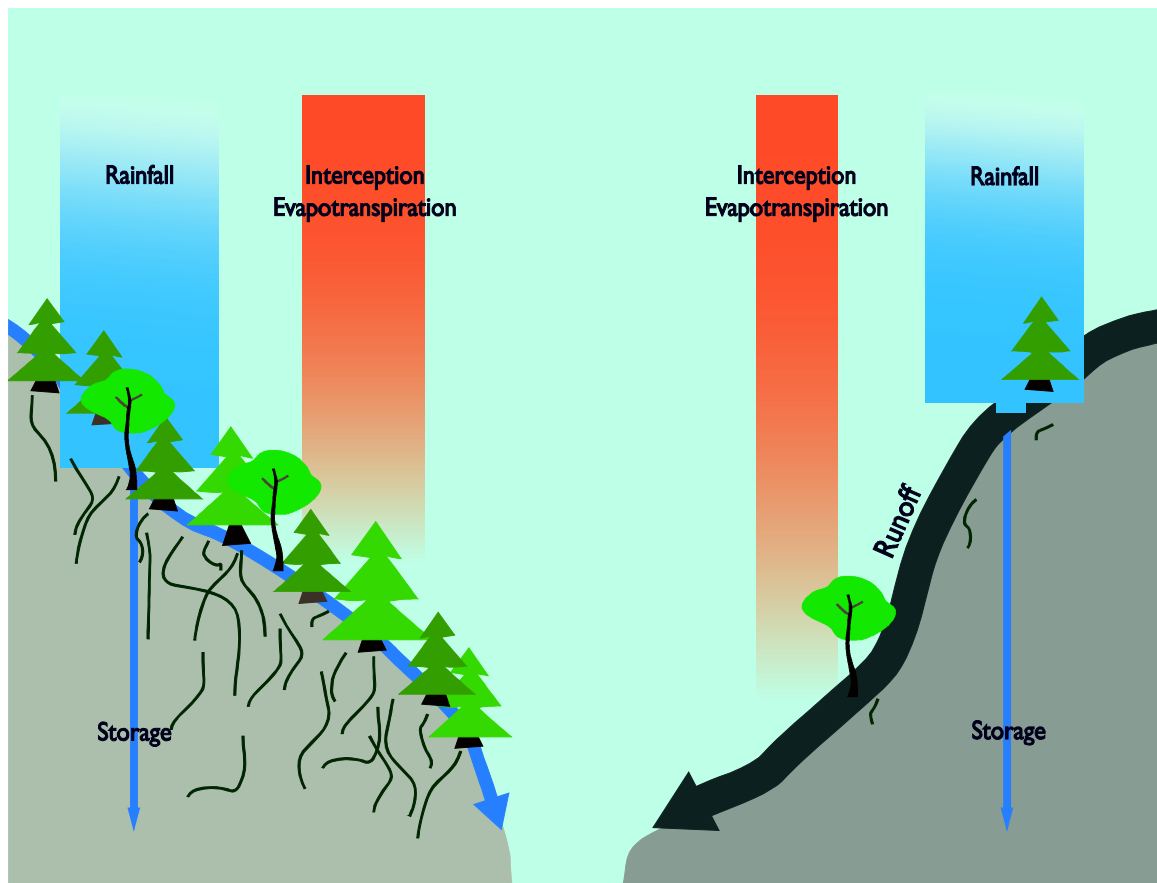
Skogdrift som kultivering, drenering, veibygging og tømmerhogst kan øke jordtap, men god forvaltningspraksis kan avbøte denne risikoen (Calder et al. 2007). Hogst påvirker avrenning i nedbørsfelt, men effekten av fjerning av skogdekke ser ut til å være tydeligst i små nedbørsfelt (Blaschke et al. 2008). Oppfangning av nedbør og fordampning er høyest og avrenning er lavest med høyt vegetasjonsdekke (høy bladarealindeks, LAI). Når skogen er fjernet, fører høyere avrenning til tap av jord og høy sedimenttransport (**Figur 11**). Den avbøtende effekten øker generelt med bestandens alder.



**Figur 10.** Norske vassdrag klassifisert i henhold til erosjonsintensitet (Bogen 1996). Kilde: Eikenæs et al. 2000.  $Q$  = Avrenning,  $G$  = Mengde suspendert materiale.

### 6.5.3 Flomkontroll og forvaltning av våtmarker

Flom kan oppstå hvor som helst i Norge, og forebyggende tiltak basert på konstruksjon av teknisk infrastruktur som diker og flomvegger er vanlig. Samtidig er elvenes kapasitet til å absorbere flomvann veldig påvirket av at elvesletter er skilt fra hovedelveløpene i store deler av den industrialiserte verden (Poff 2002), også i Norge. Paradoksalt nok kan tekniske flomdempingsstrukturer øke flomstørrelse og hyppighet ved å hindre lateral bevegelse av vann gjennom elvesletter og våtmark (Johnsen et al. 2011). Et eksempel på dette er Mississippielvens nedbørsfelt i USA (Poff 2002). I siste halvdel av det 20. århundre har oversvømmelser i nedbørsfeltet økt som et direkte resultat av at elveslettene er adskilt fra elven ved bruk av omfattende diker. Elvesystemer i nedbørsfeltet der elveslettene ikke i samme grad er fraskilt, har derimot ikke hatt like alvorlige flommer i denne perioden (Criss & Shock 2001).



**Figur 11.** Hydrologiske prosesser som påvirker vannets kretsløp i boreal skog i sommerhalvåret. Nedbørsopptak og fordampning er høyest og avrenning er lavest i områder med høyt vegetasjonsdekke (høy bladarealindeks, LAI). Når skogen er fjernet, fører høyere avrenning til jordtap og høy sedimenttransport. Størrelsen på pilene viser det relative omfanget. Rainfall: Nedbør; Interception: Oppfangning; Evapotranspiration: transpirasjon og fordampning; Runoff: avrenning og Storage: Lagring. Figuren er basert på data og modellering i Neff (1996) og Eikenæs et al. (2000).

## 7 Planlegging av økosystemtjenester for klimaendringstiltak og klimatilpasning

### 7.1 Utfordringer ved tilpasning til klimaendring

I tidligere deler av rapporten er det påpekt at klimaendringer foregår, og forventes å ha vidstrakte konsekvenser for menneskeskapte og naturlige system. Selv uten en økning i dagens GHG-utslippsnivå forventes temperaturen å øke dette århundret på grunn av tidligere utslipp. En gjennomsnittlig global temperaturøkning på 2 °C eller mer vil sannsynligvis ha alvorlige samfunnsmessige, økonomiske og miljømessige konsekvenser, noe som gjør det vanskelig for menneskeskapte og naturlige systemer å tilpasse seg, for en overkommelig pris. Videre kan klimaendringer forverre effekten av andre drivere for global miljøendring. For det boreale området er det forventet mindre nedbør i form av snø, og dermed større risiko for ødeleggelser på grunn av vinterstormer og økt vannmengde i elver. De viktigste effektene i fjellområder er større risiko for steinsprang og jorderosjon (**Figur 12**).

EU har utviklet et rammeverk for tilpasning til klimaendring. Dette har som mål å utvikle en omfattende strategi innen 2013 som skal støttes av en "sentral" for deling og vedlikehold av informasjon om klimaendringseffekter, sårbarhet og tilpasning. Flere tilpasningsmuligheter er identifisert, og inkluderer føre-var-prinsippet<sup>7</sup> i planlegging og ingen-anger-tiltak<sup>8</sup> som vil være relevante i de fleste framtidsscenarier.

Sammenlignet med andre land er Norge mindre utsatt og bedre utstyrt til å takle klimaendringer. Likevel er tilpasning til nokså uforutsette endringer i klimaet en betydelig utfordring for norske kommuner. Å forberede seg i forhold til dagens klima kan være en god start for tilpasning i framtida<sup>9</sup>.

Endringer i hydrologiske prosesser som et resultat av høyere forekomst av kraftig regnvær og stort snøfall kan forventes. Klimatilpasningsutvalget som Miljødepartementet oppnevnte for å utrede samfunnets sårbarhet og behov for tilpasning til konsekvensene av klimaendringene (Flæte et al. 2010) konkluderer med at endringer i klimaet i Norge er uunngåelige og at behovet for tilpasning til forventede endringer må være del av en plan med langsiktige mål. Utvalget mener at *"det er nødvendig å skape ei brei forståing for og semje i forvaltninga og dei politiske miljøa om å leggje inn eit langt tidsperspektiv i all planlegging når samfunnet skal gjerast robust mot klimaendringane"*.

### 7.2 Beredskap og tilpasning til klimaendringer

Som vist i de foregående avsnittene kan arealbruk og arealforvaltning avgjøre økosystemenes potensiale til å bidra til klimaendringstilpasning og beredskap. De illustrerer også muligheten for at økosystemtjenester kan forbedres ved klok og nøye planlegging.

Siden begrepet oppstod midt på 1990-tallet i USA har konseptet **"grønn infrastruktur"** lyktes med å sette politisk fokus på naturressursenes langvarige bærekraft. Konseptet legger vekt på

<sup>7</sup> 'Føre-var-prinsippet' er nyttig når en skal ta avgjørelser om en handling bør utføres eller ikke, når handlingen har usikre virkninger.

<sup>8</sup> 'Ingen-anger-tiltak' er tiltak som kan være en fordel uansett om eller hvordan de forventede klimaendringene tar form. Proaktive ingen-anger-strategier har som mål å maksimere de positive og redusere de negative resultatene for lokalsamfunn på klimafølsomme områder som landbruk, matsikkerhet, vannressurser og helse.

<sup>9</sup> Klimatilpassing i norske kommuner. <http://www.klimakommune.no/>

naturmiljø i arealbruksplanlegging, og ligger tett opp til konseptet om økosystemtjenester. Det blir lagt spesiell vekt på å opprettholde økosystemfunksjoner som er viktige for langsiktig bærekraft. Konseptet vinner stadig terreng som avbøtende tiltak ved ulike miljøtrusler, som f.eks. overløpskontroll og rensing av forurenset avrenning (US Environmental Protection Agency, EPA). I Europa omfatter grønn infrastruktur også planlegging og vedlikehold av spesielle områder som tar vare på økosystemverdier og -funksjoner, og som samfunnet nyter godt av (EEA 2011). Grønn infrastruktur omfatter vern og restaurering av økosystemer, der målet er å sikre langvarig tilgjengelighet av tjenestene. Det har blitt en hjørnestein i EUs biodiversitetsstrategi for 2020, og for utviklingen av en grønn og mer bærekraftig økonomi (EEA 2011). EUs biodiversitetsstrategi for 2020 anerkjenner økosystemtjenester som viktig i problematikken rundt tap av biologisk mangfold, og integrerer disse i nye ambisiøse mål om bærekraftig forvaltning og naturbruk.

Grønn infrastruktur inkorporerer økosystemtjenester i tekniske løsninger på problemer samfunnet står overfor (EGU 2012). I denne sammenhengen er grønn infrastruktur fremmet som et effektivt og nyttig tiltak når det gjelder forventet klimaendring, spesielt tiltak for klimatilpassing. Grønn infrastruktur kan også, om i mindre grad, være et redskap for reduksjon av klimaendringer (f.eks. karbonopptak og karbonlagring, lagring av flomvann og bedre overvannsavrenning for å redusere flomrisiko) (EEA 2011).

#### **Boks 4. Avbøtende tjenester fra elvesletter (Kilde: Poff 2002).**

*I Boston-området (USA) løper Charles-elva gjennom et landlig, men økende urbanisert nedbørsområde med stor flomrisiko. For mer enn to tiår siden iverksatte «US Army Corps of Engineers» ikke-strukturelle flomreguleringer ved kjøp av rettigheter til våtområder med elvesletter i øvre del av Charles-elvas nedbørsfelt. De ca. 3500 hektarene utgjorde lagringskapasitet for mer enn  $60 \times 10^6$  m<sup>3</sup> vann, til en kostnad som var mindre enn 10 % av den forventede kostnaden for det dam- og dikeprosjektet som i utgangspunktet var foreslått. Staten kompenserte lokalsamfunnene for tapte skatteinntekter på grunn av ekspropriert land, og mange av disse naturlige vannlagringsområdene er forvaltet med tanke på rekreasjon og dyreliv. Ed store flommer i 1979 og 1982, fungerte våtmarkene effektivt ved dels å absorbere flomvannet og dels å lede vannet videre nedstrøms (Faber 1996).*

Effektivitet må i denne sammenhengen ses som gevinsten ved avbøttings- og tilpasningstiltak opp i mot kostnadene ved implementering av disse (**Boks 4**). Å finne kunstige løsninger på naturfunksjoner, er ikke bare teknisk utfordrende men også kostbart (EU 2010). I noen tilfeller kan konvensjonelle tekniske tilnærminger også øke miljørisikoen og graden av ødeleggelser (Poff 2002). Flomkontrollinfrastruktur som beskytter elveslettene langs Glomma kan lokalt resultere i en økning av vannivået på inntil 0,5 m sammenlignet med områder uten slik infrastruktur (Eikenæs et al. 2000).

Flæte et al. (2010) anbefaler norske kommuner tiltak som bygger på at det er mindre kostbart å hindre at forutsette problemer oppstår, enn å prøve å redusere konsekvensene etter at de har oppstått. Derfor anbefales grundig planlegging. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) anbefaler videre at kommuner vurderer nøye kostnaden av konstruksjon og vedlikehold av teknisk infrastruktur. DSB advarer kommunene mot å pålegge seg beredskapsmessige oppgaver for å ivareta akseptabelt risikonivå dersom dette kan oppnås med forebyggende tiltak (DSB 2010). "Ved å velge en beredskapsstrategi kan kommunen bindes opp og påføres økonomiske utgifter over tid" (**Boks 6**). Teknisk infrastruktur har vært mye brukt som forebyggende tiltak i Norge, mens naturlige flombeskyttelsestiltak så langt har vært lite brukt (Østdahl & Taugbøl 1999, i Johnsen et al. 2011). Rauken & Kelman (2010) påpeker for eksempel at det økonomiske systemet i Norge gir kommunene få økonomiske insentiver til å unngå å bygge ut flomområder eller restaurere den naturlige dynamikken i flomområder, mens de kan få økonomisk støtte til bygging av teknisk infrastruktur. Flæte et al. (2010) anbefaler at hensynet til klimatilpasning blir innarbeidet gjennom en ny forskrift til plan- og bygningsloven (LOV-2008-06-27-71).

### 7.2.1 Forvaltning av økosystemtjenester for klimaavbøting – karbonlagring

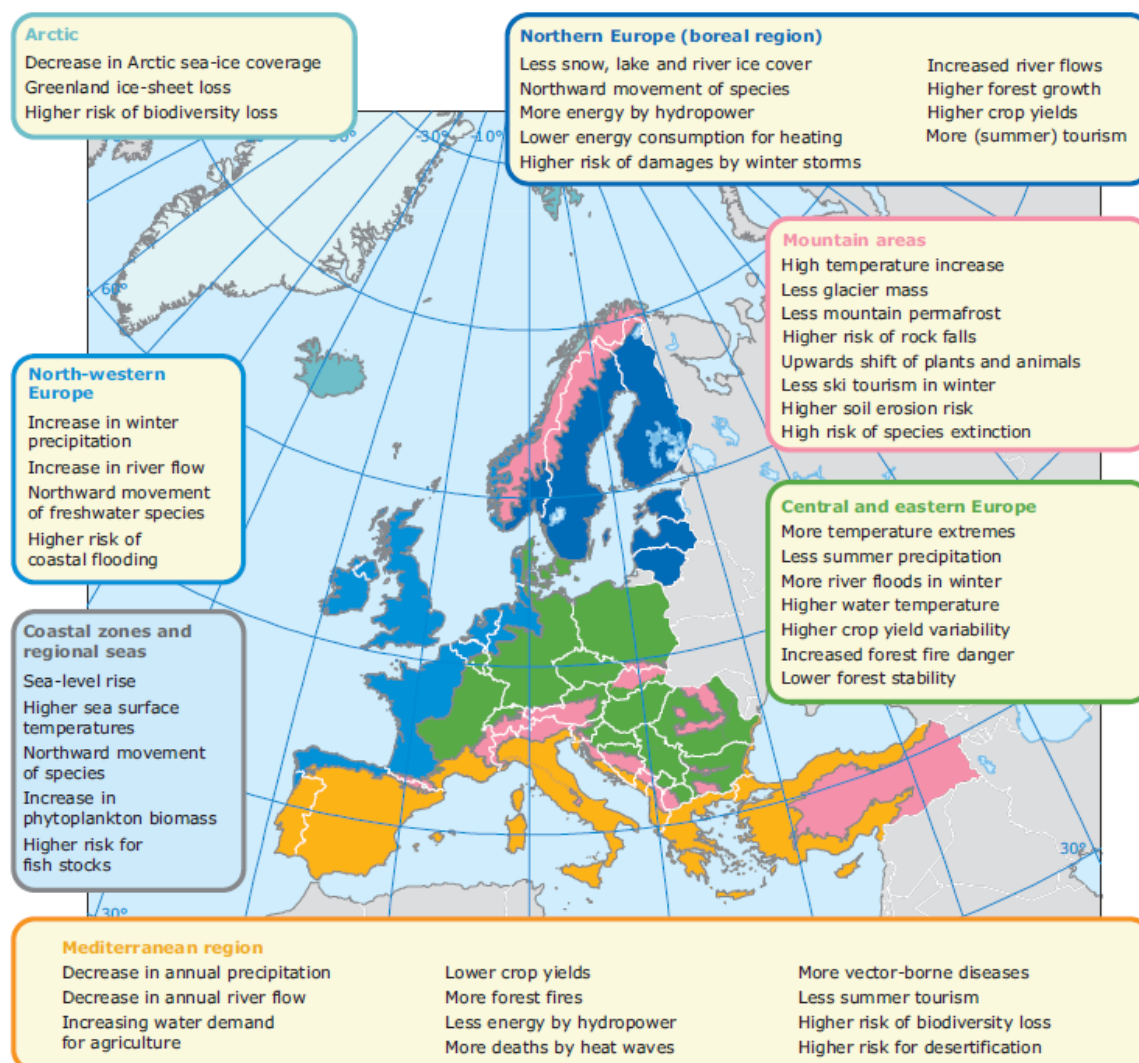
Norske skoger er intensivt utnyttet for tømmer og annet trevirke, og som beskrevet i kapittel 5, utgjør de også viktige karbonsluk. Tømmerhogsten har økt mindre enn karbonlagringen i europeiske skoger de siste 50 årene (Ciais et al. 2008). Som beskrevet i kapittel 5 vil derimot det å gå over til mer bruk av ved som biobrensel føre til kortere omløpstid i skogbruket, noe som vil eliminere fordelene ved karbonlagring i de kommende fem tiårene (Ciais et al. 2008, Holtmark 2011). Ettersom det er beregnet å ta flere hundre år å gjenopprette karbondjernet forårsaket av mer intens avvirkning av skogvirke, er det tvilsomt om skogen vil kunne ha noen avbøtende effekt i et slikt utnyttingsregime.

Skogforvaltningstiltak som øker karbonlagringen i jord er slikt som treplanting i skog, etablering av skog på dyrket land eller drenert mark samt økt omløpstid (de Wit & Kvindelsland 1999, Wardle et al. 2012) (**Boks 5**). Tiltak som kan påvirke jordkarbonlageret negativt er slikt som sterk mekanisk bearbeiding av jord, drenering og omdanning av torvmyr og skogområder til jordbruksland samt hogst og kortere omløpstid. I bratt terreng vil avvirkning av skog redusere karbonlagrene ekstra på grunn av tap av jordsmonn ved erosjon, noe som normalt oppstår når skogdekket fjernes (**Figur 11**). Ettersom skogsjord utgjør en stor andel av karbonlageret i Norge kan relativt små endringer i skogbruket ha viktige konsekvenser på nasjonalt CO<sub>2</sub>-budsjett.

#### Boks 5. Skogbruksmetoder som vil gi økt karbonlagring og/eller redusert karbonutslipp fra skog i Norge

- Implementere skogbruksforvaltning og hogstregimer som fremmer karbonlagring/reduserer karbonutslipp
- Forlenge skogens omløpstid
- Urban og tettstedsnær treplanting og skogbruk
- Reetablere og restaurere skogområder
- Opprettholde og/eller restaurere skogvegetasjon på elvebredder





**Note:** Please note that some of the original biogeographical regions of Europe have been regrouped as follows:  
Central and eastern Europe: Continental region minus north/west of Italy plus Pannonian region and Steppic region;  
Mountain areas: Alps plus Apennines plus Balkans-Rhodope Mountains plus Carpathian plus Fennoscandian plus Pyrenees plus Anatolian region plus Dinaric Alps;  
Mediterranean region: Mediterranean region plus Black Sea region and north/west of Italy;  
North-western Europe: Atlantic region;  
Greenland does not belong to a biogeographical region of Europe.

**Figur 12.** Tidligere og forventede virkninger av klimaendringer og deres påvirkning på viktige biogeografiske områder i Europa. Kilde: EEA – SOER 2010 – Tilpasning til klimaendring.

## 7.2.2 Forvaltning av økosystemtjenester for klimatilpasning – flomkontroll

En flomkontroll basert på grønn infrastruktur ("ikke-strukturell flomkontroll", Poff 2002) innebærer teknikker som bygger på "*lite eller ingen elve-/bekkeløpsmanipulasjon, mekanisk habitatendring eller tekniske konstruksjoner*". Dette har vært etterlyst for regulerte elver, for å kunne imøtekomme samfunnsmessige og økologiske mål (Galat et al. 1998, i Poff 2002). Her har restaurering av våtmark og elvesletter fått spesiell oppmerksomhet, som på grunn av sin naturlige absorberingsevne kan fungere som vern mot framtidig oversvømmelse. Framgangsmåten bygger på grunnleggende hydrologiske og økologiske prinsipper for å redusere avrenning og for å øke den naturlige vannlagringskapasiteten i elver for å minimere flomskader (Poff 2002). Et veldokumentert eksempel på dette er Charles-elven i Boston-området, USA (**Boks 4**).

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB 2010) og Flæte et al. (2010) sine anbefalinger til norske kommuner vedrørende planlegging og beredskap for klimaendringstilpasning har mange likhetstrekk med planprinsippet for grønn infrastruktur og rammeverket for økosystemtjenester. Klimatilpasningsutvalget legger vekt på en helhetlig tilnærming der de samla konsekvensene for utslipp av klimagasser, forurensing og naturmiljøet tas i betraktning ved planlegging av tilpasningstiltak. Dernepeker utvalget på at samfunnet må *"forvalte areal og naturressursar på ein slik måte at den totale belastninga på naturen og økosystema blir så lita som mogleg"*. Utvalget vurderer at et sterkere plansystem, som tar høyde for klimaendringer, vil være det viktigste grepet samfunnet kan ta for å tilpasse seg et endret klima.

Bruken av teknisk infrastruktur som tiltak for å forhindre flom er vanlig i Norge, men det synes å være en økende bevissthet omkring de positive virkningene vern av våtmark har på flomkontroll (Johnsen et al. 2011). I en spørreundersøkelse fra 2007 om lokal tilpassing til klimaendringer (Berglund & Nergaard 2008) oppga omtrent 50 % av de 190 spurte kommunene at de hadde etablert større eller mindre teknisk flomavbøttingsinfrastruktur (Johnsen et al. 2011). Samtidig hadde en tredjedel av kommunene vernet våtmark og myrområder i større eller mindre grad.

I tillegg til rollen elvesletter og andre elvebreddøkosystemer har for flomkontroll (se kapittel 6.4.2) kan bedre arealbruk føre til at avrenning som potensielt kan generere flom i små nedbørsfelt blir holdt tilbake. Som beskrevet tidligere, påvirker både mengde skogdekke og sammensetningen av skogen i et nedbørsfelt kapasiteten området har til fordamping, til å holde på nedbør og snø i skogens trekrone og til å dempe virkningen av regn-på-snø-hendelser. Gjennom disse prosessene påvirker vegetasjonen de hydrologiske egenskapene i nedbørsfeltet slik at det gir målbare effekter på mengde og varighet av høy vannføring. Reynard et al. (2001, i Poff 2002) konkluderte med at 50 % økning i skogdekke kunne motvirke effekten av økt flom i store britiske nedbørsfelt som følge av klimaendringer. Dype rotsystemer som når berggrunnen i grunn jord opprettholder jordas bindekraft og reduserer dermed faren for erosjon og løsmasseskred.

#### **Boks 6. En sommerflom i Gaula i august 2011 førte til alvorlige skader i tettstedet Ålen i Holtålen kommune, Sør-Trøndelag.**

Flommen ødela hovedveien, ei bru og offentlige og private bygninger i Ålen sentrum. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har vurdert deler av det ødelagte området som et flomutsatt område, '200-årsflomsone'. Dette gir bygningsrestriksjoner i området etter retningslinjene for arealbruk og sikring i flomutsatte områder (NVE) (<http://www.nve.no/no/Flom-og-skred/Farekartlegging/>). Teknisk infrastruktur til sikring av området mot faren for 'tusenårsflom' blir vurdert, men er kostbart og vil ta lang tid å bygge.



Ålen sentrum, september 2011.

Foto: G.M. Rusch

### 7.2.3 Forvaltning av sammensatte økosystemtjenester

Denne rapporten fokuserer hovedsakelig på to grupper av økosystemtjenester relatert til klima: reduksjon av GHG-utslipp (karbonfangst og -lagring) og samfunnets tilpasning til klimaendringer (kontroll av vannføring, flom og jorderosjon). Vi belyser også hvordan avgjørelser angående arealbruk og forvaltningen av disse systemene har potensiale til å forbedre eller redusere nivået av tjenestene. Det er derimot sannsynlig at alle økosystemtjenestene opplistet i **Tabell 1** (kapittel 1) påvirkes på en eller annen måte av endringer i miljøet som kan tilskrives global oppvarming. Det er forventet at klimaeffektene vil påvirke gjensidig de omfattende endringene i økosystemene forårsaket av menneskelig aktivitet (Vitousek et al. 1997, Rockström et al. 2009). For eksempel avhenger pollinerings-tjenester bl.a. av pollinatorenes følsomhet for temperatur og skydekke (begge forventet å endres i en del områder i Norge som følge av global oppvarming), tilgjengeligheten av pollenkilde og reirplass (i stor grad påvirket av arealbruk) og av kjemikaliebruken i landbruket. Også biologisk bekjemping av skadedyr avhenger av de finjusterte biofysiske kravene hos parasitter og vertsarter.

Rammeverket for økosystemtjenester er et verdifullt redskap for planlegging av samfunnets bruk og nytte av naturlige økosystemer. Det gir en begrepsmessig bakgrunn for å forstå verdier som er tatt for gitt, for å trekke fram hvordan menneskelige aktiviteter påvirker disse verdiene og det setter oss i stand til å gjøre samfunnsmessige valg angående natur og naturressurser. Analyse av naturens goder basert på rammeverket for økosystemtjenester, har bidratt til å forstå forhold som er svært relevante for beslutningstaking angående bruk og forvaltning av natur, som at det finnes avveininger og synergier mellom tjenester. Det har også stimulert utviklingen av metodiske rammeverk som kan brukes til å vurdere den relative viktigheten av ulike alternativer.

#### Avveininger

De fleste beslutninger rundt økosystemforvaltning involverer avveininger mellom goder. Selv om noen av disse avveiningene er relativt godt beskrevet, er det fortsatt mye som gjenstår når det gjelder sammensatte økosystemtjenester og goder som etterspørres (Mace et al. 2012). I mange tilfeller har valg og avveininger en romlig komponent og involverer flere verdier knyttet til et spesifikt landområde. Avveininger innebærer enten at ytelsen av en tjeneste vil ha negativ innflytelse på en annen tjeneste, eller at ulike tjenester er levert i ulike områder. Dette er avveininger samfunnet må vurdere. I eksemplene som er diskutert i denne rapporten synes det å være avveininger mellom karbonlagring og intensivering av skogavvirkning for biobrenselproduksjon (**Kapittel 5.3**). Et annet eksempel er utnyttelse av skogvirke på en side og tjenester skogen yter for jorderosjon- og snøskredkontroll i bratt terreng på den annen. Videre vil skogbruksmetoder som øker CO<sub>2</sub>-fangst, som tettere plantede skoger, introduksjon av arter med rask vekst og befruktning, kunne få negativ innvirkning på bakkenær vegetasjon, og trolig også på karbonlagring i jord og på næringssirkulasjon.

#### Synergier

På den annen side opptre i mange tilfeller flere tjenester samtidig og på samme areal, slik at innsatsen for å vedlikeholde en tjeneste vil føre til flere fordeler. Noen synergier dukker opp fra eksempler gitt i denne undersøkelsen:

1. Gammel skog er et karbonsluk, og vedlikeholder samtidig store karbonlager i vegetasjon og jord som det tar flere hundre år å gjenopprette om skogen høstes.
2. I tillegg har gammel skog en viktig funksjon i å regulere det biotiske miljøet. De gir habitat for organismer tilpasset forhold som bare finnes i en liten del av det boreale skog-økosystemet i Norge (Framstad et al. 2011), siden arealet av gammel skog er lite.
3. Dersom gammel skog finnes i områder med spesielle miljøforhold og/eller i områder som har blitt sterkt forandret gjennom arealbruk, vil de ha høy verdi for å ivareta spesielle deler av skogens biologiske mangfold (Framstad et al. 2011).

4. Gammel skog har også en høyere reguleringskapasitet for vannføring enn ung skog, både på grunn av strukturen over bakken og på grunn av innholdet av organisk materiale i jord.
5. Hvis plassert i bratt terreng vil Gammel skog i bratt terreng vil redusere faren for løsmasseskred og snøskred, og redusere tap av jordsmonn og jordkarbonlager ved å kontrollere jorderosjon.
6. I urbane eller periurbane (tettstedsnære) strøk kan gammel skog gi viktige kulturelle tjenester (rekreasjon og friluftsliv, åndelig opplevelse, kulturinspirasjon mm.), siden en stor del av befolkningen som har glede av disse tjenestene bor i nærområdet.
7. Moderne skogbruk bruker plantevarianter som er utviklet gjennom genetisk foredling for å maksimere produksjon, til skogplanting etter hogst. Gammel skog vil sannsynligvis ha større genetiske ressurser siden trær i dagens gammelskog har oppstått gjennom naturlig regenerering fra lokale frøkilder før planting og moderne skogskjøtsel ble introdusert i skogbruket (Storaunet og Gjerde 2010). I lys av den forventede økningen i antall tørkeepisoder, endringer i temperatur og mulige eksponeringer til sykdommer som en konsekvens av klimaendringer, er beskyttelse av den genetiske poolen hos arter med økonomisk verdi et tiltak for å øke motstands- og tilpasningskapasiteten i systemet.

#### **Vurdering av det relative bidraget av økosystemtjenester**

Det at det finnes avveininger mellom tjenester innen en beslutningsenhet (en gård, et skogområde, en kommune, en region eller på nasjonalt nivå) gjør at det er nødvendig å vurdere alle relevante tjenester innen et beslutningsrammeverk som muliggjør sammenligning av de ulike arealenes relative verdier når det gjelder tjenestetilbud. Økonomisk verdivurdering av tjenester har fordelen av å tilby en felles valuta for ulike tjenester. Det er mange konseptuelle og tekniske vanskeligheter med denne typen verdivurdering, men den relative verdien av flere tjenester på tvers av områder og arealbruk er nødvendig for å bedre politiske beslutninger. Det er denne tilnærmingen som har ført til viktige skritt framover de siste årene. Mange økosystemtjenester mangler verdisetting, og man mangler spesielt mål på hvordan verdien endres ettersom menneskelig påvirkning øker. Verktøy og konseptuelle rammeverk som muliggjør sammenligninger og vektlegging av tjenester av forskjellig natur og omfang gjennom tydelige og lett forståelige prosedyrer, har vært fokus for mye forskning.

Naturen forsyner oss med mange tjenester og goder, og denne ytelsen kan forbedres med god planlegging. Å bare ta hensyn til et snevert formål, for eksempel karbonbinding og -lagring, er ikke tilstrekkelig for å håndtere den naturlige kompleksiteten. Arealplanlegging av et flerfunksjonelt landskap er et viktig verktøy for at områder med ulike egenskaper og kvaliteter til sammen kan oppfylle ulike funksjoner og yte et mangfold av tjenester (Klein 2010). I slike tilfeller kan høyere samlet effektivitet og kostnadseffektivitet oppnås ved klok planlegging som tar hensyn til alle viktige mål (Klein 2010).

## 8 Ordliste

**CO<sub>2</sub>:** Karbondioksid

**DSB:** Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

**EEA:** European Environmental Agency

**EGU:** European Geosciences Union

**EU:** Den europeiske union

**GHG:** Greenhouse gases – klimagass

**Klif:** Klima- og forurensingsdirektoratet

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change – FNs klimapanel

**Kyotoprotokollen** er en protokoll til FNs klimakonvensjon (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC). Protokollen setter opp retningslinjer og prosedyrer som er nødvendige for å kunne oppnå konvensjonens viktigste målsetning: «[...] å stabilisere klimagasskonsentrasjonene i atmosfæren på et nivå som forhindrer skadelig menneskelig påvirkning på klimasystemet.»

**LAI:** Leaf area index – bladarealindeks, bladareal per kvadratmeter bakkeenheter

**LULUCF** Land use, Land-Use Change and Forestry (arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk)

**SOM:** Soil organic matter – organisk jordmateriale

**UNFCCC:** United Nations Framework Convention on Climate Change – FNs klimakonvensjon

## 9 Referanser

- Balmford A., Rodríguez A.S.L., Walpole M., ten Brink P., Kettunen M., Braat L. & de Groot R. 2008. Review on the economics of biodiversity loss: Scoping the science. ENV/070307/2007/486089/ETU/B2. Final Report. European Commission European Commission (contract: ENV/070307/2007/486089/ETU/B2), Cambridge, UK, 259 s.
- Beldring S., Engeland K., Roald L.A., Saelthun N.R. & Vokso A. 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrol. - Earth Systems Science* 7: 304-316.
- Bellassen V., Viovy N., Luyssaert S., Le Maire G., Schelhaas M.J. & Ciais P. 2011. Reconstruction and attribution of the carbon sink of European forests between 1950 and 2000. - *Global Change Biology* 17: 3274-3292.
- Berglund, F., Nergaard, E. 2008. Utslippsreduksjoner og tilpasninger - Klimatiltak i norske kommuner. Notat. Norsk institutt for by- og regionforskning (NIBR), Notat, Oslo. (sitert i Johnsen et al. 2011).
- Birkinshaw, S.J., Bathurst, J.C., Iroume, A., Palacios, H. 2011. The effect of forest cover on peak flow and sediment discharge-an integrated field and modelling study in central-southern Chile. - *Hydrological Processes* 25: 1284-1297.
- Blaschke P., Hicks D. & Meister A. 2008. Quantification of the flood and erosion reduction benefits, and costs, of climate change mitigation measures in New Zealand. Blaschke and Rutherford Environmental Consultants for MfE., Wellington, New Zealand, 76 s..
- Bloomberg, M., Davies, T., Visser, R., Morgenroth, J. 2011. Erosion susceptibility classification and analysis of erosion risks for plantation forestry. Ministry for the Environment University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Bogen, J. 1996. Erosion and sediment yield in Norwegian rivers. In: Walling, D.E., Webb, B.W. (Eds.) *Erosion and sediment yield: Global and regional perspectives*. IAHS. 73-84 s.
- Boyd, J. 2007. Nonmarket benefits of nature: What should be counted in green GDP? - *Ecological Economics* 61: 716-723.
- Bright, R.M., Strømman, A.H., Peters, G.P., 2011. Radiative forcing impacts of boreal forest biofuels: A scenario study for Norway in light of albedo. - *Environmental Science & Technology* 45: 7570-7580.
- Bruijnzeel, L.A., 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? . *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104, 185-228.
- Bullock, A., Acreman, M. 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle. - *Hydrology and Earth System Sciences* 7: 358-389.
- Burton T.A. 1997. Effects of basin-scale timber harvest on water yield and peak streamflow. - *Journal of the American Water Resources Association* 33: 1187-1196.
- Chan, K.M.A., Shaw, M.R., Cameron, D.R., Underwood, E.C., Daily, G.C. 2006. Conservation planning for ecosystem services. - *PLOS Biology* 4: 2138-2152.
- Ciais P., Borges A.V., Abril G., Meybeck M., Folberth G., Hauglustaine D. & Janssens I.A. 2008. The impact of lateral carbon fluxes on the European carbon balance. - *Biogeosciences* 5: 1259-1271.
- Ciais P., Schelhaas M.J., Zaehle S., Piao S.L., Cescatti A., Liski J., Luyssaert S., Le-Maire G., Schulze E.D., Bouriaud O., Freibauer A., Valentini R. & Nabuurs G.J. 2008. Carbon accumulation in European forests. - *Nature Geoscience* 1: 425-429.
- CPA 2011. Greenhouse Gas Emissions 1990-2009. National Inventory Report - Norway. Climate and Pollution Agency Oslo, 370 s..
- Cornelissen, J.H.C., Quested, H.M., Gwynn-Jones, D., Van Logtestijn, R.S.P., De Beus, M.A.H., Kondratyuk, A., Callaghan, T.V., Aerts, R. 2004. Leaf digestibility and litter decomposability are related in a wide range of subarctic plant species and types. - *Functional Ecology* 18: 779-786.
- Cornwell, W., K., Cornelissen, J.H.C., Amatangelo, K., Dorrepaal, E., Eviner, V.T., Godoy, O., Hobbie, S.E., Hoorens, B., Kurokawa, H., Pérez-Harguindeguy, N., Quested, H.M., Santiago, L.S., Wardle, D.A., Wright, I.J., Aerts, R., Allison, S.D., van Bodegom, P., Brovkin, V., Chatain, A., Callaghan, T.V., Díaz, S., Garnier, E., Gurvich, D.E., Kazakou, E., Klein, J.A.I., Read, J., Reich, P., Soudzilovskaia, N.A., Vaieretti, M.V., Westoby, M. 2008. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. - *Ecology Letters* 11: 1065-1071.
- Criss, R.E., Shock, E.L. 2001. Flood enhancement through flood control. - *Geology* 29: 875-878.

- Daily G.C. (ed.) 1997. *Nature's services: The social dependence of natural ecosystems*, Island Press.
- de Wit H.A. & Kvindesland S. 1999. Carbon stocks in Norwegian forest soils and effects of forest management on carbon storage. Rapport fra skogforskningen. Supplement. Skog og landskap, 14: 52 s.
- de Wit H.A., Palosuo T., Hysten G. & Liski J. 2006. A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. - *Forest Ecology and Management* 225: 15-26.
- DSB (2010). Samfunnssikkerhet i arealplanlegging. Kartlegging av risiko og sårbarhet. TEMA. Direktoratet for samfunnssikkerhet, Oslo, 10: 34 s.
- EEA 2008. Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. Introduction. EEA Report. EEA, Copenhagen, 36 s.
- EEA 2011. Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. EEA Technical report. European Environmental Agency.
- EEA 2011b. Opinion of the EEA Scientific Committee on greenhouse gas accounting in relation to bioenergy. European Environment Agency, 10 s.
- EEA-SOER 2010. The European environment - State and Outlook 2010. European Environmental Agency.
- Eikenæs, O., Njøs, A., Østdahl, T., Taugbøl, T (Eds). 2000. *Flommen kommer...Sluttrapport fra HYDRA – et forskningsprogram om flom. Norges vassdrag – og energi direktoratet*. 108 pp.
- EGU 2012. European Geosciences Union. Conference Session: Eco-engineering mitigations against natural hazards: Biological contribution to sustainable soil bioengineering in a changing world, Vienna, Austria, 2011.
- EU 2010. Grøn infrastruktur. European Commission 2 s..
- Faber S. 1996. *On borrowed land: public policies for floodplains*. Lincoln Institute of Land Policy., Cambridge, MA, USA.
- Flæte O., Bardalen A., Dalen L., Drange H., Gjærum I., Hanssen-Bauer I., Hisdal H., Kaare Hovelsrud G., Karlsen J., Larssen S.A., Nyeggen E., Ottesen P., Pedersen S., Petkovic G., Sundby S., Vennemo H. & Aanestad J. 2010. Adapting to a changing climate. Norway's vulnerability and the need to adapt to the impacts of climate change. NOU. Norwegian Ministry of the Environment, Oslo, 296 s.
- Framstad E., Stokland J. & Hysten G. 2011. Skogvern som klimatiltak. Verdifulle skogtyper for biologisk mangfold og karbonlagring. NINA Rapport. Norsk institutt for naturforskning, Oslo, 752, 38 s..
- Galat, D.L. (and 16 others). 1998. Flooding to restore connectivity of regulated, large-river wetlands. *Journal of Bioscience* 48: 721-733 (sitert i Poff 2002).
- Grønlund A., Bjørkelo K., Hysten G. & Tomter S.M. 2010. CO<sub>2</sub>-opptak i jord og vegetasjon i Norge. Lagring, opptak og utslipp av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser. Bioforsk Rapport. Bioforsk, 5, 38 s.
- Haines-Young R. & Potschin M. 2011. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): 2011 Update. European Environment Agency, 1-17 s.
- Hanssen-Bauer I., Drange H., Førland E.J., Roald L.A., Børsheim K.Y., Hisdal H., Lawrence D., Nesje A., Sandven S., Sorteberg A., Sundby S., Vasskog K. & Ådlandsvik B. 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatispassing. Norsk klimasenter, Oslo.
- Hegland S.J. & Boeke L. 2006. Relationships between the density and diversity of floral resources and flower visitor activity in a temperate grassland community. - *Ecological Entomology* 31: 532-538.
- Holtmark B. 2011. Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. Climatic Change doi: 10.1007/s10584-011-0222-6
- World Resource Institute. 2003. *Earth Trends: Country profiles*, Norway.
- Houghton, R.A., 2002. Global Annual Net Flux of Carbon to the Atmosphere from Land-Use Change: 1850-2000.
- IPCC .2007. Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. 73 s.
- IPCC. 2011. Summary for Policymakers. In: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Field, C. B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. and P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA. 23 s.
- Johnsen, S., I., Museth, J., Schartau, A.K., Barton, D.N., Fangel, K., Erikstad, L., Dervo, B.K. 2011. Local floodplain management in Norway under climate change: Flood risk reduction and biodi-

- versity conservation. . In: Kelman, I. (Ed.), Municipalities addressing climate change. Nova Science Publishers, Inc.
- Klein, C., 2010. Marine conservation planning for a complex world. - Decision Point October 2010, 5-6.
- Klif 2011. Skog som biomasseressurs. Klima- og forurensningsdirektoratet, Oslo, 100 s.
- Kranabetter J.M. 2009. Site carbon storage along productivity gradients of a late-seral southern boreal forest. - Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere 39: 1053-1060.
- Kremen C., Williams N.M., Aizen M.A., Gemmill-Herren B., LeBuhn G., Minckley R., Packer L., Potts S.G., Roulston T., Steffan-Dewenter I., Vazquez D.P., Winfree R., Adams L., Crone E.E., Greenleaf S.S., Keitt T.H., Klein A.M., Regetz J. & Ricketts T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. - Ecology Letters 10: 299-314.
- Kronholm K. & Stalsberg K. (2009). Klimaendringer gir endringer i skredhyppigheten. NORKLIMA. CICERO, Oslo, 3-09: 34-36.
- Lonsdorf, E., Kremen, C., Ricketts, T., Winfree, R., Williams, N., Greenleaf, S., 2009. Modelling pollination services across agricultural landscapes. - Annals of Botany 103: 1589-1600.
- Luyssaert S., Schulze E.D., Borner A., Knohl A., Hessenmoller D., Law B.E., Ciais P. & Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. - Nature 455: 213-215.
- Luyssaert S., Ciais P., Piao S.L., Schulze E.D., Jung M., Zaehle S., Schelhaas M.J., Reichstein M., Churkina G., Papale D., Abril G., Beer C., Grace J., Loustau D., Matteucci G., Magnani F., Nabuurs G.J., Verbeeck H., Sulkava M., van der Werf G.R., Janssens I.A. & Team C.-I.S. 2010. The European carbon balance. Part 3: forests. - Global Change Biology 16: 1429-1450.
- MA 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Press I. UN, Washington, DC. 86 s.
- Mace, G.M., Norris, K., Fitter, A.H. 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. - Trends in Ecology & Evolution 1445: 8.
- Matheussen, B., Kirschbaum, R.L., Goodman, I.A., O'Donnell, G.M., Lettenmaier, D.P. 2000. Effects of land cover change on streamflow in the interior Columbia River Basin (USA and Canada). - Hydrological Processes 14, 867-885.
- Neff, T.A.M., 1996. Mesoscale water balance of the boreal forest using operational evapotranspiration approaches in a distributed hydrologic model. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada. 206 s.
- Nelson E., Mendoza G., Regetz J., Polasky S., Tallis H., Cameron D.R., Chan K.M.A., Daily G.C., Goldstein J., Kareiva P.M., Lonsdorf E., Naidoo R., Ricketts T.H. & Shaw M.R. 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontier in Ecology & the Environment* 7: 4-11.
- Olsson M.T., Erlandsson M., Lundin L., Nilsson T., Nilsson A. & Stendahl J. 2009. Organic carbon stocks in Swedish podzol soils in relation to soil hydrology and other site characteristics. *Silva Fennica* 43: 209-222.
- Poff, N.L., 2002. Ecological response to and management of increased flooding caused by climate change. - Philosophical Transactions of the Royal Society A- Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1497-1510.
- Price K. 2011. Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review.- *Progress in Physical Geography* 35: 465-492.
- Randers J. 2011. Effekten på CO<sub>2</sub>-binding i skog av hogst versus å la skogen stå. Teknologirådets høring, Oslo.
- Rapalee G., Trumbore S.E., Davidson E.A., Harden J.W. & Veldhuis H. 1998. Soil carbon stocks and their rates of accumulation and loss in a boreal forest landscape. - *Global Biogeochemical Cycles* 12: 687-701.
- Reynard, N.S., Prudhomme, C., Crooks, S.M. 2001. The flood characteristics of large UK Rivers: potential effects of changing climate and land use. - *Climatic Change* 48, 343-359. (siteret i Poff 2002)
- Rinde, T. 1998. A flexible hydrological modelling system using an object-oriented methodology. Institutt for vassbygging. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim.
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F.S.I., Lambin E., Lenton T., Scheffer M., Folke C., Schellhuber H.J., Nykvist B., de Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P.K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P. & Foley J. 2009. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. - *Ecology and Society* 14: 32.



- Rothstein, D.E., Vitousek, P.M., Simmons, B.L. 2004. An exotic tree alters decomposition and nutrient cycling in a Hawaiian montane forest. - *Ecosystems* 7: 805-814.
- Schlesinger, W., 1991. *Biogeochemistry. An Analysis of Global Change.* . Academic Press, Inc., San Diego, CA, USA.
- Stavins R.N. & Richards K.R. (2005). *The cost of U.S. forest-based carbon sequestration*, Arlington, Virginia, US, 52 s..
- Stednick, J.D. 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. - *Journal of Hydrology* 176: 79-95.
- Storaunet, K.O. & Gjerde, I. 2010. Skog. Naturindeks for Norge 2010. Directorate for Nature Management, Trondheim, s. 79-93.
- Tallis H. & Polasky S. 2011. Assessing multiple ecosystem services: an integrated tool for the real world. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Kareiva P., Tallis H., Ricketts T.H., Daily G.C. & Polasky S., Oxford University Press, New York, 365 s..
- Troendle C.A. & King R.M. 1987. The effect of partial and clearcutting on streamflow at the Deadhorse Creek Colorado. - *Journal of Hydrology* 90: 145-157.
- Troendle C.A. & Stednick J.D. 1999. "Effects of basin scale timber harvest on water yield and peak streamflow," by Timothy A. Burton - Discussion. - *Journal of the American Water Resources Association* 35: 177-181.
- Troy A. & Wilson M.A. 2006. Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. - *Ecological Economics* 60: 435-449.
- UNFCCC, 1997. *Kyoto Protocol of the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations, Kyoto.
- Vanguelova E., Pitman R., Luiro J. & Helmisaari H.S. 2010. Long term effects of whole tree harvesting on soil carbon and nutrient sustainability in the UK. - *Biogeochemistry* 101: 43-59.
- Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J. & Melillo J.M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. - *Science* 277: 494-499.
- Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Setälä H., van der Putten W.H. & Wall D.H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. - *Science*: 1629-1633.
- Wardle D.A., Jonsson M., Bansal S., Bardgett R.D., Gundale M.J. & Metcalfe D.J. 2012. Linking vegetation change, carbon sequestration and biodiversity: insights from island ecosystems in a long-term natural experiment. - *Journal of Ecology* 100: 16-30.
- Wilson, D., Hisdal, H., Lawrence, D. 2010. Has streamflow changed in the Nordic countries? – Recent trends and comparisons to hydrological projections. - *Journal of Hydrology* 394: 334-346.
- Sitert i: Wong et al. 2011.
- Weedon, J.T., Cornwell, W.K., Cornelissen, J.H.C., Zanne, A.E., Wirth, C., Coomes, D.A. 2009. Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? - *Ecology Letters* 12: 45-56.
- Wong W.K., Beldring S., Engen-Skaugen T., Haddeland I. & Hisdal H. 2011. Climate change effects on spatiotemporal patterns of hydroclimatological summer droughts in Norway. - *Journal of Hydrometeorology* 12: 1205-1220.
- Østdahl, T., Taugbøl, T. 1999. *Miljøtilpasninger ved eksisterende og nye flomsikringstiltak - en litteraturstudie* Hydra-rapport, Oslo, 71 s.







*Norsk institutt for naturforskning (NINA) er et nasjonalt og internasjonalt kompetansesenter innen naturforskning. Vår kompetanse utøves gjennom forskning, utredningsarbeid, overvåking og konsekvensutredninger.*

*NINAs primære aktivitet er å drive anvendt forskning. Stikkord for forskningen er kvalitet og relevans, samarbeid med andre institusjoner, tverrfaglighet og økosystemtilnærming. Offentlig forvaltning, næringsliv og industri samt Norges forskningsråd og EU er blant NINAs oppdragsgivere og finansieringskilder.*

*Virksomheten er hovedsakelig rettet mot forskning på natur og samfunn, og NINA leverer et bredt spekter av tjenester gjennom forskningsprosjekter, miljøovervåking, utredninger og rådgiving.*

ISSN:1504-3312  
ISBN: 978-82-426-2387-4

## Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Sluppen, NO-7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, NO-7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: [firmapost@nina.no](mailto:firmapost@nina.no)

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>

Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger