

RAPPORT

NATURBASERTE LØSNINGER FOR KLIMATILPASNING



MENON-PUBLIKASJON NR. 61/2017

M-830 | 2017

Av Kristin Magnussen, Kristina Wifstad, Aase Rangnes Seeberg, Kristoffer Stålhammar, Svein Erik Bakken, Agata Banach, Dagmar Hagen, Graciela Rusch, Per Arild Aarrestad, Frode Løset og Kjetil Sandsbråten



Forord

Denne rapporten er skrevet på oppdrag for Miljødirektoratet og beskriver og vurderer naturbaserte løsninger for klimatilpasning.

Rapporten er utarbeidet av Menon Economics, i samarbeid med Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Sweco. Kristin Magnussen i Menon har vært prosjektleder. Rapporten er skrevet av Kristin Magnussen, Kristina Wifstad og Aase Rangnes Seeberg, alle fra Menon Economics. Per Arild Aarrestad, Dagmar Hagen og Graciela Rusch fra NINA og Frode Løset, Kjetil Sandsbråten, Svein Erik Bakken, Kristofer Stålhammar og Agata Banach fra Sweco har kommet med viktige bidrag i to workshoper og med materiale og innspill til arbeidet. Kvalitetssikrer er Ståle Navrud.

Vår kontaktperson i Miljødirektoratet, Linda Dalen, har bidratt med gode og konstruktive innspill i møter, workshoper og med nyttige kommentarer til en tidligere versjon av rapporten.

Vi takker vår oppdragsgiver for et interessant oppdrag og for et hyggelig og konstruktivt samarbeid! Vi takker også våre samarbeidspartnere i NINA og Sweco for godt samarbeid.

Rapporten er utarbeidet uten bindinger, og forfatterne er selv ansvarlige for eventuelle feil.

September 2017

Kristin Magnussen
Prosjektleder
Menon Economics

Innhold

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	3
1. INNLEDNING	7
1.1. Bakgrunn, formål og problemstillinger	7
1.2. Hva menes med naturbaserte løsninger	7
1.3. Rapportens oppbygging	9
2. FREMTIDENS KLIMAUTFORDRINGER	10
2.1. Klimautfordringer	10
2.2. Prioritering av hvilke klimautfordringer rapporten beskriver og vurderer naturbaserte løsninger for	13
3. BESKRIVELSE OG VURDERING AV NATURBASERTE LØSNINGER	16
3.1. Organisering av kapittelet	16
3.2. Flom	17
3.2.1. Beskrivelse av løsninger	17
3.2.2. Vurdering av løsninger	18
3.3. Overvann	22
3.3.1. Beskrivelse av løsninger	22
3.3.2. Vurdering av løsninger	23
3.4. Havnivåstigning og stormflo	29
3.4.1. Beskrivelse av løsninger	29
3.4.2. Vurdering av løsninger	30
3.5. Skred	31
3.5.1. Beskrivelse av løsninger	31
3.5.2. Vurdering av løsninger	32
3.6. Nedbør	34
3.7. Temperatur	35
3.8. Tørke	36
3.9. Vind	37
3.10. Havforsuring	37
4. EKSEMPLER OG ANALYSER AV NATURBASERTE LØSNINGER	39
4.1. Eksempler på bruk av naturbaserte løsninger	39
4.2. Analyser av naturbaserte løsninger	40
5. VURDERING AV NATURBASERTE LØSNINGER VERSUS ANDRE LØSNINGER	42
5.1. Kjennetegn ved naturbaserte løsninger	42
5.2. Hvordan kan man sammenligne naturbaserte og tekniske løsninger	43
5.3. Vi trenger både naturbaserte og tekniske løsninger for klimatilpasning	45
5.4. Oppsummering og konklusjoner: Vi trenger både naturbaserte og tekniske løsninger for klimatilpasning	49
6. REFERANSER	51
VEDLEGG 1: KOSTNADS- OG EFFEKTBeregninger for Overvannstiltak	54

Sammendrag og konklusjoner

Naturbaserte løsninger til klimatilpasning er en av flere måter å møte klimaendringene på

Fram mot år 2100 må vi regne med at det vil skje endringer i klimaet i Norge. Dette vil kunne medføre utfordringer knyttet til en rekke klimarelaterte parametere, som nedbør, overvann, flom, havnivåstigning, stormflo, temperatur, skred og tørke. Norge har et mål om at samfunnet skal forberedes på og tilpasses til klimaendringene. At samfunnet er klimatilpasset betyr at det er i stand til å begrense eller unngå flest mulig av de ulemper som følge av klimaendringen og utnytte nye muligheter. Naturbaserte løsninger til klimatilpasning er en av flere måter å møte klimaendringene på.

Formålet med denne rapporten er å sammenstille kunnskap om bruk av naturbaserte løsninger

Følgende problemstillinger belyses:

- i. Hva menes med naturbaserte løsninger?
- ii. Hvilke klimautfordringer kan naturbaserte løsninger være effektive i å løse, og hvilke tiltak kan brukes knyttet til disse ulike utfordringene?
- iii. Hvordan vurderes tiltakene med tanke på kunnskapsnivå, effektivitet, kostnader, begrensninger ved bruk osv.?
- iv. Hvordan vurderes naturbaserte løsninger sammenlignet med andre tekniske løsninger med hensyn til måloppnåelse knyttet til de ulike klimautfordringene, og hvilke positive og negative tilleggseffekter har disse ulike løsningene for samfunnet?
- v. Hvilke eksempler finnes på bruk av naturbaserte løsninger for klimatilpasninger i Norge knyttet til ulike klimautfordringer? (og oversiktsmessig; også internasjonalt)
- vi. Hvilke analyser, inkludert nytte-kostnadsanalyser, finnes som vurderer og beskriver planlagte eller gjennomførte tiltak med bruk av naturbaserte løsninger i Norge? (og eventuelt utenlandske analyser dersom det er få norske analyser)

Vi legger til grunn en bred definisjon av naturbaserte løsninger

I denne utredningen legger vi til grunn en bred definisjon av naturbaserte løsninger, som inkluderer:

- i. Løsninger som bruker eller restaurerer eksisterende naturtyper og økosystemer,
- ii. Løsninger som baserer seg på bruk av natur (semi-naturlige løsninger)
- iii. Løsninger som oftest kategoriseres under blågrønn infrastruktur, og som i større grad kan involvere «naturhermende» løsninger, for eksempel konstruksjon av overvannsdammer, grøfter, osv.

Rapporten beskriver mulige naturbaserte løsninger for følgende klimautfordringer

- Flom
- Overvann
- Havnivå og stormflo
- Skred (løsmasseskred, stensprang og snøskred)
- Nedbør
- Temperatur (som påvirker en rekke andre klimautfordringer, og omtales under disse. Her omtales hovedsakelig tiltak knyttet til mulige kjøleeffekter fra vegetasjon)
- Tørke
- Vind (hvor omtalen hovedsakelig knyttes til skjerming ved hjelp av vegetasjon)
- Havforsuring (hvor lite kunnskap om effektene begrenser omtalen)

Beskrivelse av naturbaserte løsninger for en rekke klimautfordringer

Rapporten gir en kortfattet beskrivelse av aktuelle tiltak for klimautfordringene listet i avsnittet over. Dette gis i form av en tabellarisk oversikt med en kort beskrivelse av hvert tiltak. I samråd med oppdragsgiver har vi valgt å inkludere en rekke klimautfordringer og tiltak for å få en oversikt. Dette gjøres fremfor å gå i dybden i detaljerte beskrivelser og vurderinger av enkelttiltak. Det finnes naturbaserte løsninger for alle klimautfordringene, men antall identifiserte løsninger varierer. Det samme gjør kunnskapsnivå, effektivitet og kostnadsnivå for de ulike løsningene.

Nærmere vurdering av naturbaserte løsninger for flom, overvann, havnivå og stormflo, samt skred

For flom, overvann, havnivå og stormflo, samt skred har vi også gitt en vurdering av tiltakene med hensyn til tiltakets effekt i form av reduserte skadevirkninger av den aktuelle klimautfordringen, tiltakskostnader, kunnskapsnivå, egnethet og begrensninger for å ta i bruk den aktuelle løsningen. I tillegg omtales andre positive og negative tilleggseffekter.

Vurderingene for hver klimautfordring og hver løsning er gjort med utgangspunkt i den litteraturen som er tilgjengelig for de enkelte utfordringer og løsninger. Fordi litteraturen som omhandler disse temaene er begrenset, er det i tillegg gjort egne ekspertvurderinger i workshops og etterfølgende kommentarer fra teamets deltagere som har ulik faglig bakgrunn. I noen tilfeller har vi ikke kunnet gjøre noen begrunnet vurdering, og der er det tilkjennegitt.

Naturbaserte løsninger gir ofte tilleggsnytte

Naturbaserte løsninger har ofte flere funksjoner i tillegg til å bidra til klimatilpasning for en spesifikk klimautfordring, mens tradisjonelle løsninger ofte har kun én funksjon. Naturbaserte løsninger gir det vi kaller tilleggsnytte eller positive tilleggseffekter (co-benefits). Tilleggseffektene kan være miljømessige (for eksempel bidra til rekreasjon eller bevaring av naturmangfold), sosiale (for eksempel i form av å gi grønne lunger i byområder) og/eller økonomiske (for eksempel ved at åpning av bekker og andre blågrønne løsninger kan påvirke eiendomsprisene i området).

Mange naturbaserte tiltak som bidrar til å løse én klimautfordring, bidrar samtidig til å løse andre klimautfordringer. For eksempel vil bevaring, re-etablering eller eventuelt planting av skog eller annen vegetasjon være viktig for vannhusholdningen, og dermed bidra til løsning både av flom- og tørkeproblematikk. De vil også bidra til vind- og skredskjerming, temperaturregulering osv.

Det kan imidlertid også være ulemper ved naturbaserte løsninger, for eksempel store krav til bruk av areal, usikkerhet om kostnader og den lange tiden som ofte trengs før de er fullt ut etablert og er effektive. De krever også ofte mer vedlikehold enn de mer tradisjonelle løsningene

Naturbaserte løsninger som innebærer etablering eller re-etablering av vegetasjon, eller på andre måter påvirker naturen, kan påvirke naturmangfold negativt dersom man ikke tar spesielle hensyn. De kan påvirke lokale, stedegne arter, truede arter (rødlistearter) og sjeldne naturtyper; eller innføre fremmede arter. For eksempel ble leplantinger tidligere ofte gjort med treslag som ikke hørte hjemme i området. Dersom man ønsker skog som tåler bedre vind ved å ha dypere røtter, arter som er mer tørkesterke, eller etablere sanddyner; som alle er eksempler på naturbaserte løsninger, må man også ta hensyn til slike forhold som har betydning for naturmangfoldet.

Naturbaserte løsninger kan ha lavere effektivitet for å løse én bestemt klimautfordring

Tekniske løsninger (også kalt tradisjonelle, grå, eller ingeniørløsninger) er ofte konstruert for å løse ett problem/ én klimautfordring, og vil ofte ikke ha så mange tilleggseffekter eller bidra til å løse flere andre klimautfordringer. Samtidig kan de være meget effektive for å redusere nettopp det problemet løsningen er designet for.

Det kan være en tendens til at naturbaserte løsninger har noe mindre effektivitet for å løse én bestemt klimautfordring, selv om vi ikke har gransket alle naturbaserte løsninger for å underbygge denne vurderingen.

Ikke alle naturbaserte løsninger er egnet alle steder i landet

Det er nødvendig å vurdere eventuelle begrensninger ved ulike naturbaserte løsninger. En del av disse begrensningene er beskrevet i litteraturen. En del tiltak er imidlertid lite utprøvd generelt, og særlig i Norge. For disse må det gjøres konkrete vurderinger. Det kan være løsninger som ikke er egnet alle steder i landet, for eksempel fordi det er for kaldt. Ulike løsninger kan virke bedre eller dårligere på sikt, nettopp som følge av klimaendringene.

Mindre kunnskap om naturbaserte løsninger – særlig om virkninger og kostnader på sikt

Det er ofte større usikkerhet både med hensyn til risiko og effektivitet av ulike naturbaserte løsninger fordi de er mindre utprøvd. Ofte vet man at et tiltak virker og hvilken retning det virker i, mens det kan være vanskeligere å fastslå hvor godt tiltaket virker. Eksempler på det siste er usikkerheten omkring hvor mye overvann som kan håndteres ved et grønt tak, eller hvor mye flommen dempes av at en våtmark restaureres. Det er også stor mangel på kostnadsberegninger for naturbaserte løsninger, mens man i større grad kjenner kostnadene ved å bygge og vedlikeholde tradisjonelle, tekniske løsninger. Mens tekniske løsninger ofte har høye investeringskostnader og relativt lave drifts- og vedlikeholdskostnader over tid, kan naturbaserte løsninger være billigere å etablere og mer kostnadskrevende å opprettholde effekten av på sikt.

Verken tekniske eller naturbaserte løsninger er alltid best eller billigst

Det er få norske analyser som sammenligner naturbaserte og tradisjonelle (tekniske) løsninger når det gjelder effekter og kostnader. I en tidligere sammenstilling for overvannstiltak i urbane områder var konklusjonen at det ikke er et entydig svar på hvilken type løsning som er best. Det kommer an på en rekke prosjekt- og stedsspesifikke forhold. For andre klimautfordringer og løsninger foreligger ikke lignende analyser for norske forhold, verken i form av kostnadseffektivitetsanalyser eller andre former for samfunnsøkonomiske analyser. Det som finnes er stort sett rapporter som vurderer virkninger (og i enkelte tilfeller også økonomiske forhold) for utvalgte løsninger, som i hovedsak er enkelte overvannstiltak som grønne tak og regnbed.

Konklusjon: Vi trenger både naturbaserte og tradisjonelle løsninger, og kombinasjoner av disse

- Klimautfordringene har mange kostnader, og tiltak mot klimautfordringene har mange kostnads- og nytteeffekter. Vi har bare sett på noen av disse i denne rapporten.
- Vurdering av tilgjengelig beregninger av samfunnsøkonomiske tiltakskostnader viser at valg mellom naturbaserte og tradisjonelle, tekniske tiltak må gjøres lokalt. Hva som er samfunnsøkonomisk mest lønnsomt avhenger av mange forhold, deriblant lokale forhold.
- Ofte vil det være nødvendig og ønskelig med en kombinasjon av tiltak.
- Naturbaserte løsninger kan gi tilleggseffekter i form av økosystemtjenester som gir bedre bomiljø, bedre rekreasjon, estetikk etc., i tillegg til å håndtere en spesifikk klimautfordring.
- Tradisjonelle tekniske løsninger er ofte mest effektive for å redusere virkningen av en bestemt klimautfordring. De er imidlertid generelt dyrere, særlig ved etablering, og har færre positive tilleggseffekter. Kunnskapsgrunnlaget for disse løsningene er godt.
- Naturbaserte løsninger er generelt billigere, særlig ved etablering, og har positive tilleggseffekter, men er ofte ikke så effektive som andre løsninger for å redusere virkningen av en spesifikk klimautfordring. Kunnskapsgrunnlaget for disse løsningene er generelt dårligere, og det er dermed større usikkerhet om deres effektivitet.
- Kombinasjonsløsninger (også kalt hybridløsninger) tenderer til å være i midten av tradisjonelle og naturbaserte løsninger når det gjelder kostnader og effektivitet, men har ofte positive tilleggseffekter. Kunnskapsgrunnlaget for disse løsningene varierer, men er generelt bedre enn for naturbaserte løsninger.

1. Innledning

1.1. Bakgrunn, formål og problemstillinger

Fram mot år 2100 må vi regne med at det vil skje endringer i klimaet i Norge. Dette vil kunne medføre utfordringer knyttet til en rekke klimarelaterte parametere, som temperatur, nedbør, flom, overvann, havnivåstigning, stormflo, skred og tørke. Norge har et mål om at samfunnet skal forberedes på og tilpasses til klimaendringene. At samfunnet er klimatilpasset betyr at det er i stand til å begrense eller unngå flest mulig ulemper som følge av klimaendringen og utnytte nye muligheter.

Formålet med denne rapporten er å sammenstille kunnskap om bruk av naturbaserte løsninger for klimatilpasning i Norge.

Rapporten beskriver og vurderer tiltak som bidrar til at samfunnet kan *tilpasse* seg klimaendringer. Tiltak som kan *redusere utslipp* av klimagasser og som dermed kan begrense klimaendringene er ikke en del av rapporten.

Følgende problemstillinger belyses:

- i) Hva menes med naturbaserte løsninger
- ii) Hvilke klimautfordringer kan naturbaserte løsninger være effektive i å løse, og hvilke tiltak kan brukes knyttet til disse utfordringene
- iii) Hvordan vurderes tiltakene med tanke på kunnskapsnivå, effektivitet, kostnader, begrensninger ved bruk osv.?
- iv) Hvordan vurderes naturbaserte løsninger sammenlignet med andre tekniske løsninger med hensyn til måloppnåelse knyttet til de ulike klimautfordringene, og hvilke positive og negative tilleggseffekter har disse ulike løsningene for samfunnet.
- v) Hvilke eksempler finnes på bruk av naturbaserte løsninger for klimatilpasninger i Norge knyttet til ulike klimautfordringer (og oversiktsmessig; også internasjonalt)
- vi) Hvilke analyser, inkludert nytte-kostnadsanalyser, finnes som vurderer og beskriver planlagte eller gjennomførte tiltak med bruk av naturbaserte løsninger i Norge?(og eventuelt utenlandske analyser dersom det er få norske analyser).

1.2. Hva menes med naturbaserte løsninger

Hva som menes med naturbaserte løsninger tolkes på litt ulike måter. Enkelte definisjoner innebærer at naturbaserte løsninger først og fremst er bevaring eller forvaltning av ulike naturtyper eller økosystemer. Dette gjelder for eksempel IUCN¹ som definerer naturbaserte løsninger som:

«Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits” (Cohen-Shacham et al. 2016).

Et beslektet begrep er «økosystembasert tilpasning» (Ecosystem-based Adaptation, EbA). IUCN definerer økosystembasert tilpasning som bevaring, bærekraftig forvaltning og restaurering av økosystemer for å hjelpe

¹ The International Union for Conservation of Nature

mennesker med å tilpasse seg påvirkningen av klimaforandringer². Økosystembasert tilpasning kan her ses som en form for naturbaserte løsninger.

I tillegg brukes ofte begrepet grønne eller blågrønne løsninger og infrastruktur i sammenheng med naturbaserte løsninger. Blågrønne løsninger, som i en del sammenhenger kalles «lokale løsninger» brukes ofte om tiltak som integrerer vannsystemer og lokale overvannstiltak i den overordnede grønnstrukturen, særlig i urbane områder. Dette er et bredere begrep enn kun å bevare og restaurere eksisterende naturtyper, som er beslektet med begrepet som «økologisk infrastruktur» (ecological engineering) og som innebærer utvikling av en løsning basert på naturlige elementer (Nesshöver et al. 2017).

I denne utredningen legger vi til grunn en bred definisjon av naturbaserte løsninger, som inkluderer:

- løsninger som bruker eller restaurerer eksisterende naturtyper og økosystemer,
- løsninger som baserer seg på bruk av natur (semi-naturlige løsninger)
- løsninger som oftest kategoriseres under blågrønn infrastruktur, og som i større grad kan involvere «naturhermende» løsninger, for eksempel konstruksjon av overvannsdammer, grøfter, osv.

En slik tilnærming til begrepet samsvarer blant annet med den som brukes i EUs forskningsprogram «Horizon 2020»: “Nature-based solutions aim to help societies address a variety of environmental, social and economic challenges in sustainable ways. They are actions which are inspired by, supported by or copied from nature. Some involve using and enhancing existing natural solutions to challenges, while others are exploring more novel solutions, for example mimicking how non-human organisms and communities cope with environmental extremes. Nature-based solutions use the features and complex system processes of nature, such as its ability to store carbon and regulate water flow in order to achieve desired outcomes, such as reduced disaster risk, improved human well-being and socially inclusive green growth. Maintaining and enhancing natural capital, therefore, is of crucial importance, as it forms the basis for implementing solutions. These nature-based solutions ideally are energy and resource-efficient, and resilient to change, but to be successful they must be adapted to local conditions» (Europakommisjonen 2015).

Det er særlig ulike naturtypers (og økosystemers) regulerende økosystemtjenester som bidrar til klimatilpasningen. Eksempler på slike regulerende tjenester kan være vannstrømsregulering, vannrensning, erosjon- og naturskadebeskyttelse. Ved å legge til grunn en bred tilnærming ser vi dermed på løsninger i tillegg til dem som omfatter bærekraftig bruk, restaurering og vern av ulike naturtyper alene. For eksempel vil såkalte blågrønne løsninger, som utnytter egenskaper fra flere naturtyper samlet, også vurderes som en naturbasert løsning.

I en del litteratur skilles det mellom klimatilpasning ved bruk av tekniske løsninger (også kalt tradisjonelle, grå eller ingeniørløsninger), naturbaserte løsninger (også kalt grønne eller blågrønne løsninger) og kombinasjonsløsninger (også kalt hybridløsninger), som inneholder elementer av både naturbasert og tekniske tiltak (se for eksempel The Royal Society 2014). Vi legger til grunn en bred definisjon også her og inkluderer løsninger som er i kategorien hybridløsninger i denne rapporten.

Samtidig bruker vi en økosystemtjenestetilnærming til å vurdere når økologiske funksjoner er naturbaserte løsninger, i den betydning at det må finnes en konkret samfunnsutfordring som må løses. Vi kan si at mer eller mindre all bevaring av for eksempel våtmarker og skog kan ha en betydning for fremtidens klimatilpasning, fordi både naturlige våtmarker og skog kan ha viktige funksjoner for å redusere erosjon og dempe skadelige flommer

² “the conservation, sustainable management, and restoration of ecosystems to help people adapt to the impacts of climate change.”

som følger av klimaendringer. Vi vil likevel ikke vurdere «bevaring av all skog» som et klimatilpasningstiltak, men vurdere for eksempel skogbevaring og -etablering i utsatte områder som klimatilpasningstiltak.

1.3. Rapportens oppbygging

I kapittel 2 beskriver vi viktige klimautfordringer for Norge og vurderer hvilke av disse det finnes aktuelle naturbaserte løsninger for. I kapittel 3 gir vi en oversikt over aktuelle tiltak for ulike klimautfordringer. Dernest vurderer vi for fire av de viktigste klimautfordringene de aktuelle tiltakene med hensyn til effektivitet, kostnader, kunnskapsnivå og positive og negative tilleggseffekter (3.2-3.5). For fem andre klimautfordringer gir vi korte beskrivelser av løsninger (3.6-3.10). I kapittel 4 gir vi først en liste over dokumenterte eksempler på naturbaserte løsninger i Norge, og deretter en oversikt over gjennomførte analyser av naturbaserte tiltak. Avslutningsvis, i kapittel 5, vurderer vi naturbaserte løsninger opp mot mer tradisjonelle, tekniske løsninger; og ser hva vi kan si med det kunnskapsgrunnlaget vi har i dag.

2. Fremtidens klimautfordringer

Vi starter i dette kapittelet med en kortfattet omtale av de mange klimaturfordringene Norge vil stå overfor i årene som kommer og virkningene av disse (delkapittel 2.1). Deretter gjør vi en viss sortering av utfordringer og virkninger, før vi lanserer mulige naturbaserte løsninger der det er aktuelt (delkapittel 2.2.).

2.1. Klimautfordringer

Hovedformålet med denne rapporten er å utrede mulige naturbaserte løsninger for klimatilpasninger i Norge. For å kunne vurdere hvilke naturbaserte løsninger som er aktuelle, starter vi med å se på hvilke klimautfordringer Norge står overfor. Nedenfor har vi gitt en kort beskrivelse av de 13 antatt viktigste klimautfordringene og virkningene av disse slik de er beskrevet på www.klimatilpasning.no³ og Aarrestad et al. (2015)⁴.

Klimafremskrivninger viser at vi fram mot år 2100 kan forvente en økning på ca. 18 prosent i årsnedbør, flere dager med kraftig nedbør og at nedbøren blir mer intens. Dette får konsekvenser for regnflom og overvannsproblematikk, men vil også gi mer oppfylling i kraftmagasinene som kan gi mer produsert energi. Nedbøren vil øke i alle årstider og i alle regioner. Vinternedbøren vil øke mest, med over 40 prosent i deler av Øst-, Sør- og Vestlandet mot slutten av århundret. På Sør- og Østlandet anslås det at *sommernedbøren* vil avta mot slutten av århundret.

Økte nedbørsmengder fører også til at jordsmonnet raskere blir mettet, slik at avrenning til vann og vassdrag øker (www.klimatilpasning.no).

Flom (økt risiko for skadeflom)

Når bekker, elver og innsjøer går over sine bredder, kaller vi det flom. Temperaturstigning og mer nedbør i form av regn vil i kombinasjon med flere kortvarige og intense, lokale regnskyll øke sannsynligheten for regnflommer i små elver. Samtidig forventes det at størrelsen på regnflommene øker, særlig gjelder dette på Vestlandet og i Nordland.

Høyere temperatur gjør at snøsmelteflommene vil komme tidligere på året og bli mindre mot slutten av århundret. Som følge av at mer av nedbøren kommer som regn, øker faren for flommer sent på høsten og om vinteren.

Overvann

Overvann er overflateavrenning som følge av nedbør og smeltevann. Hyppigere og kraftigere nedbør gir fare for overvann i store mengder. Dette kan skape oversvømmelser som kan gjøre store skader på miljø, bebyggelse og infrastruktur.

³ www.klimatilpasning.no er en nettside som skal bidra med kunnskapsheving, veiledning og erfaringsdeling om klimatilpasning for planleggere og beslutningstagere, særlig på lokalt og regionalt nivå. Nettstedet driftes av Miljødirektoratet.

⁴ Aarrestad et al. (2015) er en utredning om naturtyper i klimatilpasningsarbeidet, der det blant annet er gjort et utvalg av naturtyper som vesentlig kan bidra til å motvirke skade av klimaendringer.

Utfordringene med overvann er spesielt knyttet til byer og tettsteder. Dette skyldes at overvann som renner fra tette flater renner hurtigere og i større mengder enn overvann fra naturlig terreng. Fortetting i byer og tettsteder har ført til at naturlig terreng bygges ned og erstattes av tette flater. Historisk manglende hensyn i byplanlegging til naturlige dreneringslinjer gjør videre at mye infrastruktur og bygg er plassert i utsatte områder.

Lokale oversvømmelser som følge av overvann er allerede et problem flere steder i landet. Dette har sammenheng med fortettingen beskrevet over, kombinert med at avløpssystemene ikke er dimensjonert for økt regnvarighet og -intensitet. Skadekostnadene som følge av overvann er i dag, estimert til i størrelsesorden 1,6 – 3,6 milliarder årlig. Uten forebyggende tiltak forventes disse kostnadene å øke (www.klimatilpasning.no).

Havnivå

På grunn av temperaturøkning og smelting av is, vil havet utvide seg og stige. I Norge motvirkes havstigningen noe som følge av at landet fortsatt hever seg etter siste istid. Vannkanten stiger likevel raskere enn før også i Norge. De siste tiårene har denne akselerert og tatt igjen hevingen flere steder i landet. Ettersom landet hever seg ulikt i forskjellige kystregioner, vil også vannkanten stige ulikt. Rundt Oslofjorden og i Midt-Norge stiger vannkanten saktere fordi landet hever seg fortere. Det er forventet at havnivåstigningen blir størst for kystkommunene på Sørlandet, Vestlandet og Nord-Norge.

Stormflo

Stormflo oppstår når lavtrykk og vind presser store vannmasser inn mot land, samtidig som det er springflo. Når havnivået stiger, vil stormfloene bli høyere og komme oftere enn før, hvilket gjør at oversvømmelser langs kysten vil øke. Lavtliggende områder med stor befolkningstetthet er mest sårbare for stormflo. Når stormfloene blir høyere og mer frekvente, vil allerede utsatte områder oppleve at hyppigheten av oversvømmelser øker dramatisk, men det vil også føre til at flere områder vil bli utsatt. Samtidig kan endringer i vindforhold føre til økt bølgehøyde. Høyere bølger og økt stormflo påvirker erosjon og påleiring av sedimenter langs kysten, og kan dermed føre til at større deler av kystlinjen går tapt som følge av erosjon (Aarrestad et al. 2015).

Havforsuring

Havet tar opp menneskeskapt karbondioksid (CO₂) fra atmosfæren. På relativt kort tid har havet tatt opp en tredjedel av menneskeskapt CO₂. Dette endrer den kjemiske sammensetningen i havet og gjør at pH synker. Denne prosessen kalles havforsuring og påvirker havets økosystemer. Kaldt vann tar opp mer CO₂, mens ferskvann fra elver og issmelting svekker havets evne til å nøytralisere forsuringen. Dette gjør norske havområder spesielt utsatt (www.klimatilpasning.no).

Havforsuring påvirker blant annet metningsgraden av kalsiumkarbonat (kalk) i havet. Mindre kalk gjør at skalldyr må bruke mer energi på å danne skallene sine. Dette kan reduserer deres konkurranseevne i økosystemet og videre få konsekvenser for alle arter oppover i næringskjeden. Det er foreløpig begrenset kunnskap om hvor store konsekvensene av havforsuring er på sikt.

Temperatur

Den årlige gjennomsnittstemperaturen i Norge har økt markant de siste 40 årene. Temperaturøkningen har vært størst om våren og minst om vinteren. Temperaturøkningene fremover forventes å bli større om vinteren enn om sommeren. Nord-Norge, og særlig Finnmark er de områdene hvor temperaturøkningen forventes å bli størst, mens temperaturøkningen vil være minst på Vestlandet. Det ventes en større økning i innlandet enn langs kysten.

Økt temperatur gir store endringer i andre klimavariabler, som nedbør, havnivå, snødybde og tørke. Det vil også ha konsekvenser for blant annet avrenning og flom, hvor og når vi kan dyrke ulike vekster, for opprettholdelse av naturmangfold i landet og for helsen vår.

Med fortsatt høye utslipp vil antall varme døgn (dager med middeltemperatur over 20°C) øke markant. Særlig gjelder dette større områder i Øst- og Sør-Norge, samt en del fjord- og dalstrøk i Nord-Norge (www.klimatilpasning.no).

Tørke

Tørke er vedvarende underskudd på vann over et større område. Høyere temperaturer gir økt fordamping. Økt nedbør i seg selv vil ikke nødvendigvis bety at det blir mer fuktighet i bakken over tid, men henger også sammen med hyppighet og intensitet av nedbør. Mindre nedbør om sommeren vil øke sannsynligheten for hyppigere tørkeepisoder og lengre perioder med redusert vannføring i elver. Analyser viser at perioder med lav vannføring om sommeren har blitt lengre på Sørøstlandet. Videre viser analyser at tross økt sommernedbør, vil temperaturøkningen gi lengre hydrologiske tørkeperioder⁵ i store deler av landet (Wong et al. 2010, i Aarrestad et al. 2015).

Flere og lengre tørkeperioder vil ha negative konsekvenser for blant annet jord- og skogbruk, vannforsyning og vannkraftproduksjon. Faren for skogbrann vil også øke.

Fukt og råte

Høyere temperatur og økt nedbør øker risikoen for fukt- og råteskade i bygninger. Dette gjør bygg mer sårbare for feil i konstruksjonen og uheldige geografiske plasseringer, og gir høyere krav til klimaskallet (tak og fasader). Behovet for vedlikehold av bygninger vil øke. Et fuktigere og varmere klima gjør at flere bygninger vil ligge i et område klassifisert som «høy» risiko for råteskader. Omfanget av skadedyrangrep kan også bli større, det samme gjelder vekst av mose på tak og fasader som videre kan bidra til raskere nedbrytning. For bevaring av kulturminner vil dette gi et økt behov for jevnlig vedlikehold (www.klimatilpasning.no).

Snø

Høyere temperaturer vil føre til at snøen kommer senere og smelter tidligere, og det forventes at snøsesongen blir kortere i store deler av landet fremover. I Indre Finnmark og fjellområder forventes imidlertid mer nedbør som vil gi mer snø og dermed lengre snøsesong. I lavereliggende, kystnære områder vil snøfrie år bli vanlige. Vinternedbøren vil derimot øke og gi økt snøfall i de høyestliggende områdene. På sikt vil temperaturøkning gjøre at reduksjonen i snøleggingen vil kompensere for den økte nedbøren også her. Mot slutten av århundret vil reduksjonen i snømengde bli størst i høyereliggende strøk på Vestlandet og i Nordland, og ved kysten av Troms og Finnmark. En rekke arter er avhengig av et snødekke om vinteren for å overleve (www.klimatilpasning.no; Aarrestad et al. 2015).

Skred

Været er en av de viktigste utløsningsfaktorene for skred. For områder med skredutsatt terreng kan konsekvensene bli store. Skredene kan også komme i områder som ikke er regnet som skredutsatte i dag. Et varmere og våtere klima og større nedbørsmengder kan øke faren for løsmasseskred (kvikkleireskred, jordskred

⁵ Lav vannstand i reservoarer – tørke relatert til jordfuktighet.

og flomskred) i brattlendt terreng. Dette følger av at for store vannmengder reduserer jordens stabilitet og øker erosjonsprosessen.

Tilfeller av stensprang og stenscred kan også øke fordi disse ofte utløses i forbindelse med intens nedbør.

Når det gjelder snøskred, vil høyere temperaturer redusere faren for tørrskred, mens faren for våtsnøskred og sørpeskred øker.

Vind

Klimaforskere er usikre på hvordan vindforholdene vil endre seg i fremtiden, men selv små endringer kan få store konsekvenser. Modelleringer og observasjoner viser liten endring i vindforholdene. Det har vært en svak økning i hyppigheten av kraftig vind de siste 50 årene, men variasjonene fra år til år og innad i landet er store.

Vindforholdene i Norge påvirker alt fra nedbørforhold, ising på kraftkabler, fare for skred og vindkraftproduksjon. Endringer i vindmønsteret kan blant annet føre til betydelige endringer i hvor, hvor ofte og mengde nedbør.

Vekstsesong

Varmere klima gir lengre vekstsesong (antall dager med gjennomsnittstemperatur over 5 °C). Den største endringen i vekstsesong forventes langs kysten, og særlig for enkelte kyststrøk fra Nord-Vestlandet og nordover til Finnmark. Forlenget vekstsesong kan gi muligheter for å starte sesongen tidligere, høsting av flere avlinger i løpet av et år og dyrking av arter som trenger mer varme.

Faren for en plutselig frostperiode tidlig i sesongen kan derimot ødelegge avlingene som plantes for tidlig. Nord for polarsirkelen vil utnyttelsen av en lengre vekstsesong begrenses av behovet for sollys. Økt nedbør kan også begrense nytten av forlenget vekstsesong om høsten (www.klimatilpasning.no).

2.2. Prioritering av hvilke klimautfordringer rapporten beskriver og vurderer naturbaserte løsninger for

Klimautfordringene vil variere mellom områder i landet

Hva som er de viktigste klimautfordringene vil variere mellom områder i landet. Stormflo og havnivåstigning vil naturlig nok først og fremst være en utfordring i kystnære områder, mens utfordringer ved overvann hovedsakelig anses som et urbant problem.

Klimaservicesenteret⁶ lager fylkesvise klimaprofiler som viser sannsynligheten (i form av kategoriene: økt sannsynlighet - mulig økt sannsynlighet - uendret eller mindre sannsynlighet - usikkert) for ulike klimautfordringer. Sannsynligheten for de ulike klimautfordringene varierer i liten grad på tvers av fylkene selv om effektene av klimaendringene kan representere en større utfordring i enkelte fylker og/eller i enkelte områder innen hvert fylke. Gjennomgående gir kraftig nedbør, som resulterer i overvann, regnflom, jord- og flomskred, de viktigste utfordringene. De samme temaene fremkommer i stor grad i en nylig gjennomført spørreundersøkelse i elleve kommuner (Multiconsult 2017) om hvilke klimautfordringer kommunene anser som de viktigste fremover (og hvilke tilpasninger/tiltak de har satt i gang). Videre er kommuner i kystfylkene opptatt

⁶ Norsk Klimaservicesenter skal bidra med data og kunnskap om klimaendringer, og er et samarbeid mellom Meteorologisk institutt, NVE; Bjerknes senter for klimaforskning og UniResearch - www.klimaservicesenteret.no

av økt hyppighet av stormflo og delvis økt havnivå. Noen kommuner, men ikke så mange, er opptatt av økt vind; og noen av endrede snøforhold og snøskred.

Vurdering av klimautfordringer der naturbaserte løsninger er aktuelle

Naturbaserte løsninger vil ikke være like egnet for tilpasning til alle klimautfordringer. Samtidig vil flere av klimautfordringene og/eller skadevirkningene av klimautfordringene som er beskrevet i avsnitt 2.1, motvirkes av de samme naturbaserte løsninger. Bevaring og planting av trær og skog vil for eksempel være et klimatilpasningstiltak for flere av klimautfordringene ved at de gir erosjonsbeskyttelse, vannføringsregulering, kjølede effekt gjennom fordamping, vannrensning og vinddemping.

Under har vi listet opp ulike naturbaserte tiltak for klimatilpasning til de ulike klimautfordringene beskrevet over. Videre i rapporten vil vi omtale tiltak for klimautfordringene *havnivåstigning* og *stormflo* samlet, som følge av at både utfordringene og potensielle løsninger for tilpasning vil være relativt like. Vi vil ikke omtale egne tiltak for klimautfordringene *vekstsesong*, *fukt og råte* og *snø*. Eventuelle tiltak knyttet til disse vil dekkes opp under andre klimautfordringer. *Fukt og råte* er nært knyttet til skadeeffektene av større og hyppigere flommer, samt problemer tilknyttet overvann. Naturbaserte løsninger som dekker disse klimautfordringene vil dermed også kunne begrense fukt- og råteskader. Det samme vil gjelde for klimautfordringene knyttet til *snø*. Tidligere snøsmelting kan føre til flom og vil omtales der, mens tiltak som kan begrense hyppighet og skader fra snøskred vil omtales under *skred*. Endret *vekstsesong* er på den annen side positivt i den grad det gjør det mulig å høste flere avlinger i løpet av en sesong. Vi har i litteraturstudien ikke sett på eksempler på naturbaserte løsninger som tar for seg endringer i vekstsesongen spesielt, utover bruk av andre arter i landbruket. Vi har ikke sett på tilpasninger som omhandler å utnytte positive virkninger av klimaendringer. Generelt vil bevaring av genetisk diversitet av nyttevekster og deres beslektede ville arter være et tiltak som kan sikre tilpasningen av jord- og skogbruk til endrede klimaforhold. Økte nedbørsmengder og fare for tørke vil ha en påvirkning på vekstforholdene. Naturbaserte tiltak som bidrar til en bedre vannregulering (omtalt under flom, overvann og tørke) vil bidra positivt til vekstforholdene også.

En oversikt over klimautfordringene omtalt i kapittel 2.1, og hvordan de behandles videre, er vist i tabell 2.1.

Tabell 2.1. Oversikt over klimautfordringer, kommentarer til hvilke som vurderes nærmere for naturbaserte løsninger, samt hvor disse omtales videre i rapporten.

Klimautfordring	Kommentar	Naturbaserte løsninger
Flom	Viktig	Se avsnitt 3.2.
Overvann	Viktig	Se avsnitt 3.3.
Havnivåstigning	Kan være viktig langs kysten. Behandles sammen med stormflo.	Se avsnitt 3.4.
Stormflo	Kan være viktig langs kysten. Behandles sammen med havnivåstigning.	Se avsnitt 3.4.
Skred	Viktig. Blant annet økt nedbør kan øke faren for skred.	Se avsnitt 3.5.
Nedbør	Påvirker overvann, flom, fukt og råte, skred. Se tiltak i disse kategoriene. Økt erosjon og forurensning ved avrenning behandles under nedbør.	Se avsnitt 3.6.
Temperaturøkning	Viktig. Påvirker flere andre klimautfordringer, som nedbør, havnivå, snødybde og snødekke osv. Tar med tiltak som ikke behandles under de andre temaene.	Se avsnitt 3.7.
Tørke	Mange av tiltakene som reduserer flom og overvann motvirker også konsekvenser av tørke. Effekter for jord- og skogbruk kan bli betydelige, men det er lite fokus på dette.	Se avsnitt 3.8.
Vind	Begrenset mengde tiltak, men kan ha stor betydning lokalt.	Se avsnitt 3.9.
Havforsuring	Liten kunnskap, vurderer kun tiltak i NINA-rapporter	Se avsnitt 3.10.
Fukt og råte	De fleste naturbaserte løsninger er knyttet til andre klimautfordringer som kan påvirke fukt og råte, som overvann, flom og nedbør. Få naturbaserte tiltak utover de som beskrives under andre tema.	Omtales ikke videre. Aktuelle tiltak utover de som omtales under andre temaer: -drenering -bruk av naturlige materialer som har god fuktabsorberingsevne
Snø	Det meste faller inn under andre klimautfordringer, som endret nedbørsmønster, flommer, skred osv. Viktig å vurdere med tanke på begrensninger i hvor naturbaserte løsninger vil fungere i Norge	Omtales ikke videre (utover eventuelt som begrensning for virkning av enkelte tiltak).
Vekstsesong	Positivt med lengre vekstsesong der det kan høstes flere avlinger, men genetisk diversitet i avlinger og beslektede ville arter må vernes for å sikre avlinger, tilpasning til nye klimatiske forhold. Kraftig nedbør kan føre til utfordringer og redusert avling. Nedbør som gir økt flom etc. håndteres under nedbør og flom.	Omtales ikke videre. Aktuelle tiltak mot negative konsekvenser, utover dem som omtales under andre klimautfordringer: -Eventuelt beskyttelse av avling ved dekking av jord etc.

3. Beskrivelse og vurdering av naturbaserte løsninger

I dette kapittelet identifiserer vi hvilke løsninger som kan brukes for å redusere skadevirkninger av de ulike klimautfordringene, beskriver vi aktuelle løsninger for hver klimautfordring og gir en nærmere vurdering for noen av de viktigste klimautfordringene. I samråd med oppdragsgiver, har vi valgt å inkludere mange klimautfordringer og tiltak for å få en oversikt, fremfor å gå i dybden i detaljerte beskrivelser og vurderinger av enkelttiltak.

3.1. Organisering av kapittelet

De klimautfordringene vi beskriver mulige naturbaserte løsninger for

Basert på diskusjonen i kapittel 2, vil vi i dette kapittelet beskrive mulige naturbaserte løsninger for følgende utfordringer:

- Flom
- Overvann
- Havnivå og stormflo (vurderes samlet da utfordringene og løsningene henger tett sammen)
- Skred (løsmasseskred, stensprang og snøskred)
- Nedbør (hovedsakelig erosjon og forurensende avrenning ettersom utfordringene ellers dekkes av andre klimautfordringer som flom og overvann)
- Temperatur (påvirker en rekke andre klimautfordringer, som omtales under disse. Her omtales hovedsakelig tiltak knyttet til «varme øyer» (urban heat islands) og kjøleeffekter fra vegetasjon)
- Tørke
- Vind (omtalt hovedsakelig knyttet til skjerming ved hjelp av vegetasjon)
- Havforsuring (lite kunnskap om effektene begrenser omtale)

Nærmere vurdering av naturbaserte løsninger for flom, overvann, havnivå og stormflo, samt skred

For de antatt viktigste klimautfordringene og naturbaserte løsningene gir vi i delkapittel 3.2 – 3.5 en vurdering av naturbaserte løsninger med hensyn til deres effekt på å redusere skadevirkninger av den aktuelle klimautfordringen.

For hvert tiltak for hver av disse klimautfordringene vurderer vi henholdsvis:

- tiltakets effekt for å hindre de problemer klimautfordringen gir (lav, middels eller høy effekt)
- tiltakets kostnad (vurdert som lav, middels eller høy kostnad, forsøkt vurdert ut fra kostnad per enhet for å kunne vurdere både små og store tiltak på samme skala)
- kunnskapsnivå om tiltaket, spesielt om dets effekt og kostnader (kvalitativ, verbal vurdering)
- egnethet/begrensninger ved bruk i Norge, eventuelt ulike steder i Norge (kvalitativ, verbal vurdering)
- eventuelle positive og negative tilleggseffekter

Vurderingene for hver klimautfordring og hver løsning er gjort med utgangspunkt i den litteraturen som er tilgjengelig for de enkelte utfordringer og løsninger som er gjengitt i delkapittelet som omtaler klimautfordringen. Fordi litteraturen som omhandler disse temaene er begrenset, er det i tillegg gjort egne ekspertvurderinger i workshops og etterfølgende kommentarer fra teamets deltagere som har ulik faglig bakgrunn. I noen tilfeller har vi ikke kunnet gjøre noen begrunnet vurdering, og der er det tilkjennegitt.

Kortfattet beskrivelse av naturbaserte løsninger for resterende klimautfordringer

For de øvrige klimautfordringene på listen ovenfor, gir vi i delkapittel 3.6-3.10 en kortfattet beskrivelse av aktuelle naturbaserte løsninger for den respektive klimautfordring. Dette gis i form av en tabellarisk oversikt med en kort beskrivelse av hvert tiltak.

3.2. Flom

3.2.1. Beskrivelse av løsninger

Flom oppstår som følge av ekstrem avrenning fra nedbørfelter. Naturbaserte løsninger som skal bidra til klimatilpasning knyttet til flommer bør derfor ha egenskaper som regulerer vannføringen. I tillegg er skadeomfanget ved flom knyttet til massetransport i vannet. Naturbaserte løsninger som begrenser erosjon og transport av masse vil dermed også være aktuelle tiltak (se også delkapittel 3.6 om tiltak mot avrenning ved økt nedbør). I tabellen nedenfor har vi listet opp eksempler på naturbaserte løsninger som kan bidra til at samfunnet tilpasser seg stadig større og hyppigere flommer.

En utredning om ulike naturtypers betydning for klimatilpasning, gjennomført av NINA peker på at naturtyper som myr, åpen flomfastmark, flommarkskog, innsjøer, elver- og bekkeløp er særlig aktuelle da de bidrar vesentlig til regulering av vannstrømmer, erosjons- og naturskadebeskyttelse (Aarrestad et al. 2015).

I tabell 3.1. har vi listet opp aktuelle naturbaserte løsninger for å håndtere og hindre skadevirkninger av stadig større og hyppigere flommer.

Tabell 3.1: Naturbaserte løsninger for tilpasning til flom

Tiltaks- nr.	Tiltak	Kort beskrivelse
1.1	Bevare åpne vann og vassdrag	Naturlige fordrøyningsdammer
1.2	Restaurere innsjøer og vassdrag	Restaurere innsjøer som tidligere er drenert eller tettet som følge av manglende vedlikehold. Naturlige fordrøyningsdammer.
1.3	Gjenåpne lukkede bekker/elver	Bekker og elver er naturlige flomveier
1.4	Flytting og etablering av kunstige bekker	Skape nye flomveier som leder til åpne vann og vassdrag eller andre fordrøyningsdammer
1.5	Bevaring av skog	Skog reduserer vannmengde, avrenning og flomtopper. Skog reduserer også risikoen for erosjon og ras i forbindelse med kraftig regn/flom. Skogens alder og diversitet påvirker effekten. Strukturell kompleksitet ved at det er flere sjikt; trær, busker og feltsjiktvegetasjon gir best virkning.
1.6	Planting av skog	Skog reduserer vannmengde, avrenning og flomtopper. Skog reduserer også risikoen for erosjon og ras i forbindelse med kraftig regn/flom. Skogens alder og diversitet påvirker effekten. Strukturell kompleksitet ved at det er flere sjikt; trær, busker og bakkevegetasjon gir best virkning.
1.7	Bærekraftig forvaltning av skog	Redusere eller kontrollere mengden flatehogst for å unngå brudd i krondekket og åpne områder. Unngå trefelling i regntunge sesonger. Skjømte skogen med lavere tetthet, det øker dekingen av bakkevegetasjon (feltsjikt) og gir bedre markdekke. Skogen blir også mindre utsatt for vindfall. Skogsbilveier i bratt terreng øker risiko for ras og erosjon ved kraftig regnvær/flom og bør unngås.
1.8	Bevaring og bærekraftig forvaltning av naturlig våtmark (inkl. myr og flomfastmark)	Våtmarker er naturlige fordrøyningsområder. Ulike våtmarkstyper har ulik effekt på flom. Elvesletter og andre elvebreddeforformasjoner spesielt egnet for å redusere flompåvirkning, mens myr i mindre grad bufrer mot flom etter kraftig nedfôr fordi myrene allerede i større grad er vannmettet.
1.9	Restaurering av våtmark	Tette gamle grøfter og dreneringer (se over) slik at våtmarkene kan ta opp og lagre/fordrye flomvann.
1.10	Reetablere kantvegetasjon	Etablere ny vegetasjon ved utplanting eller naturlig foryngelse (Europakommisjonen, 2015) og Fylkesmannen i Vest-Agder.
1.11	Bevare kantvegetasjon	Unngå å fjerne eksisterende kantskog eller annen kantvegetasjon for å beholde stabiliserende effekt og bremsing av vann.
1.12	Øke den strukturelle diversitet oppstrøms	Opprettholde varierte økosystem med mangfold av plante- og dyrearter oppstrøms mulige flomområder. For eksempel re-introdusere bevere, beskytte lokal skog, unngå terrengplanering eller andre tekniske inngrep. (Europa kommisjonen, 2015)
1.13	Etablere permeable kvistdammer	Anlegges i små nedbørfelt for å dempe avrenning under flom, i tillegg til å samle jordpartikler, skogsavfall og lignende. Eksempler: Kvistdammer, stokkdammer, steinkiste-, stein- og gabionammer (Braskerud & Myrabø, 2013)
1.14	Redusere kanalisering ved å gjenopprette meandrering	Gjenopprette naturlig meandrering og variasjon i elveløp for å redusere vannføringshastigheten og øke vannkapasiteten i elver.

3.2.2. Vurdering av løsninger

I dette delkapittelet vurderer vi de naturbaserte løsningene som er listet opp i tabell 3.1. En samlet vurdering av alle tiltakene er vist i tabell 3.2.

Når man vurderer tiltak for å redusere flomproblemer, bør man vurdere hele nedbørfeltet (Hopland et al. 2016). Det er vanligvis mest kostnadseffektivt å gjøre tiltak der problemene starter, det vil si at tiltak lenger opp i nedbørfeltet ofte vil være mest kostnadseffektive. Det er stor forskjell på hva som kan gjøres hvor. I naturområder og høyereliggende områder er tiltaket først og fremst å beholde eksisterende terrengformer og naturtyper. Skog, elver og vegetasjon kan bidra til å redusere flom og potensielle flomskader fordi vann bremses, og de stabiliserer jorden. Lenger ned i dalene er flommarkene viktige for å redusere flommer og stabilisere underlaget.

Litteraturstudien viser at en hovedtilnærming til naturbaserte løsninger som tilpasning til større og hyppigere flommer bør være å ta vare på de økosystemene og de naturtypene man har, eller re-etablere disse der menneskelige inngrep har forstyrrt de naturlige prosessene. Menneskelige inngrep i naturen, som hogst, etablering av skogs- og traktorveier og nedbygging av våtmarker til andre formål, kan påvirke de naturlige dreneringsveiene og dermed naturens flomdempende evne i enkelte områder. Slike inngrep kan skape nye

flomveier og utsette nye områder for flom. Naturlige skogsområder og annen urørt natur får derimot sjelden skader under flom (Hopland, Traae, & Myrabø, 2016).

Skog og vegetasjon for å regulere avrenning og flom

Vegetasjon har en viktig funksjon i regulering av vannføring i nedbørfelter. Endringer i skogdekke kan ha store konsekvenser for evnen til å ta opp nedbør i jordsmonnet, og økosystemets evne til å regulere vannføring. Skog har evnen til å regulere avrenning fra nedbørfelter på flere måter: 1) den holder på vann i trekronene som senere fordampes tilbake til atmosfæren, 2) dype og lange røtter gir høyere jordporøsitet og øker nedbørsinfiltrasjonen, 3) høyere jordporøsitet gir økt kapasitet til å holde på vann i grunnen (Rusch, 2012). Større bladoverflate og rotsystemer gir høyere fordampningshastighet.

Struktur og sammensetning av skogdekket påvirker de hydrologiske prosessene (Aarrestad et al. 2015). Skogens alder har betydning for skogens effekt og evne til å regulere vannføring. Urskog eller gammelskog har høyere bladarealindeks som påvirker skogens evne til å fange opp vann og fordamping om sommeren, og hvor mye snø som blir fanget i trekronene om vinteren. Dette påvirker hvor mye nedbør som akkumuleres i jordsmonnet, og evnen til å ta av for avrenningstopper. På vinteren vil snøen legge seg på skogbunnen, vanligvis smelter snøen senere her, og gir økt avrenning om våren.

Inngrep i skogen kan påvirke dens evne til å regulere vannføring. Både norsk og utenlandsk forskning indikerer at tømmerhogst øker avrenningen (Rusch, 2012). Målinger av avrenning fra skogsområder og hogstområder har vist at avrenning fra flatehogstområder var omtrent dobbelt så stor som i bevarte skogsområder (NVE 2015). Redusert flatehogst fremstår derfor som et effektivt tiltak for flomdemping. Samtidig er riktig vegetasjonsskjøtsel generelt et tiltak for å redusere flomskader. Ved stell av vegetasjon langs bekke- og elvekanter kan man unngå at veltende trær sperrer naturlige vannveier og fører vannet til nye områder og gjør underlaget sårbart for erosjon. Tynning av vegetasjon for å slippe til sollys slik at undervegetasjonen styrkes gjør jordsmonnet mindre sårbart for erosjon. På den andre siden vil fjerning av for mye vegetasjon være en bidragsyter til ustabile løsmasser og erosjon. Både skjøtsel og reetablering av vegetasjon langs elvekanter bidrar til å stabilisere jorden, som også er et godt rensefilter for avrenning (Hopland, Traae, & Myrabø, 2016).

Bevaring og restaurering av våtmark som flomdempende tiltak

Våtmarker er naturlige fordrøyningsområder. Myr har evnen til å magasinere tilført regnvann og regulere avrenning. Våtmarkenes evne til å redusere avrenning og bremse vannet varierer med type våtmark og lokaliseringen av denne. Enkelte våtmarkstyper kan generere flom, mens andre virker som en buffer mot flom. Dette gjør det vanskelig å generalisere våtmarkenes effekt som flomdempende tiltak (Rusch 2012). Elvesletter er den typen som har størst effekt i reduksjon av flomtopper.

En litteraturgjennomgang av studier gjort på våtmarkers påvirkning på hydrologiske prosesser (Bullock og Acreman 2003) viste at elvesletter reduserer og forsinker flom. Åpen flomfastmark, som elvesletter og andre elvebreddformasjoner bidrar til å redusere flompåvirkninger ved absorpsjon av høy vannføring, bremsing av hastighet for flomvann og regulering av grunnstrømmer (Rusch, 2012). Økosystemene langs elvebredder og elvekanter er samtidig anerkjent som viktig vern mot flomødeleggelse og erosjon av elvebredder. Videre reduserer de miljøgifter i vassdrag gjennom filtrering, sedimentering og omdanning av miljøgifter i avrenningen før de kommer inn i vassdragene og i vassdragene (Rusch 2012; Aarrestad et al. 2015).

Kildevåtmark er ofte vannmettet og har mindre flomdempende effekt. Vannmettet mark har mindre kapasitet til å ta opp ytterligere mengder vann ved flom, og økt nedbør vil raskt overføres til elven (Rusch, 2012).

I likhet med bevaring, vil restaurering av våtmark være et tiltak for å hindre flomskader. I plan for restaurering av våtmark i Norge (2016-2020) vises det til begrenset kunnskap om effekten av myrrestaurering på avrenning og hydrologi under nordiske forhold (Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet, 2016). Myr som ligger i

nedbørfeltskillet og ikke har noe særlig tilsig, antas å ha liten effekt på flomdemping. I hvilken grad restaureringen vil fungere som et tiltak for flomdemping, er derfor lokalt betinget. Det legges likevel vekt på at i områder med kjent eller potensiell skaderisiko for flom, bør restaurering av myrarealer vurderes som et aktuelt tiltak.

Effekten av restaureringstiltak vil ifølge plan for restaurering av våtmark i Norge (2016-2020) kunne være større i sidevassdrag og bekker enn i større elver, ettersom man starter langt oppe i nedbørfeltet med å begrense vannstrømmen. Samtidig kan ulike flommarkstyper, som er viktige i en flomdempingssammenheng, være knyttet til elver og være potensielle områder å restaurere. Også eventuell re-meandering som restaureringstiltak kan være aktuelt for elverestaurering.

Permeable terskeldammer

Permeable terskeldammer, som kvistdammer og stokkdammer, etableres i små nedbørfelt for å dempe avrenning under flom. Disse vil også samle sedimenter og andre masser. Ifølge Hopland et al. (2016) er tiltaket særlig aktuelt oppstrøms stikkrenner, bekkelukkinger og små broer for å hindre tetting og overbelastning. De kan også etableres i flomveier.

Kostnaden for å etablere slike dammer varierer, men er relativt lav ettersom det brukes masser fra området der terskeldammen skal bygges. Kvist og – stokkdammer brukes der det er mye finstoff i grunnen, mens steinkiste-, stein- og gabiondammer blir brukt der det er grovere masser. Foreløpig er det lite erfaring med slike i Norge, særlig med hvordan kvistdammer opptrer ved konstant lav vannføring. Tiltaket er kun testet for små nedbørmengder (Hopland et al. 2016).

Vurdering av løsninger

I tabellen nedenfor har vi gitt en vurdering av aktuelle naturbaserte løsninger. Vurderingene er basert på rapportene som er referert over, samt ekspertvurderinger i workshop med alle teamets medlemmer.

Tabell 3.2: Vurdering av naturbaserte løsninger for tilpasning til flom. Tiltakene er beskrevet i tabell 3.1.

Tiltaksnr.	Tiltak	Effekt	Kostnad	Kunnskapsnivå	Egnethet/ begrensninger	Positive og negative tilleggseffekter
1.1	Bevare åpne vann og vassdrag	Høy	Lav – variabel (lav investeringskostnad med høy alternativkostnad)	Høy	God	+Biologisk mangfold, temperaturregulering, Rekreasjon
1.2	Restaurere innsjøer og vassdrag	Variabelt – tiltaket kan være mye forskjellig	Variabelt – kan være mye forskjellig	God	Effektivt for større nedbørfelt	+Biologisk mangfold, rekreasjon, estetikk, temperaturregulering
1.3	Gjenåpne lukkede bekker/elver	Høy Infiltrasjon, fordrøyning og flomvei	Vanskelig å skille den reelle kostnaden av tiltaket fra andre deler av prosjektet.	God Flere eksempler i Norge	Kun mulig der bekker/elver er lukket	+Biologisk mangfold (forutsatt at bekken ikke tørker ut), renseeffekt, estetikk, rekreasjon, kan gi bedre bomiljø (økte boligpriser)
1.4	Flytting og etablering av kunstige bekker	Høy – avhengig av hvordan disse etableres	Variabel	Høyt		+Biologisk mangfold Renseeffekt, estetikk, rekreasjon, kan gi bedre bomiljø (økte boligpriser)

Tiltaksnr.	Tiltak	Effekt	Kostnad	Kunnskapsnivå	Egnethet/ begrensninger	Positive og negative tilleggseffekter
1.5	Bevaring av skog	Høy	Kostnad for bevaring av skog er variabel	Bevaring er etablert som et tiltak for å redusere flom. To effekter av skog: både blader og røtter tar opp vann.	Effekten er skogslagavhengig	+Opptak av CO ₂ , temperaturregulering, biologisk mangfold, rekreasjon
1.6	Planting av skog	Høy, men mindre effektivt enn bevaring	Høy	To effekter av skog: både blader og røtter tar opp vann.	Effekten er skogtypeavhengig	+Opptak av CO ₂ , temperaturregulering, biologisk mangfold, rekreasjon -Planting og spredning av fremmede treslag kan skade stedegent biologisk mangfold
1.7	Bærekraftig forvaltning av skog	Høy	Middels Kostnad for skogbruk kan variere	Høy	God egnet	Samme som ved bevaring og planting av skog. Uttak av skog i bratt terreng øker erosjonsfare. Bygging av skogsbilveier øker også risiko for ras og erosjon
1.8	Bevaring og bærekraftig forvaltning av naturlig våtmark (inkl. myr og flom-fastmark)	Varierer med type og lokale klimaforhold	Lav – arealkostnad	Begrenset, men økende	God, kan skille mellom ulike typer våtmarker	+Lagrer CO ₂ , demper effekten av tørke ved at vannet holdes tilbake, biologisk mangfold, renser vann
1.9	Restaurering av våtmark	Middels	Varierende	Ikke begrenset når det gjelder demping av flom. God kunnskap	God	+Lagrer CO ₂ , demper effekten av tørke ved at vannet holdes tilbake, biologisk mangfold, renser vann. Tetting av grøfter kan også lokalt øke risiko for flom ettersom vannet blir værende i området og ikke ledet ut gjennom grøfter
1.10	Reetablere kantvegetasjon	Høy, men varierende		Høy	God skjøtsel av vegetasjonen er også viktig. Eksempler på skjøtsel er slått og beite, jordbearbeiding, hogst og steinsetting. Det er ulike behov for forvaltning og skjøtsel av kantsoner avhengig av beliggenhet, skogstype og tilleggsbruk	+Reduserer erosjon og sedimentføring, biologisk mangfold, luft- og vannrensende
1.11	Bevare kantvegetasjon				Se tiltaket over	+Reduserer erosjon og sedimentføring, biologisk mangfold, luft- og vannrensende
1.12	Øke den strukturelle diversitet oppstrøms	Høy	Variabel	Middels	God	+biologisk mangfold
1.13	Etablere permeable kvistdammer	Middels. Vil etter hvert fylles. Trenger vedlikehold	Lav	Høy God erfaring, men kort erfaringstid i Norge.	Egnet i små nedbørfelt, særlig aktuelt oppstrøms stikkrenner, bekkelukkinger og små bruer for å hindre tetting	+Samler sedimenter, reduserer erosjon og stabiliserer -Hindrer fiskevandring
1.14	Redusere kanalisering ved å gjenopprette meandering	Høy	Lav – variabel (varierer med arealets bruk)	Høy	God	+Biologisk mangfold, temperaturregulering, rekreasjon

3.3. Overvann

3.3.1. Beskrivelse av løsninger

Håndtering av overvann er et økende problem i byer og tettsteder, mye som følge av at avløpsnettet ikke er dimensjonert for de store og intense nedbørepisodene det blir flere og flere av. Overbelastningen av avløpsnettet har også en sammenheng med at byer og tettsteder har større andel areal med tette flater, og mindre areal som lar vann sive ned i underlaget; permeable (infiltrerbare) flater. Dette gjør at en større del av nedbørmengden flommer på overflaten direkte til avløpsnettet. Det må også nevnes at eksisterende løsninger kan settes ut av spill eller ikke få utnyttet full kapasitet for eksempel på grunn av tette sluk eller rister. Naturbaserte løsninger som bidrar til å redusere utfordringene med overvann går ut på å øke arealet av permeable flater og fordrøye (forsinke) vannet. Et annet viktig tiltak er å skille overvann fra avløpsvann, for å begrense belastningen på ledningsnett og renseanlegg.

Dagens utfordringer, sammen med forventningene om at nedbørmengden vil øke som følge av klimaendringene, har ført til stadig økende oppmerksomhet om tiltak som integrerer naturens økosystemtjenester med mer tradisjonelle tiltak. I tabellen under har vi kort beskrevet ulike naturbaserte løsninger som kan bidra til å redusere utfordringene som følger av store mengder overvann.

Norsk vann (2008) anbefaler å bruke «Treleddstrategien» som grunnleggende tankegang for overvannshåndtering. Strategien går ut på at overvannet i første ledd skal infiltreres eller tilbakeholdes der det er mulig. I andre ledd føres overskuddsvannet videre til anlegg som forsinker (fordrøyer) avrenningen. Som tredje ledd skal det sikres trygge flomveier for vannmengden som infiltrasjons- og fordrøyningsanleggene ikke klarer å håndtere alene.

Naturbaserte løsninger for overvannshåndtering er kanskje de løsningene som er mest brukt og beskrevet. I et oppdrag for «Overvannsutvalget» utredet Magnussen et al. (2015) både naturbaserte (blågrønne) og tradisjonelle tekniske løsninger for overvannshåndtering, og beskrev og vurderte aktuelle tiltak. Denne rapporten er lagt til grunn for beskrivelse og vurdering av tiltak i det følgende. Mer utfyllende beskrivelse av tiltakene finnes i Magnussen et al. (2015).

I tabell 3.3 har vi sortert tiltak i henhold til Treleddstrategien. Innenfor hvert av de tre leddene, har vi sortert tiltakene slik at de «mest naturlige» omtales først.

Tabell 3.3: Naturbaserte løsninger for tilpasning til overvann

Tiltaksnr.	Tiltak	Kort beskrivelse
1. Infiltrasjon av overvann		
2.1	Vegetasjonskledde elve- og bekkedrag	Vegetasjon tar opp vann og holder tilbake sediment og næringsstoff slik at det blir mindre avrenning. I tillegg bidrar planterøtter til å binde og stabilisere elvebredden slik at faren for erosjon og utrasing minker.
2.2	Regnvannsgrop	Lokalt tiltak med en gravd grop som samler opp regnvann hvor det infiltreres i grunnen. Som referanse er det som på engelsk kalles «soakways» ofte brukt internasjonalt.
2.3	Oppsamling av regnvann	Små anlegg som fanger opp regnvann. Først og fremst beregnet for småskala bruk. Begrenset effekt på fordrøyning avhengig av størrelse på anlegget, men kan kombineres med andre tiltak.
2.4	Frakobling av takrenner fra avløpssystemet	Ved å frakoble takrenner ledes takvannet fra hvert bygg ut på plen eller til en lokal overvannsløsning og ikke til ledningsnettet.
2.5	Grønne tak	Tak dekket med vegetasjon bestående av flerårige urter (som <i>Sedum</i> -arter og stauder), mose, busker eller trær. Demper og fordøyer avrenning fra tak etter nedbør.
2.6	Grønne vegger	Vegger dekket med vegetasjon bestående av flerårige urter (som <i>Sedum</i> -arter og stauder), mose e.l. Demper og fordøyer avrenning fra vegger etter nedbør.
2.7	Swales	Kunstig bygget infiltrasjonsløsning i områder med dårlige naturlige infiltrasjonsforhold (tette masser)
2.8	Regnbed	Vegetert/beplantet forsenkning i terrenget som holder vannet tilbake på overflaten og senere infiltrerer det ned gjennom et filtermedium
2.9	Infiltrasjonsbasseng	Åpent basseng som kombinerer magasinerings av overvann på overflaten og etterfølgende infiltrasjon i grunnen
2.10	Permeable dekker	Overflatedekket er permeabelt slik at overvann kan sige ned i grunnen (åpne fuger/grasdekke).
2.11	Skape eller beholde infiltrerbare flater	Erstatte tette overflatemasser med infiltrasjonsmaterial. Bevare naturlig vegetasjon og beskytte infiltrasjonsstedet.
2.12	Trær og annen vegetasjon/grønnstruktur	Grønne korridorer, parker og trær. Vegetasjon holder tilbake regnvann. Trær spesielt effektive, men all grønnstruktur bidrar positivt.
2. Fordrøyning		
2.13	Gjenåpning av/bevaring bekker, elver og vannspeil	Bekker og elver øker kapasiteten til vanntransport i naturlige vannveier, med lavere hastighet. Restaurering av flomsletter/flomløp bidrar til fordrøyning og infiltrasjon.
2.14	Overvannsdam	Basseng med permanent vannspeil og et volum til fordrøyning av avrenning.
2.15	Konstruerte våtmarker	Overvannsdam med tett vegetasjon i områder med liten vanndybde (0,2-0,5m). Dette tiltaket kan variere fra naturbasert til teknisk løsning. Dette tiltaket etableres der det ikke er våtmark tidligere, og må skilles fra restaurering av våtmark.
2.16	Filterbasseng	Et filterbasseng fungerer i prinsippet på samme måte som en infiltrasjonsgrøft eller et regnbed. Filterbassenget ivaretar fordrøyning og rensing og etableres vanligvis som sentrale anlegg.
2.17	Åpent tørt fordrøyningsbasseng	Bassenget reduserer risikoen for oversvømmelse og begrense flompåvirkningen i vassdrag ved å midlertidig tilbakeholde et vannvolum fra en nedbørepisode ved at bassenget har en redusert utløpskapasitet (strupet utløp).
3. Trygg avledning		
2.18	Tørr renne	Konstruert fast grøft med eller uten vegetasjon til fordrøyning og transport av overvann
4. Diverse		
2.19	Redusert bruk av kantstein	Ved å redusere bruken av kantstein føres vann fra tette flater direkte til permeable flater med vegetasjon e.l..

3.3.2. Vurdering av løsninger

I dette delkapittelet vurderer vi de naturbaserte tiltakene for overvannshåndtering. Hovedkilder for vurderingene er Hopland et al. (2016), Magnussen et al. (2015) og COWI (2013). I tillegg har vi gjort ekspertvurderinger i workshop de alle team-medlemmene deltok.

En del av tiltakene i tabell 3.3 er mindre tiltak, som redusere problemene knyttet til overvann kun i liten skala dersom de gjennomføres alene. Dette gjelder tiltak som regnvannsgroper (soakaways), oppsamling av regnvann (små anlegg), redusert bruk av kantstein og frakobling av takrenner. Både frakobling av takrenner og redusert

bruk av kantstein er tiltak som skal lede overvannet over til permeable, infiltrerbare soner, for eksempel vegetasjonsdekkede grøfter eller hager. Tiltakene er relativt billige, men effekten er også avhengig av tilgang til permeable flater i nærheten og i hvilken skala tiltakene gjennomføres. Oppsamling av regnvann og bruk av avfallsgrøper er også beregnet for å redusere overvann for et mindre tilførselsareal.

Grønne tak og vegger er tak eller fasader som er bekledd med vegetasjon. Grønne tak og vegger bidrar til å redusere problemene med store mengder overvann ved at vannet fanges opp i vekstmediet, forsinker avrenningen og reduserer avrenningshastigheten. Grønne tak deles gjerne inn i tre kategorier basert på vekstmedium og tykkelse; ekstensive, semi-ekstensive og intensive tak.

Takets effekt for å redusere avrenning avhenger av vekstmediet og oppbyggingen, samt andelen tak som er dekket. Effekten totalt sett vil naturlig nok også være avhengig av hvor stort areal det grønne taket utgjør. I Norge er kunnskapen størst knyttet til ekstensive tak, men det er også gjort beregninger for torvtak. Avrenningseffekten reduseres dersom vekstmediet er vått (mettet) og ved frost. Norske forsøk gjort på ekstensive tak (den letteste typen) viste at de grønne takene på årsbasis holdt tilbake ca. 25 prosent av nedbøren som faller på taket (Braskerud 2014). Samme studie viste at effekten var størst om sommeren, og større ved kortvarig, intens nedbør enn ved langvarig nedbør.

I likhet med avrenningseffekten vil også investeringskostnad og vedlikeholdsbehov være avhengig av valg av vegetasjon både som følge av direkte kostnader, og gjennom krav til byggets bæreevne. Levende vegetasjon trenger skjøtsel og vedlikehold hvert år. Lokale værforhold som sollys, vind og tørke påvirker vedlikeholdsbehovet. Vegetasjonen må tilpasses slike lokale forhold, samtidig bør man unngå bruk av svartelistede arter.

Grønne tak og vegger har andre gunstige egenskaper som estetikk, rensing av luft/bedre luftkvalitet, isolering og kjøling av tak og vegger kan redusere varmeøy-effekten, isolasjon av tak kan forlenge levetiden, støydemping, økt biologisk mangfold og økt friksjon på taket kan redusere tilfeller med snøras.

Dersom det brukes innførte plantearter til etablering av grønne tak og vegger, kan dette gi negative effekter for biologisk mangfold dersom artene spres til nærområdet. Det finnes for eksempel flere bergknapp-arter på Svartelisten (<https://www.artsdatabanken.no/fremmedarter>), men også trygge alternativer til bruk på norske tak.

Infiltrasjonsgrøfter er langstrakte kunstige grøfter hvor stedegne masser skiftes ut med filtermasser. Overflaten er nedsenket og dekket av et tett grasdekke. Overvannet magasineres på overflaten og siger ned i grunnen før det fanges opp av et underliggende drenssystem og ledes til overvannssystemet for området. Ved tregang går vannet i overløp og fyller opp jordmagasinet nedenfra. For en nedbørsfrekvens på 20 år er det beregnet et arealbehov til infiltrasjonsflaten på ca. 7-9 prosent av tilførselsarealet (Magnussen et al. 2015). Grøften kan også brukes som flomvei. Drift og vedlikehold inkluderer stell av gressdekket og å sørge for at overløpene holdes åpne.

Regnbed er en beplantet forsenkning i terrenget. Regnbedet er permeabelt slik at oppsamlet overvann infiltreres ned til grunnvannet eller til et underliggende drenssystem som leder vannet videre til overvannssystemet i området. Regnbedet tørklegges etter hvert regn og har en rensende effekt på overvannet ved at forurensning holdes tilbake i filtermassene. Krever samme arealbehov for infiltrasjonsflaten som infiltrasjonsgrøft, 7-9 prosent av tilførselsarealet (Magnussen et al. 2015). Regnbed krever ekstra skjøtsel etter etablering for å sørge for at vegetasjonsdekket blir godt. Etter dette er vedlikeholdsbehovet likt som ved andre parkområder; vanning ved tørke, ugressbekjempelse og gjødsling etter behov. Regnbedets infiltrasjonsevne, og dermed dets effekt på avrenning reduseres betydelig ved frost. Testforsøk foretatt på tre mindre regnbed i Oslo og Melhus viser at regnbed kan dempe flomvannføringen med over 70 prosent (Braskerud et al. 2012).

Infiltrasjonsbasseng kombinerer magasinering av overvann, infiltrasjon i grunnen og oppsamling av forurensende stoffer i jordsmonnet. Infiltrasjonsbasseng kombineres gjerne med et forsedimenteringsbasseng

for å rense vannet for grovt partikulært materiale. Forsedimenteringsbassenget må tømmes regelmessig, for øvrig er det ikke behov for vedlikehold eller tilsyn.

Overvannsdammer er basseng med vegetasjon langs kantene, permanent vannspeil og som i tillegg har volum til fordrøyning av avrenning. Grunne overvannsdammer med tett vegetasjon omtales ofte som en **konstruert våtmark**. Den fungerer på den måten at bassenget slipper ut rensede vannmengder tilsvarende volumet overvann som renner til. Bassengarealet tilpasses ønsket/behov for fordrøyningsvolum og maksimal vannstand i bassenget. Inn- og utløp til bassenget må kontrollere hvert år. Det er også nødvendig med slamfjerning i forsedimenteringsbasseng (hvert 2.-4. år) og i hovedbasseng (hvert 10.-20. år) noe avhengig av hvor overvannet kommer fra. Vannvegetasjonen vil også trenge skjøtsel.

Filterbasseng fungerer på samme måte som en infiltrasjonsgrøft eller regnbed, men er bygget opp ved at det tilføres filtermasser med underliggende drenering. Etablering av filtrebasseng er egnet i områder med tette løsmasser (i motsetning til regnbed og infiltrasjonsgrøfter). Ved regn dannes det et vannspeil på overflaten dersom tilrenningen er større enn infiltrasjonskapasiteten. Anlegget har vanligvis en gressbevokst overflate og egner seg til flerbruk. Kan kombineres med en separat forsedimenteringsenhet for å redusere tilslamming av overflaten. Har tilsvarende vedlikeholdsbehov som et plenareal. Ved for-sedimentering må dette tømmes for slam regelmessig for å forhindre fortetting. Filterbasseng er mye brukt langs høytrafikkerte veier for å redusere avrenning.

Åpent tørt fordrøyningsbasseng reduserer avrenning fra overflatevann ved at et gitt vannvolum fra en nedbørsepisode tilbakeholdes midlertidig i bassenget. Dette følger av at bassenget har en redusert utløpskapasitet. Etter en viss tid, tømmes bassenget for vann og kan da benyttes til andre formål. Denne løsningen har mindre renseseffekt enn tiltakene beskrevet ovenfor. Arealbehovet er avhengig av ønsket fordrøyningsvolum og grense for maksimal vannstand. Inn- og utløp til bassenget trenger jevnlig tilsyn for å unngå tetting.

Permeable flater er overflater som gjør det mulig for overvann å sige ned i grunnen. Eksempler på dette er grus, gress eller åpne fuger. Ettersom disse flatene vil å ha mindre effekt ved tetting, egner tiltaket seg best i områder med lite forurensning og hvor bruk av grove strømidler er mulig. Permeabilitet til overflaten vil reduseres over tid, men kan forlenges med godt renhold av overflaten. Reduksjon av avrenningsmengden er avhengig av valgt overflate.

Bevare, re-etablere og etablere vegetasjon. Utover tiltakene nevnt over finnes det også mer generelle tiltak hvor hovedhensikten er å utnytte naturens evne til flomdemping, fordrøyning og reduksjon av overvann. Disse går ut på å reetablere eller bevare vegetasjon og vassdrag. Vegetasjonskledte elve- og bekkedrag bidrar til å stabilisere jordsmonnet, i tillegg kan vegetasjonen redusere og rense overvannet ved store nedbørsmengder. Gjenåpning av bekker gjenoppretter de naturlige vannføringsveiene, reetablerer vassdragenes selvrensende effekt og er naturlige leveområder for planter og dyr. Åpne bekker har også en estetisk verdi. Trær, grønnsstruktur og parker er viktige for håndtering av overvann da de representerer arealer med infiltrerbare flater. Samtidig tilfører de en estetisk verdi, bidrar til økt biologisk mangfold, rekreasjon, temperaturregulering, vindskjerming og etterfyller grunnvannet. For alle tiltak som innebærer tilplanting og etablering av ny vegetasjon, vil valg av arter være av betydning for biologisk mangfold. Eventuell bruk av fremmede arter som kan spre seg og utgjøre en negativ påvirkning på biologisk mangfold, må risikovurderes i henhold til regelverket⁷.

Tidligere vurdering av effekter og kostnader

I Magnussen et al. (2015) har de forsøkt å beregne kostnader per kubikkmeter håndtert overvann for å sammenligne blågrønne, lokale løsninger og tradisjonelle, tekniske overvannstiltak. Rapporten presiserer at

⁷ Jf. Forskrift for fremmede organismer <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2015-06-19-716>

beregningene er gjort med utgangspunkt i en rekke forutsetninger om lokale forhold (grunnforhold, eksisterende infrastruktur og geografi), valg av tiltaksløsning, nedbørsmengder og valg av andre avrenningsflater som påvirker resultatene. I dette ligger også en forutsetning om at tiltaket kan brukes alene for å håndtere ønsket vannmengde, hvilket ikke nødvendigvis er reelt. For de blågrønne løsningene er det samtidig begrenset erfaring ved bruk, noe som reduserer tilgangen til erfaringstall å støtte seg på. Rapporten poengterer at tiltakene har ulik funksjon og ikke alltid er perfekte alternativer til hverandre.

Eksisterende masser vil være avgjørende for hvilke tiltak som kan og bør benyttes. Fjell begrenser bruk av overvannstiltak til fordrøyning, mens tette masser kan fordyre infiltrasjonstiltak ettersom eksisterende masser må skiftes ut. For at infiltrasjonstiltakene skal ha en effekt må også grunnvannstanden i området være lav. Tilgjengelig areal er også en begrensende faktor. Lokale blågrønne overvannstiltak er gjerne mer arealkrevende enn tradisjonelle tekniske løsninger. Dette kan komme i konflikt med planer og investeringer, og arealkostnadene ved å innføre tiltaket kan derfor øke kostnadene mye.

En oversikt over kostnader ved naturbaserte overvannstiltak og kost/effekt⁸ for både naturbaserte og tradisjonelle overvannsovertak beregnet i Magnussen et al. (2015) er gjengitt i vedlegg 1.

En sammenligning av naturbaserte overvannstiltak opp mot tradisjonelle løsninger er vanskelig på et generelt grunnlag. Vi kommer tilbake til slike sammenligninger i kapittel 5. Basert på eksempelberegninger viser Magnussen et al. (2015) at de naturbaserte løsningene (lokale overvannstiltak) kan være billigere for å håndtere en viss mengde overvann i mange sammenhenger, men da er ikke eventuelle arealkostnader inkludert. Beregningene viser videre at tradisjonelle overvannstiltak kan være billigere ved større avrenningsarealer og vannmengder. Rapporten konkluderer med at det er lite hensiktsmessig å vurdere naturbaserte og tradisjonelle tiltak opp mot hverandre, da tiltakenes funksjon er ulik og lokale forhold vil ha en stor påvirkning på hva som er mulig og lønnsomt. Basert på deres beregninger er det derfor ikke noe fasitsvar på hvorvidt naturbaserte løsninger er mer eller mindre kostnadseffektive sammenlignet med tradisjonelle.

Vurdering av løsninger

I tabellen nedenfor har vi gitt en vurdering av aktuelle naturbaserte løsninger. Vurderingene er basert på rapportene som er referert over, samt ekspertvurderinger i workshop med alle teamets medlemmer. Se vedlegg 1 for mer detaljerte beregninger, gjengitt fra Magnussen et al. (2015).

⁸ Nåverdien av investeringskostnader og vedlikeholdskostnad sett opp mot mengde håndtert overvann

Tabell 3.4: Vurdering av naturbaserte løsninger for tilpasning til overvann. Tiltakene er beskrevet i tabell 3.3.

Tiltaksnr.	Tiltak	Effekt	Kostnad ⁹	Kunnskapsnivå	Egnethet/begrensninger	Positive og negative tilleggseffekter
2.1	Regnfallsgrop ¹⁰ (små anlegg)	Lav	Lav	Middels, usikkerhet om langtidseffekt og effektivitet under lange nedbørperioder	Kun småskala, beregnet til enkeltboliger eller parkeringsplasser. Bør ikke brukes i områder med ustabilt jordsmonn eller i jordmasser med lav infiltrasjonshastighet. Økt risiko for forurensning av grunnvann. Må ha avstand ned til grunnvannet.	+Lokal etterfylling av grunnvann
2.2	Oppsamling av regnvann (små anlegg)	Lav	Lav – middels	Høy	Samler regnvann til lokalt bruk. Regnvannet må oppbevares og krever stort areal hvis det skal ha en effekt på overvann	+Alternativ bruk av regnvann, eks. til hagebruk
2.3	Frakobling av takrenner fra avløpssystemet	Lav Infiltrasjon og fordrøyning	Lav	Høy (lite dokumentert)	Egnethet avhengig av terrenget (infiltrasjonsevne) som mottar vann. Nedgravde utløpsrør kan fryse om vinteren, utløpsrør over bakken kan være i veien.	+Kan brukes som vannkilde til hagen, reduserer energiforbruk
2.4	Grønne tak – ekstensive tak	Middels Infiltrasjon og fordrøyning Høy sammenlignet med «vanlige» tak, men vanskelig å dimensjonere for å håndtere hele tilførselsarealet	Høy Investering og vedlikehold kommer i tillegg til «vanlig» takkostnader	Middels Mest erfaring fra ekstensive tak i Norge.	Effekt avhenger av type og dybde for vekstmedium, type tak og lokale klima-/værforhold. Må tilpasses lokale forhold og byggets bæreevne. Må vannes ved behov Minimal avrenningseffekt ved langvarig regn	+Estetikk, luftkvalitet, kjøling/isolering, økt biologisk mangfold, inkl. pollinering, økt friksjon → mindre snøras, økt levetid på tak, kan også utformes som takhager (rekreasjon) og urbane farmer (matproduksjon på taket) -Bruk av fremmede arter kan ha negativ effekt på naturmangfold
2.5	Grønne vegger	Middels Infiltrasjon og fordrøyning	Høy	Lav Liten erfaring fra norske forhold.	Mindre egnet i Norge. Få egnede plantearter som tåler vinter.	+Estetikk, luftkvalitet, kjøling/isolering, økt biologisk mangfold, inkl. pollinering -Bruk av fremmede arter kan ha negativ effekt på naturmangfold

⁹ Hovedsakelig basert på beregninger gjort i Magnussen et al. (2015).

¹⁰ <http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/infiltration/soakaways.html>

Tiltaksnr.	Tiltak	Effekt	Kostnad ⁹	Kunnskapsnivå	Egnethet/begrensninger	Positive og negative tilleggseffekter
2.6	Swales (gresskledde avløpsgrøfter)	Høy Infiltrasjon Fordrøyning og flomvei	Lav	Manglende erfaring i norsk klima, men populært i England, USA, Danmark, Sverige og Tyskland	Arealkrevende Passer godt langs veier og kan brukes som flomvei og kobles til andre tiltak Ikke egne til bratt terreng → erosjonsproblem. Kaldere klima forutsetter større infiltrasjonskapasitet	Fanger opp avrenning, kan brukes som deponi for snø, økt trafiksikkerhet ved bruk langs veier
2.7	Regnbed	Høy Infiltrasjon og fordrøyning	Middels Ved utskiftning av masser øker kostnaden	Middels, Lite brukt i Norge, men god kunnskap fra andre land. Blir i økende grad tatt i bruk i Norge.	Egnet i små nedbørfelt opp til 0.8 ha. Overflateareal. Avhengig av tilfredsstillende infiltrasjonskapasitet og gode vekstvilkår. Planter bør tåle vekslende våte og tørre forhold (eks. stauder)	+Estetikk, økt biologisk mangfold, luftkvalitet, renser forurenset overvann, etterfyller grunnvann
2.8	Infiltrasjonsbasseng	Høy infiltrasjon og fordrøyning Kan dimensjoneres for ønsket effekt	Lav – er relativt likt som regnbed, men lavere kostnader	Høy	Kun aktuelt der det infiltrerbare masser. Dybden til grunnvann bør være 1-4 m Infiltrasjonskapasitet en bør ligge på 0,5 – 2,0 m/døgn. Arealkrevende	Renser overflatevann, etterfyller grunnvann
2.9	Permeable dekker	Middels Infiltrasjon og fordrøyning Mindre effektivt ved ekstreme nedbørsmengder	Middels-Høy Avhengig av type.	Høy	Der det er mulig å benytte åpne dekker. Krever godt renhold av overflate for å ha effekt g egner seg best der partikler i overvannet er begrenset. Bruk av fine strømidler om vinteren vil tette fugene.	
2.10	Vegetasjonskledde elve- og bekkedrag	Høy Avhengig av alternativ Infiltrasjon og fordrøyning	Lav	Høy Kunnskap om naturtyper		+Stabiliserer jordsmonn, renser vann, rekreasjon, landskapsestetikk
2.11	Skafe eller beholde permeable flater	Avhengig av alternativ Infiltrasjon og fordrøyning	Lav			+Renser vann
2.12	Trær og annen vegetasjon/grønnstruktur	Høy, men avhengig av alternativ. Infiltrasjon og fordrøyning	Lav- Middels	Høy Kunnskap om naturtyper	Kan være arealkrevende Trær – dypere jord	+Temperaturregulering, CO ₂ -opptak, vinddempende (busker og trær), renser luft og vann, rekreasjon, estetikk. -kan spre fremmede arter hvis ikke bruker lokale arter og stedegen jord, passe på å ikke spre ugressinfiltrert jord nær landbruksområder

Tiltaksnr.	Tiltak	Effekt	Kostnad ⁹	Kunnskapsnivå	Egnethet/begrensninger	Positive og negative tilleggseffekter
2.13	Overvannsdam	Høy Fordrøyning Kan dimensjoneres for ønsket effekt	Høy	Høy	Arealkrevende	+Biologisk mangfold, estetikk, rekreasjon +/-åpent vann
2.14	Konstruerte våtmarker	Høy Fordrøyning kan dimensjoneres for ønsket effekt	Høy	Høy	Tiltaket er egnet i Norge, og det finnes eksempler fra bruk på Fornebu, Alnabru m.fl.	+Biologisk mangfold, estetikk, renser vannet
2.15	Filterbasseng	Høy Kan dimensjoneres for ønsket effekt	Lav	Høy	Godt egnet i områder med tette masser	
2.16	Åpent tørt fordrøyningsbasseng	Høy Kan dimensjoneres for ønsket effekt	Lav	Høy effekt hvis det er stort. God erfaring i Norge.	Arealkrevende	+Kan brukes til alternative formål når det er tørt (f.eks. som park)
2.17	Gjenåpning av/bevaring bekker, elver og vannspeil.	Høy Infiltrasjon, fordrøyning og flomvei	Vanskelig å skille ut fra andre deler av prosjektet.	God Flere eksempler i Norge	Kun mulig der bekker/elver er lukket	+Biologisk mangfold (forutsatt at bekken ikke tørker ut), renseeffekt, estetikk, Rekreasjon
2.18	Tørr renne	Lav Fordrøyning og flomvei	Lav	Høy		
2.19	Redusert bruk av kantstein	Lav	Lav	Høy	Avhengig av tilgang til permeable flater (f.eks. gressklede flater)	

3.4. Havnivåstigning og stormflo

3.4.1. Beskrivelse av løsninger

Et stigende havnivå og hyppigere og større stormfloer kan gi store ødeleggelser på infrastruktur og natur langs kysten. Naturbaserte løsninger kan gi naturlig beskyttelse mot disse hendelse ved at de skaper et naturlig forsvar av kystsonen mot oversvømmelse og erosjon som skapes av bølger, stormer og økt havnivå (EEA 2015a).

Tilstedeværelsen av organismer i fjæra kan dempe utfordringene knyttet til havnivåstigning og stormflo ved at de binder og stabilisere sedimenter, reduserer bølgeenergien og stabiliserer kystlinjen. Naturen kan også fungere som en fysisk beskyttelse (Aarrestad et al. 2015; EEA 2015a).

Aktuelle naturbaserte løsninger er beskrevet i tabell 3.5.

Tabell 3.5: Naturbaserte løsninger for tilpasning til havnivåstigning og stormflo

Tiltaks- nr.	Tiltak	Kort beskrivelse
3.1	Restaurere og bevare skog nær hav og kyst (saltpåvirket strand- og sumpskogsmark)	Kantskog langs beskyttede havstrender der svartor dominerer i tresjiktet, og lavtvoksende skog eller kratt av tindved (hovedsakelig fra Trondheimsfjorden og nordover). Saltpåvirket strand- og sumpskogsmark reduserer bølgeenergi, kysterosjon og flytting av sedimenter og øker sedimentering.
3.2	Restaurere og bevare havstrandvegetasjon (strandenger og strandsumper)	Har samme egenskaper som busk og kratt, gir beskyttelse mot kysterosjon ved at de reduserer bølgeenergi (hastighet, høyde og varighet), flytting av sedimenter og økt sedimentering (Spalding et al. 2014; Barbier et al. 2011).
3.3	Etablere jord- eller leirdike	Fungerer som en beskyttende barriere mot fremtidig havnivåstigning og stormflo. Løsmassevoller bruker naturlig materiale i motsetning til betongmurer. Slike murer, krever større plass, er billigere å etablere enn betongmur, men trenger jevnlig vedlikehold (COWI 2017).
3.4	Utnytte eksisterende sanddyner (restauring og aktivt vedlikehold)	Et naturlig strandområde med dynamiske sanddyner gir sikring mot høyvann. Sanden på (for)stranden reduserer bølgeenergien, mens dynene sørger for at vannet ikke renner inn i områdene bak. Kreves at sanddynen opprettholder naturlig dynamikk. Kan kun brukes der det allerede er naturlige dyneformasjoner, men påføring av sand kan gjøre at dynene bevares og får tilstrekkelig høyde (Rambøll 2015).
3.5	Etablere strandparkløsninger (hybridløsning)	Strandparken etableres som en sandøy foran eksisterende kystlinje. Består av en rekke bølgebrytere eller kunstige forland som består av stein eller betong, med sand i mellom. Parken reduserer bølgeenergien før den når kysten (Rambøll, 2015).
3.6	Bevaring av naturtyper i fjæra (driftvoll/tangvoll)	Tang- og tarebelter tar opp bølgeenergi og kan øke oppsamling og lagring av sedimenter. Tap av tang- og tare og ålegressenger har vist økt erosjon (Spalding et al. 2014).
3.7.	Bevaring av naturtyper på havbunnen nedenfor fjæresonen	Naturtyper dominert i hovedsak av ålegras og havgras (undervannsenger, poller og littoralbasseng)

3.4.2. Vurdering av løsninger

Det er ikke så mange naturbaserte løsninger å velge mellom for å redusere effekter av havnivåstigning og stormflo. De fleste aktuelle løsningene er å ta vare på og/eller restaurere eller eventuelt etablere eller re-etablere vegetasjon i strandsonene og naturtypekompleks som marine deltaer. Tett vegetasjon i vannkanten reduserer vannets hastighet og opptar bølgeenergi over sjøbunnen. Dette bidrar til at sedimenter legger seg på bunnen og reduserer erosjonsprosessen. Våtmarksvegetasjonens røtter kan i tillegg stabilisere bunnen og redusere erosjon.

Studier gjennomført på saltmyrer i England viser at saltmyrene kan redusere bølgehøyden med nærmere 60 prosent, og bølgeenergi med over 80 prosent (Spalding et al. 2014). Evnen til å fungere som kystbeskyttelse varierer fra sted til sted og er blant annet avhengig av bølgekarakteristikk, topografi, vegetasjonsstruktur, plantetetthet, habitatbredde, landområdet rundt, i tillegg til en rekke andre variabler. (se tabell 1 i Spalding et al. 2014)). Det er derfor vanskelig å si noe generelt om tiltakets effekt. Man vet imidlertid at våtmarker kan ha en fordel sammenlignet med ingeniørbaserte kystbeskyttelsesløsninger dersom de vokser i samme takt som havnivåstigningen.

Vurdering av løsninger

I tabellen nedenfor har vi gitt en vurdering av aktuelle naturbaserte løsninger. Vurderingene er basert på rapportene som er referert over, samt ekspertvurderinger i workshop med teamets medlemmer.

Tabell 3.6: Vurdering av naturbaserte løsninger for tilpasning til havnivåstigning og stormflo. Tiltakene er beskrevet i tabell 3.5.

Tiltaks-nr.	Tiltak	Effektivitet	Kostnad	Kunnskap	Egnethet	Positive og negative tilleggseffekter
3.1	Bevaring og etablering av vegetasjon	Usikker	Usikker. Sannsynligvis ikke store direkte kostnader, men alternativkostnader.		Egnet	+Biologisk mangfold, estetikk, rekreasjon
3.2	Bevare og restaurere våtmark langs kysten	Variierer Studier fra UK viser at saltmyrer (salt marshes) reduserte bølgehøyden med nesten 62 % og bølgeenergien med 82 %	Variabel	Lite kjent som tiltak i Norge. Flere internasjonale studier har sett på viktigheten og effekten. Lite dokumentasjon på effekten i ekstreme tilfeller.	Avhengig av eksisterende våtmarker langs kysten	+Biologisk mangfold, estetikk
3.3	Etablere jord eller leirdike	Høy Motvirker overskyll fra bølger Stabile Kan ha topplag som kan motstå erosjon	Høy	God erfaring med bruk i utlandet Lite erfaring fra bruk i Norge.	Krever stor plass og passer best i åpne områder med liten bebyggelse. Kan også komme i konflikt med annen natur.	-Kan skape en barriere mellom land og kyst
3.4	Utnytte eksisterende sanddyner (restaurere og aktivt vedlikehold)	Absorbere bølgeenergi og minsker risiko for oversvømmelser. Tilstedeværelsen av vegetasjon på dynene kan være kritisk for stabilitet og struktur og dermed effekt (Spalding et al. 2014).	Lav investeringskost, men krever vedlikehold (kostnad avhengig av sandtap)	Mye brukt i Holland og Danmark. Lite erfaring fra bruk i Norge	Relativt få aktuelle områder i Norge. Ikke egnet hvis kystprofilen er bratt. Krever store arealer. Kun mulig ved eksisterende naturlig dyne-dannelser	+Rekreasjon, naturlig habitat
3.5	Etablere strandpark-løsninger (hybrid-løsning)	Kan designes for å beskytte mot direkte oversvømmelse fra havet og mot oversvømmelser som følge av oppsamling i elver og vannløp i baklandet		Flere eksempler fra Danmark. Lite erfaring med bruk i Norge	Særlig der det allerede er en barriere kyst, men kan anlegges i kystområder med lavt vann og svak helning.	+Utvidede muligheter for anvendelse av kyst og hav
3.6 og 3.7.	Bevaring av naturtyper over og under vann i fjæra (ålegress, tang og tare)	Forstyrrelse av ålegrashabitater fører til større kysterosjon (Spalding et al. 2014).		Generell kunnskap, men lite om hvor stor effekt habitatene har	Egnet der det er eller kan re-etableres aktuelle habitater	+Biologisk mangfold, CO ₂ -binding

3.5. Skred

3.5.1. Beskrivelse av løsninger

Skred oppstår i bratt terreng ved at store masser av jord, leire, snø eller andre masser beveger seg nedover skråningen. Løsmasseskred oppstår normalt i terreng med helning over 30 prosent, og klimatiske forhold som nedbør kan være en viktig utløsende faktor fordi det kan gjøre underlaget mindre stabilt. Naturbaserte løsninger som skal virke forbyggende mot skred bør ha egenskaper som virker stabiliserende på grunnen, det vil si jordsmonnet eller snøen. De naturbaserte løsningene mot skred kan også fungere som fysisk barriere dersom

skredet først inntreffer og bidra til å redusere skadene av skredet. I tabellen under har vi listet opp naturbaserte tiltak for forebygging og vern mot skred.

Tabell 3.7: Naturbaserte løsninger for tilpasning til skred

Tiltaks- nr.	Tiltak	Kort beskrivelse
4.1	Bevaring av vegetasjon	Kanaliserer vann fra nedbør gjennom drenering i jordsmonnet og ved avrenning gjennom bekkeløp i ravinebunnen. Innhold av busker og trær har en regulerende tjeneste som sikrer mot erosjon av jordsmonn (Arrestad et al. 2015).
4.2	Bevaring og bærekraftig forvaltning av skog i bratt terreng	Skogdekket stabiliserer jorden og reduserer erosjon. Røtter binder jordsmonnet og tar opp vann fra nedbøren slik at jordvanninnholdet er lavere, oppsamling av organisk materialet under trekronene gir økt jordmonnsdannelse og stabiliserer jordaggregeringen. I tillegg bidrar vegetasjon til å fange opp regnvann før det treffer bakken og bidrar også til å øke fordampingen (se referanser i Rusch 2012).
4.3	Verneskog mot skred, steinsprang og snøskred	Etablere skog nedenfor potensielle rasområder for å fange opp stein og grusmasser som raser ned. Skog fanger også opp og stabiliserer snøen og fungerer som vern mot snøskred.
4.4	Bærekraftig skogbruk for klimatilpasning	• Redusere mengden flatehogst • Begrens bruk av tunge anleggsmaskiner • Begrense bygging av skogsbilveier og gjør grundigere landskapsvurderinger ved bygging av slike veier. Krav om avbøtende tiltak og restaurering av veiene etter uttak av skog. • Trefelling og skogrydding gjøres utenom regnesesong • La treavfall bli liggende på skogbunnen
4.5	Bruk av løsmasser til oppbygging av fangvoll, ledevoll og kjepler	Eableres for å beskytte bygninger og veier mot skred

3.5.2. Vurdering av løsninger

Skog og vegetasjon for å forebygge og verne mot skred

I tillegg til sine flomdempende effekter har skogens trær også en stabiliserende effekt på jordsmonnet som i sin tur reduserer faren for skred. Faren for flomskred påvirkes av erosjonspotensialet i skråninger, renner og bekker. Vegetasjonen disse stedene er derfor viktige for å redusere sannsynligheten for erosjon, utglidninger og skred (NVE 2015). Økte nedbørsmengder fører til fuktigere jordsmonn, hvilket reduserer trerøttenes stabiliserende effekt på jordsmonnet. Skog kan også virke som et seil ved sterk vind, og på denne måten bidra til både grunne og dypere skred. Rotvelt skaper sår i jordsmonnet og øker eksponering for erosjon, og kan forårsake mindre skred og steinsprang (NVE 2015; Arrestad et al. 2015).

Skogens egenskaper, type rot og seigheten til røttene, har betydning for hvor effektiv skogen er både som beskyttelse og ved å forebygge skred. Ettersom løvskog har røtter som går lenger ned i jordsmonnet, vil disse trolig ha en større bindende effekt på jordsmonnet enn bartrær (Arrestad et al. 2015; NVE 2015). Som følge av dette kan ivaretagelse av løvskog være spesielt viktig i rasutsatte områder, særlig på Vestlandet. Derfor kan trelagsskifte til gran i disse områdene være ugunstig med tanke på skred (Arrestad et al. 2015).

Skogen representerer en fysisk mur som kan beskytte mot steinsprang. Skogens effekt mot steinsprang avhenger av blokkstørrelse på steinene som løsner, helningen i området, trærnes DBH (diameter i brysthøyde) og tretetthet. NGI har utarbeidet et forslag til kriterier for verneskog (NGI 2013; revidert 2015). For steinsprang anbefaler de at verneskogen bør være minst 100 meter i fallretningen. Trærnes størrelse (DBH) bør være minst en tredjedel av blokkdiameteren for at skogen skal være et effektivt vern.

Skog kan også redusere faren og fungere som vern mot **snøskred**. Dette er blant annet utredet i NVE, NGI og NIFS' skog og skredfareprosjekt (NVE, 2015). Skog reduserer mengden snø som faller på bakken og påvirker snødekkets oppbygning. Skogen fungerer også som en vindbeskytter og reduserer oppsamling av fokksnø som ofte bidrar til oppbygningen av det snødekket som går i brudd. Selve trærne fungerer stabiliserende på snøen som ligger på bakken. Sist, men ikke minst fungerer skogen som et fysisk vern dersom snøskred utløses.

Trærnes størrelse, type og tetthet er avgjørende egenskaper for hvor effektivt skogen hindrer eller verner mot snøskredutløsning. Som fysisk vern er også størrelse og hastigheten på snøskredet avgjørende (NGI 2013, revidert 2015). Oppsummeringsrapporten fra skog og skredfareprosjektet viser til at tidligere studer finner at skog med kronedekning på 50 prosent (for eviggrønne trær) og 70 prosent (total kronedekning) har en stor effekt på snøskredformasjon (NVE 2015). Barskog, som granskog, forventes å være godt egnet, ettersom kronedekningen er høy. I Skandinavia er bjørk det vanligste treslaget nær tregrensen. I motsetning til bartrær, har bjørka bare kvister om vinteren og har tynnere stammer som ofte viser tegn til å være påvirket av snømengdene etter vinteren. Prosjektet så nærmere på bjørkeskogens effekt på snøskred og konkluderte med at snøskred er mindre vanlig i bjørkeskog enn i åpne områder, men at barskog er mye mer effektiv som beskyttelse mot snøskred. Dette følger særlig av at bjørkeskogen har mindre effekt på snødekkets oppbygging og lagdannelse. Prosjektet viser til at dersom det potensielle løснеområdet er dekket av skog, vil faren for snøskred være minimal. Basert på dette anbefales det at åpne hogstflater i fallretningen i utsatte områder bør begrenses til 50 meter ved 30° helning og til 40 meter ved 35° helning. De anbefaler videre en kronedekning på 50 prosent for barskog og minimum tetthet på 2500 trær per hektar for bjørkeskog for at skogens skal bli ansett som verneskog mot snøskred.

Ravinedaler

Topografien i landskapstyper som ravinedaler og skogbekkekløfter gjør at de kanalisere store mengder tilført nedbør både i lavlandet og i høyereliggende områder. Kantsonene i ravinedaler på marin leire (kvikkleire) er sårbare for økt nedbør, fordi saltet som binder leirkolloidene kan vaskes ut, med fare for nye leirras. Økt forekomst av leirskred vil øke arealet med ravinedaler, som har en viktig funksjon ved å kanalisere vann fra nedbør gjennom drenering i jordsmonnet og ved avrenning gjennom bekkeløp i ravinebunnen. Særlig er ravinedalenes og skogbekkekløftenes innhold av busker og trær viktige og stabiliserende for å sikre mot erosjon av jordsmonn (Aarrestad et al. 2015).

Vurdering av løsninger

I tabellen nedenfor har vi gitt en vurdering av aktuelle naturbaserte løsninger. Vurderingene er basert på rapportene som er referert over, samt ekspertvurderinger i workshop med alle teamets medlemmer.

Tabell 3.8: Vurdering av naturbaserte løsninger for tilpasning til skred. Tiltakene er beskrevet i tabell 3.7.

Tiltaksnr.	Tiltak	Effekt	Kostnad	Kunnskapsnivå	Egnethet/ begrensninger	Positive og negative tilleggseffekter
4.1	Bevaring av vegetasjon/	Høy	Lav, men potensiell høy alternativkostnad	Høyt, rødlistet naturtype	Allerede utsatt for skred – viktig vannføringsveier	+ Biologisk mangfold, flomdemping
4.2	Bevaring og bærekraftig forvaltning av skog i bratt terreng	Høy Løvskog sannsynligvis bedre effekt enn barskog	Lav	Høy	Skredutsatte områder Skog	+Biologisk mangfold, flomdemping
4.3	Verneskog mot skred, steinsprang og snøskred	Middels Avhengig av tetthet og trærnes DBH ¹¹	Lav	Høy NGI har utviklet kriterier for verneskog	Skredutsatte områder. Godt egnet	+Biologisk mangfold
		Høy effekt				
4.4	Bærekraftig skogbruk for klimatilpasning	Høy	Variabel	Høy NGI har utviklet kriterier flatehogst for å tillate vern	Godt egnet	+Biologisk mangfold, flomdemping, rekreasjon
4.5	Bruk av løsmasser til oppbygging av fangvoll, ledevoll og kjegler	Middels- Høy	Lav- Middels	Høy	Godt egnet for å beskytte veier og bygninger mot skredmasser	-Barrierer for vilt

3.6. Nedbør

Endret nedbørsmønster vil påvirke en rekke andre klimautfordringer som flom, overvann, fukt og råte. Tiltak mot disse klimautfordringene omtales under henholdsvis flom og overvann. Økte nedbørsmengder vil kunne føre til økt erosjon og avrenning, spesielt øke problemene med avrenning og forurensning fra jordbruksområder. Det har i mange år vært arbeidet med tiltak og virkemidler for å redusere avrenningen fra landbruket, og klimautfordringene vil ytterligere forsterke behovet for tiltak. I tabellen nedenfor har vi satt opp noen tiltak mot avrenning. Det finnes imidlertid flere aktuelle klimatilpasningstiltak innen landbruket. I en nylig publisert rapport fra NIBIO (Øygarden og Bechmann 2017) vurderes ulike miljøtiltak og synergier av miljøtiltak i jordbruket for å redusere klimagassutslipp og luftforurensning, øke klimatilpasningen og gi bedre vannforvaltning.

Øygarden og Bechmann (2017) vurderer arealtiltak som redusert jordarbeiding, fangvekster og grasarealer for å redusere erosjon og avrenning av næringsstoffer. De vurderer også hydrotekniske tiltak og drenering som viktige tiltak for å få kontroll med vann i nedbørfeltet og redusere overflateavrenning. Blankenberg og Grønsten (2014) beskriver flere tiltak mot avrenning av næringsstoffer, deres effektivitet og positive tilleggseffekter, spesielt vern eller planting av vegetasjonsdekke i kantsonen langs vassdrag, for eksempel naturlige buffersoner, gjødslede randsoner i eng eller beitemark og grasdekkede buffersoner. Bruk av næringskrevende arter som selje, vier, or og osp er spesielt godt egnet.

Øygarden og Bechmann konkluderer med at arealtiltakene er spesielt viktige for å redusere erosjon og tap av næringsstoffer. De mener også at våtere forhold og økt ekstremvær vil gi økt behov for kontroll med vann i landskapet gi økt behov for nye tiltak for å unngå erosjon og for hydrotekniske tiltak i landbruket.

¹¹ Diameter ved brysthøyde

Disse tiltakene er ikke vurdert videre i denne rapporten med tanke på effekt, kostnader osv., men blant annet nevnte rapport fra NIBIO gjør noen vurderinger av disse tiltakene, spesielt hvordan tiltak for å hindre avrenning, kan gi flere positive virkninger for landbruket. Tiltak mot husdyrgjødsel har også betydning for redusert avrenning, som blir enda viktigere ved økte nedbørmengder, osv.

I andre sektorer, som veisektoren, er det også i Norge en del erfaring med gjenbruk av originale toppmasser som legges løst tilbake oppå sideterreng og grøfter i ferdigstilling av utbyggingsprosjekter. En av effektene er at vannet trekker ned i undergrunnen og man unngår erosjon. Den tradisjonelle måten å gjøre dette på er å klappe toppmassene hardt og glatt, og da blir det lett sidegrøfter og utvasking etter kraftige regnskyl. Dette er tiltak som ikke er spesielt utviklet med tanke på klimatilpasning, men som kan få økt betydning ved fremtidige, økte nedbørmengder (Kongsbakk og Skrindo 2009).

Innen veisektoren har man også i flere år arbeidet med naturbaserte løsninger for å fange opp forurenset avrenning fra veiene, særlig der avrenningen ellers kan skade sårbar natur.

Vi omtaler ikke slike tiltak videre her, men det er eksempler på at det utvikles naturbaserte løsninger i ulike sektorer for å hindre avrenning, forurensning osv., og som vil få økt betydning for klimatilpasning fremover.

Tabell 3.9: Naturbaserte løsninger for tilpasning til nedbørsendringer

Tiltaks-nr.	Tiltak	Kort beskrivelse
5.1	Kantvegetasjon	Plante trær og andre planter langs vassdrag for å hindre avrenning (erosjon og forurensning). Spesielt næringskrevende arter som selje, vier, or og osp.
5.2	Ingen eller utsatt jordarbeiding	Alternativer til jordarbeiding om høsten, for eksempel direktesåing eller vårløying
5.3	Fangvekster, eventuelt i tillegg til overvintring i stubb	Fangvekster sås samtidig med hovedveksten og pløyes ikke ned før på våren. Fangveksten tar opp næringsstoffer høst og vinter, og dekker jorden.
5.4	Grasdekte vannveier og grasdekt buffersone	Arealer sås til med gress for å hindre åpent jorddekke
5.5	Andre grasdekte arealer	Flomutsatt areal og bratt areal med erosjonsrisiko sås til med gress. Disse arealene har vanligvis større omfang enn grasdekte vannveier og buffersoner. Må ses i sammenheng med tiltak mot flom.
5.6	Fangdammer	Installere fangdammer på jordbruksareal for å hindre erodert materiale i å renne av fra arealet
5.7	Drenering	Drenering gir mindre vannmettet jord og reduserer dermed risiko for overflateavrenning erosjon og fosfortap.
5.8	Bedre jordstruktur for redusert avrenning	Bedre jordstruktur og -mikrobiologi for å redusere avrenning og øke vanninnhold i jorda
5.9	Sedimentbasseng langs veier	Etablere sedimentbasseng langs veier for å samle opp forurenset vann og hindre at det slippes ut i vann og vassdrag

3.7. Temperatur

Temperaturøkning påvirker mange av de andre klimautfordringene, og spesielt lenger sør i Europa, er temperaturøkning og hetebølger ventet å bli en stor utfordring i årene som kommer. For å unngå skadevirkninger av økt temperatur som sådan, vil de naturbaserte løsningene omfatte tiltak som kan kjøle ned lufttemperaturen lokalt. Litteraturen vi har gått gjennom, er i stor grad fokusert på temperaturutfordringer i urbane områder, og det som kalles urbane varme øyer. Det vil si områder hvor den lokale lufttemperaturen er varmere enn i ikke-urbane områder i nærheten. I byene er større deler av landarealet dekket av tette flater (bygninger, veier o.l.). Disse flatene absorberer sollys, slipper det ut igjen som varme og gjør den lokale lufttemperaturen høyere (Kabisch et al. 2016). I ikke-urbane områder er gjerne en større del av landarealet dekket av vegetasjon, som har større evne til å kjøle ned lufttemperaturen rundt seg ved at den absorberer varme når vannet i vegetasjonen fordampes, såkalt evapotranspirasjon. Trær vil også kunne redusere lufttemperaturen på bakken ved at de lager skygge.

Tiltak for å redusere effekten av såkalte urbane varmeøyer går ut på å øke andelen grønne arealer og utnytte trær og annen vegetasjons evne til å redusere den lokale lufttemperaturen. I tabellen under har vi inkludert og kort beskrevet de naturbaserte løsningene vi har funnet i litteraturstudien. Disse tiltakene er ikke vurdert nærmere med tanke på effekter, kostnader osv. Vi kan imidlertid merke oss at tiltakene som innebærer mindre andel tette flater og økt vegetasjon i urbane områder, også er lansert som naturbaserte løsninger for å unngå skadevirkninger av flom og overvann, og at grønne innslag i urbane områder også har andre positive tilleggseffekter for samfunnet som estetikk, rekreasjon og biologisk mangfold.

Tabell 3.10: Naturbaserte løsninger for tilpasning til temperaturøkning

Tiltaks-nr.	Tiltak	Kort beskrivelse
6.1	Grønne tak	Tak dekket med vegetasjon. Virker ved å redusere temperaturen gjennom evapotranspirasjon. Isolerer bygget og kan bidra til redusert energibehov. Grønne tak kan redusere temperaturen med opptil 2 °C (Kabisch et al. 2016). Effekten varierer med lokalt klima, type vegetasjon og areal.
6.2	Grønne vegger	Vegger dekket med vegetasjon. Har en kjølede effekt om sommeren og en isolerende effekt om vinteren på samme måte som grønne tak.
6.3	Re-naturalisering av grå infrastruktur	Omgjøre nedlagte industriområder til grønne områder, urbane parker, urbane skoger.
6.4	Etablere grønne korridorer	Øker andelen areal med bedre evne til å kjøle ned lufttemperaturen
6.5	Etablere eller bevare parker	Studier indikerer at størrelsen på parken og mengden trær i parken påvirker effekten på temperatur. Gjennomsnittlig finner studier at urbane parker kan redusere temperaturen med 1 °C sammenlignet med grå områder (Kabisch et al. 2016).
6.6	Etablere eller bevare åpne vannflater	Åpne vannflater virker temperaturregulerende ved at de absorberer varme om sommeren og avgir varme på vinteren.
6.7	Planting av trær i byene: • Generelt • Ved bygninger for å kjøle disse ned • På parkeringsplasser for å gi skygge for parkerte biler	Trær reduserer lufttemperaturen gjennom evapotranspirasjon og skyggelegging. Planting av trær nær bygg kan i tillegg kjøle ned bygg og redusere energibehovet. Trær på parkeringsplasser vil gi skygge for biler og redusere fordampingsutslipp fra parkerte biler Løvtrær anses som mest effektivt da de virker kjølede på sommeren, men ikke stjeler varme på vinteren (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

3.8. Tørke

Som beskrevet i kapittel 2.1, ventes det at det blir vanligere med tørke fremover. Naturbaserte løsninger som skal forhindre dette bør ha egenskaper som øker grunnvannsstanden og vannmengden i vassdrag. De naturbaserte løsningene for å unngå negative konsekvenser av tørke vil i stor grad være sammenfallende med de løsningene som gir flomdemping og reduserer skadevirkninger av overvann, som bidrar til å øke infiltrasjonen i grunnen og øker grunnvannstanden. Disse tiltakene er omtalt under tiltak mot henholdsvis flom og overvann.

Tiltak som bevaring og bærekraftig forvaltning av skog vil også være aktuelle tiltak mot tørke, som mot flom. Diversitet i skogen påvirker jordas egenskaper og nedbørens infiltrasjonshastighet, og regulering av tilgjengelig vann og transport (vannveier). Det har vist seg at skogrydding kan føre til redusert vannføring i tørkesesongen og dermed forsterke tørkeproblemer. Ved planting kan det benyttes tørketolerante arter, men eventuelle fremmede arter kan være negativt for stedege arter, og må vurderes etter gjeldende regelverk (Rusch 2012). I lys av den forventede økningen i antall tørkeepisoder, endringer i temperatur og mulig eksponering for sykdommer som en konsekvens av klimaendringer, er beskyttelse av det genetiske mangfoldet hos arter med økonomisk verdi og deres nær beslektede ville arter en løsning for å møte utfordringen med at det blir vanligere med tørke (Rusch 2012).

Mindre snø om vinteren vil gjøre at flere planter mister det beskyttende snødekket og blir mer utsatt for kulde og vind. Dette kan føre til at flere planter tørker ut om vinteren. Når våren kommer, er disse plantene potensielle

brannfarer. Generelt vil faren for skogbrann øke under tørkeperioder. Tiltak som kan avverge eller begrense omfanget av skogbrann vil derfor også være aktuelle i denne sammenhengen.

I tabellen nedenfor har vi satt opp aktuelle tiltak mot tørke som ikke er omtalt under andre klimautfordringer.

Tabell 3.11: Naturbaserte løsninger for tilpasning til tørke. Kun tiltak som ikke er omtalt under andre klimautfordringer er satt opp her.

Tiltaks-nr.	Tiltak	Kort beskrivelse
7.1	Oppsamling av regnvann	Små anlegg som fanger opp regnvann. Først og fremst beregnet for småskala bruk.
7.2	Kontrollert brenning av lyngheier og andre lettantennelige naturtyper for å erstatte gammel lyng og annen gammel vegetasjon med nye, friske planter.	Gammel røsslyng er lettantennelig ved lang tids tørke. Kontrollert brenning senvinters/tidlig vår bidrar til å erstatte gammel lyng med nye friske planter (Aarrestad et al. 2015).
7.3	Bruk av tørketolerante arter og vern av deres genetiske mangfold	Ved planting kan man benytte arter som tåler tørke.

3.9. Vind

Naturbaserte løsninger kan i liten grad påvirke selve vindstyrken, men vegetasjon, og spesielt trær og skog, kan virke skjermende på tilgrensende områder. Litteratursøket ga få tiltak som kun har til hensikt å verne mot vind, men vegetasjon og trær spesielt kan sies å være en naturbasert løsning for en bedre tilpasning til endrede vindforhold.

Leplantinger har tradisjonelt vært mye brukt langs kysten i hele landet som beskyttelse rundt bolighus og innmark. En utfordring er at det ofte har vært brukt fremmede treslag i leplantinger, og mange steder har disse etablert seg og spredt seg til naturområder. Fremtidige leplantinger og vindskjerming bør derfor benytte lokale arter.

Trær og skog spesielt er vinddempende for områdene rundt ved at de utgjør en fysisk barriere. Planting av trær, leplanting, ved bygg eller i åpne områder (for eksempel ved dyrket mark) er derfor et aktuelt tiltak for vinddemping i utsatte områder. Ved planting og bevaring/forvaltning av trær og skog som et tiltak for å skjerme mot vind, bør det tas hensyn til hvilke arter eller provenienser som tåler vind og storm best. Jo tettere løvdekke treet har, jo mer effektivt er vindfanget. Videre må det tas hensyn til sårbare områder i nærheten, da spredning av fremmede arter kan ha en negativ påvirkning på det eksisterende biologiske mangfoldet (Aarrestad et al. 2013). Man ønsker planting av treslag som tåler vind, det vil si som har dype røtter; noe som gir beskyttelse mot vindfall.

Bevaring eller planting av busker, urter og gress kan også være et tiltak for å hindre jorderosjon i områder der det har oppstått erosjon eller vegetasjonsslitasje. Vegetasjon kan også brukes forebyggende for å hindre at erosjon oppstår.

3.10. Havforsuring

Per i dag er det relativt lite kunnskap om de faktiske konsekvensene av havforsuring. Usikkerheten om konsekvensene gjør at det er vanskelig å si noe om hvilke naturbaserte løsninger som kan være aktuelle. Havforsuring er et resultat av at større mengder CO₂ absorberes av havet. Enkelte økosystemer på havbunnen, som tang, tareskoger og ålegrasenger har svært god evne til å binde opp store mengder CO₂. Bevaring og restauring av disse økosystemene kan derfor være et mulig tiltak mot havforsuring (Aarrestad et al. 2015).

Et annet generelt tiltak vil være å redusere avrenning fra land til havet for å redusere forurensningen. Tiltak som redusere avrenning fra land kan derfor bidra til å styrke havets økosystemer og gjøre dem mer motstandsdyktige mot havforsurning.

4. Eksempler og analyser av naturbaserte løsninger

I dette kapittelet gir vi først en oversikt over kjente eksempler på bruk av naturbaserte løsninger i Norge (4.1). Deretter gis det en oversikt over gjennomførte analyser (4.2.)

4.1. Eksempler på bruk av naturbaserte løsninger

I dette delkapitlet viser vi noen kjente eksempler på bruk av naturbaserte løsninger for klimatilpasning i Norge. Hensikten har vært å få med en del ulike eksempler som er dokumentert og beskrevet i litteraturen, og informasjonen om hvert eksempel er svært kortfattet. Listen er ikke uttømmende. Vi oppgir hvilket/ hva slags tiltak, hvor tiltaket er gjennomført og kilde for informasjonen for en nærmere beskrivelse av tiltaket.

Tabell 4.1: Eksempler på gjennomførte naturbaserte tiltak; hovedsakelig i Norge, men også enkelte tiltak internasjonalt

Tiltak	Område	Kilde
Åpning av bekker	Hovinbekken, Oslo	Klimatilpasning.no/eksempler/apne-bekker
Åpning av bekk/vassdrag	Ilabekken og Sverredalsbekken i Trondheim	klimatilpasning.no/eksempler/apne-bekker
Åpning av bekk	Damgardselven, Bergen	klimatilpasning.no/eksempler/apne-bekker
Fordrøyningskanal	Bjølsen studentby, Oslo	Oslo åpne overvannskatalog
Grønne tak (Sedum+plantekasser)	Bjørsvika, Oslo	Oslo åpne overvannskatalog
Rensedam	E6 Skullerudkrysset, Oslo	Oslo åpne overvannskatalog
Grønne tak, grønt gårdsrom, oppsamling av regnvann	Klosterenga økologiboliger	Oslo åpne overvannskatalog
Regnbed	Langmyrgrenda 34b, Oslo	Oslo åpne overvannskatalog Paus og Braskerud (2013)
Regnbed	Nils Bays vei 21, Oslo	Oslo åpne overvannskatalog Paus og Braskerud (2013)
Regnbed	Hammondsvei 8, Melhus	Paus og Braskerud (2013)
Regnbed	Risvolla borettslag, Trondheim	Paus og Braskerud (2013)
Grønt tak (Sedum)	Rommen skole, Oslo	Oslo åpne overvannskatalog
Grønt tak (Sedum)	Evje skole, Evjebakken 20, Bærum kommune	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (Sedum)	Fossum Terrasse, Kalderaveien 11, Bærum kommune	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (Sedum)	Ikea Bergen	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (torvtak)	Alna senter, Oslo kommune	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (Sedum)	Norsk gjenvinning, Haraldrud veien 31, Oslo kommune	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (Takhage)	Takhage på Grønland, Oslo	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (Sedum)	Comfort Hotel Stavanger	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (Sedum)	Nedre Flatåsen barnehage, Trondheim	Nordeng m.fl. (2014)
Grønt tak (takhage)	Thaulowkaia, Trondheim	Nordeng m.fl. (2014)
Grønn vegg	Kristiansand	Blakstad (2012)
Overvannsdam (rensedam?)	Skullerudkrysset	COWI (2005)
Infiltrasjonsbasseng	Rv174, Akershus	Statens vegvesen (2014)
Etablering av våtmark	Lierdammen, Lier	Blankenberg og Braskerud (2003)
Regnbed	Fridtjof Nansen Park, Fornebu	(Banach, et al.)
Regnbed	South Waterfront, Portland USA	(Banach, et al.)
Regnbed	Norra Djurgårdsstaden, Stockholm	(Banach, et al.)
Regnbed	Portland, USA	(Banach, et al.)
Regnbed	Mt Tabour School, Portland USA	(Banach, et al.)
Regnbed	Stephen Epler Hall Stormwater Plaza, Portland USA	(Banach, et al.)
Regnbed	Turbinenplatz, Zürich, Sveits	(Banach, et al.)
Regnbed	Raleigh, USA	(Banach, et al.)
Regnbed	Interstate 540, Knightdale, NC, USA	(Banach, et al.)
Regnbed	Boligområde, Amsterdam Nederland	(Banach, et al.)
Overvannsdam	Potzdamer platz, Berlin, Tyskland	(Banach, et al.)
Overvannsdam	Vintriediket, Malmö, Sverige	(Banach, et al.)
Overvannsdam	Høllaløkkka ved Alnaelven, Oslo, Norge	(Banach, et al.)
Overvannsdam	Fridtjof Nansen park, Fornebu	(Banach, et al.)
Overvannsdam	Pilestredet park, Oslo, Norge	(Banach, et al.)
Overvannsdam	South Waterfront, Portland USA	(Banach, et al.)

Tiltak	Område	Kilde
Grønnstruktur	Rotterdam, Nederland	(Banach, et al.)
Bruk av flere naturbaserte løsninger for flomkontroll	Antwerpen, Belgia	(Bijns-gebouw)

4.2. Analyser av naturbaserte løsninger

Det er gjennomført noen analyser i Norge og internasjonalt som vurderer ulike naturbaserte løsninger. Det er også gjennomført enkelte vurderinger av fordeler og ulemper ved de ulike løsningene. I dette kapitlet oppgir vi hvilke tiltak som er analysert, hvilke klimautfordringer tiltakene skal løse, hvilke analysemetoder som er benyttet, og eventuelle resultater for noen utvalgte analyser.

Det er utført kunnskapsinnhenting om sentrale aspekter ved grønne tak. Her gjøres det blant annet en kvalitativ vurdering av fordeler med grønne tak sammenlignet med tak med vanlig takbelegg. Basert på eksisterende litteratur trekkes det fram at et grønt tak både vil redusere intensiteten i avrenningen og utsette tidspunktet for når den høyeste intensiteten kommer, som vil kunne bidra til å hindre momentan belastning på avløpsnett, og hindre at vann kan komme inn i kjellere eller opp på gatenivå. Videre påpekes det at skjøtsel og vedlikehold varierer mye mellom forskjellige typer grønne tak, men at det bør forventes å vedlikeholdskostnader. Det er imidlertid ikke diskutert hvorvidt disse kostnadene fraviker tak med takbelegg. Når det gjelder monteringskostnader trekkes det fram at til sammenligning med et vanlig kompakt tak med kun vanlig takbelegg, påløper kostnader som kontroll av bærekonstruksjonen som følge av økt vekt av grønne tak og behov for ekstra beskyttelse av takbelegget. Samtidig vil grønne tak føre til kostnadsbesparelser som bortfall av behov for brannteknisk klassifisering og reduserte krav til innfesting av takbelegget. Disse merkostnadene og kostnadsbesparelsene kan forventes å i sum gå i null. I rapporten er det også gjennomført en spørreundersøkelse til 40 aktører i forbindelse med ni grønne tak. Resultatene fra denne spørreundersøkelsen viser at grønne tak i tre tilfeller ble hevdet å ha ført til økt salgsverdi for prosjektet. Dette kan tyde på at det er en positiv betalingsvilje for et bygg med grønt tak, enten som følge av at aktørene internaliserer de positive eksterne virkningene av tiltaket eller at det er andre egenskaper som for eksempel estetikk som utgjør den positive betalingsviljen.

På et oppdrag for «Overvannsutvalget ble det beregnet en rekke effekter for ulike overvannstiltak (Magnussen et al. 2015). Resultater fra denne er beskrevet i forbindelse med vurdering av overvannstiltak i kapittel 3.3 og tas opp igjen i kapittel 5, og omtales ikke nærmere her.

Det er gjennomført en kost-nytteanalyse i forbindelse med en masteroppgave av et grønt tak (Henriksen, 2013). Analysen viser en negativ netto nåverdi på minus 327 kroner per kvadratmeter der prissatte virkninger er etablerings-, drift- og vedlikeholdskostnader. Positive ikke-prissatte virkninger som ikke er med i regnestykket, men omtalt kvalitativt, er overvannshåndtering, forbedret luftkvalitet, miljø og bærekraft.

I en rapport om grønne tak (Braskerud 2014) fremheves det en rekke nytte- og kostnadsvirkninger ved bruk av grønne tak. Disse virkningene er ikke identifisert basert på empiriske studier, men en litteraturgjennomgang. Braskerud (2014) trekker fram at grønne tak holder tilbake nedbør, gjør bymiljøet grønnere, forlenger levetiden til taket, virker kjølede på bygg, gir varmeisolasjon, kan fange svevestøv, reduserer virkningen av oppvarming i storbyer, god utnyttelse av plassen, kan øke biologisk mangfold, en viktig ingrediens i merkesystemer for bærekraftige bygninger og kan redusere snøras. Det trekkes også fram at grønne tak har høyere investeringskostnader sammenlignet med alternativer, at det krever ettersyn og oppsyn, at hvis lekkasje oppstår vil den være mer krevende å finne, bruk av svartelistede arter på taket gir risiko for spredning til norsk natur, og det er også risiko for at vegetasjonen dør som følge av feil i dreneringen.

Når det gjelder restaurering av våtmark som flomdempingstiltak, er det i rapporten Hopland et al. (2016) samlet inn informasjon med kvalitative vurderinger av både kostnader og nytteeffekter for en rekke naturbaserte løsninger som flomdempingstiltak. For eksempel vises det til at stokkdammer har relativt lav kostnad, men at dette varierer fra sted til sted. Videre vises det til at kostnader for rehabilitering av våtmark og myr vil variere fra sted til sted, og at nytteeffekter kan være å hindre flom og tørke, fører til gjenbruk av overvatn, rehabilitering av leveområde for rødlistede arter, lagring av karbondioksid og rensing av vann.

Det er også gjennomført en kvalitativ vurdering av fordeler og ulemper ved regnbed (Braskerud et al. 2012). Det trekkes fram at regnbed har god evne til å redusere flomtoppbelastningen i et aldrende avløpssystem, at vannet tilbakeholdes lokalt og etterfyller grunnvannet, lar seg ettermontere i nedbørfelt med overvannsutfordringer, bevarer vann i et urbant miljø, renser forurensset vann, forsterker grønnstrukturen, øker det biologiske mangfoldet i byene og involverer befolkningen i løsningsrettet adferd. Videre trekkes det fram at det også eksisterer utfordringer knyttet til at anleggene krever overflateareal, at ved tette masser må disse skiftes og regnbedet dreneres, at det er lite utprøvd i norsk klima og at det krever vedlikehold.

En nylig utarbeidet kost-nytteanalyse vurderer tiltak mot ekstrem nedbør, havnivåstigning, stormflo, strøm- og bølgepåvirkning (COWI 2017). Denne rapporten ser på sparte skadekostnader ved innføring av tiltak som diker og oversvømmelsesmur, men omhandler ikke naturbaserte tiltak.

Oppland fylkeskommune jobber med en regional plan for Gudbrandsdalslågen med sidevassdrag, der tiltak mot flom- og skredskader er en sentral del av planen.

Utenfor landets grenser er det for eksempel på EU-nivå utarbeidet en rapport som omhandler effektiviteten av flere naturbaserte løsninger og hvor egnet de er for eksempel til flomdemping (http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EUR25551EN_JRC_Blueprint_NWRM.pdf). Vi har ikke vurdert hvor overførbare disse vurderingen er til norske forhold.

The Royal Society i Storbritannia har vurdert en rekke løsninger, både naturbaserte, tekniske og kombinasjonsløsninger for ulike klimautfordringer og vurdert deres effektivitet og kostnader (The Royal Society 2014). Denne rapporten omtaler vi nærmere i kapittel 5.

5. Vurdering av naturbaserte løsninger versus andre løsninger

I dette kapittelet vurderer vi naturbaserte løsninger generelt sammenlignet med andre tekniske løsninger med hensyn til kostnader og måloppnåelse knyttet til de ulike klimautfordringene. I tillegg vurderer vi eventuelle positive og negative tilleggseffekter for samfunnet ved ulike løsninger.

5.1. Kjennetegn ved naturbaserte løsninger

Naturbaserte løsninger gir ofte tilleggsnytte

Naturbaserte løsninger har ofte flere funksjoner i tillegg til å bidra til klimatilpasning for den aktuelle klimautfordringen. De gir det vi kaller tilleggsnytte eller positive tilleggseffekter, mens tradisjonelle løsninger ofte har kun én funksjon. Fordelene kan være miljømessige (for eksempel bidra til rekreasjon eller bevaring av naturmangfold), sosiale (for eksempel gi grønne lunger i byområder) og/eller økonomiske (for eksempel ved at åpning av bekker og andre blågrønne løsninger kan påvirke eiendomsprisene i området).

Dette ble vurdert for hver enkelt løsning i kapittel 3, der vi har med «tilleggseffekter» som en egen kolonne i tabell 3.2, 3.4, 3.6 og 3.8. Som vi så der, var «tilleggseffektene» stort sett positive, men naturbaserte løsninger kan også medføre ulemper (dvs. negative tilleggseffekter), som vi også har forsøkt å inkludere i de samme tabellene i kapittel 3.

Vi så også at mange naturbaserte tiltak som i utgangspunktet iverksettes for å løse én klimautfordring, samtidig bidrar til å løse andre klimautfordringer. For eksempel vil bevaring, re-etablering eller eventuelt planting av skog eller annen vegetasjon være viktig for vannhusholdningen, og dermed bidra til løsning både av flom- og tørkeproblematikk. De vil også bidra til vind- og skredskjerming, temperaturregulering osv.

Det kan imidlertid også være ulemper ved naturbaserte løsninger, for eksempel store krav til bruk av areal, usikkerhet om kostnader og den lange tiden som ofte trengs før de er fullt etablert og effektive. De krever ofte mer vedlikehold enn de mer tradisjonelle løsningene og gir tilhørende vedlikeholdskostnader i hele levetiden. De kan imidlertid ha lavere investeringskostnader.

Naturbaserte løsninger som innebærer etablering eller re-etablering av vegetasjon, eller på andre måter påvirker naturen, kan påvirke naturmangfold negativt dersom man ikke tar spesielle hensyn, og man kan påvirke lokale, stedegne arter, sårbare arter (rødlistearter) og sjeldne naturtyper eller innføre fremmede arter. For eksempel ble leplantinger tidligere ofte gjort med treslag som ikke hørte hjemme i området. Dersom man etablerer ny vegetasjon som en form for naturbasert løsning, må man sikre at dette gjøres innenfor gjeldende lover og regler for naturmangfold.

Naturbaserte løsninger kan ha lavere effektivitet for å løse én bestemt klimautfordring

Tekniske eller grå løsninger er ofte konstruert for å løse ett problem/ én klimautfordring, og vil ofte ikke ha så mange tilleggseffekter, eller bidra til å løse flere andre klimautfordringer. Samtidig kan de da ha høy effektivitet med hensyn til å redusere nettopp det problemet løsningen er designet for.

Det kan være en tendens til at naturbaserte løsninger har noe mindre effektivitet for å løse én bestemt klimautfordring, selv om vi ikke har gransket alle naturbaserte løsninger for å underbygge denne vurderingen.

Ikke alle naturbaserte løsninger er egnet i hele landet

Det er nødvendig å vurdere eventuelle begrensinger ved ulike naturbaserte løsninger. En del av disse begrensningene er beskrevet i litteraturen. En del tiltak er imidlertid lite utprøvd generelt, og særlig i Norge, og for disse er det behov for konkrete vurderinger og uttesting dersom de skal tas i bruk. I kapittel 3 har vi gjort slike vurderinger så langt vi har grunnlag for. Det kan for eksempel være en del løsninger som ikke er egnet alle steder i landet fordi det er for kaldt og for mye frost og snø. Ulike løsninger kan virke bedre eller dårligere på sikt, nettopp som følge av klimaendringene.

Mindre kunnskap om naturbaserte løsninger – særlig om virkninger og kostnader på sikt

Det er ofte større usikkerhet både med hensyn til risiko og effektivitet av ulike naturbaserte løsninger fordi de er mindre utprøvd. Ofte vet man at et tiltak virker og hvilken retning det virker i, mens det kan være vanskeligere å fastslå hvor godt tiltaket virker. Eksempler på det siste er usikkerheten omkring hvor mye overvann som kan håndteres ved et grønt tak, eller hvor mye flommen dempes av at en våtmark restaureres. Det er også stor mangel på kostnadsberegninger for naturbaserte løsninger, mens man i større grad kjenner kostnadene ved å bygge og vedlikeholde tradisjonelle, tekniske løsninger. Mens tekniske løsninger ofte har høye investeringskostnader og relativt lave drifts- og vedlikeholdskostnader over tid, kan naturbaserte løsninger være billigere å etablere og mer kostnadskrevende å opprettholde effekten av på sikt.

5.2. Hvordan kan man sammenligne naturbaserte og tekniske løsninger

Tilleggsnyttan kan systematiseres ved hjelp av en økosystemtjenestetilnærming

Kjennetegnene ved naturbaserte løsninger, som er diskutert i kapittel 5.1, gjør at sammenligningen med andre tiltak er mer komplisert enn sammenligningen mellom vanlige tekniske løsninger.

For å kunne sammenligne, må vi kunne vurdere tilleggsnyttan av de naturbaserte tiltakene. I den senere tid benyttes ofte en økosystemtjenestetilnærming for å systematisere og vurdere tilleggsnyttan av naturbaserte løsninger. En slik tilnærming er også lagt til grunn i kapittel 3, der vi har vurdert positive og negative tilleggseffekter av de naturbaserte løsningene.

Med økosystemtjenester menes alle goder og tjenester vi får fra naturen og som gir nytte til mennesker (jf. f.eks. NOU 2013:10 «Naturens goder – om verdier av økosystemtjenester»). De deles ofte i kategoriene, forsynende, regulerende og kulturelle økosystemtjenester (opplevelses- og kunnskapstjenester).

I tabellen nedenfor gjengis eksempler på økosystemtjenester fra naturbaserte overvannstiltak, hentet fra Magnussen et al. (2015). Vi ser at disse tiltakene gir tilleggsnytte i form av en rekke økosystemtjenester og at ulike overvannstiltak kan gi ulike typer positive tilleggseffekter.

Tabell 5.1: Eksempler på tilleggsnytte i form av ulike typer økosystemtjenester man kan få fra blågrønne løsninger for overvannshåndtering. Kilde: Magnussen et al. (2015).

Økosystemtjeneste	Eksempler	Type
Vannhåndtering	Blågrønne infiltrasjonstiltak, fordrøyningstiltak, gjenåpning av bekker, grønne vegger og tak, permeable flater kan infiltrere og/eller fordrøye og/eller frakte overflatevann.	Regulerende
Rent vann til vanning o.l.	Rent vann (f.eks. takvann), og vann i dammer kan brukes til vanning og andre formål (ikke drikkevann)	Forsynende
Rensing av vann	Blågrønne infiltrasjonstiltak kan filtrere og rense forurenset vann	Regulerende
Rekreasjon og mental og fysisk helse	Blågrønne overvannstiltak, særlig åpning av bekker, samt dammer og våtmarker med grønne omgivelser gir mulighet til opplevelser; stressreduksjon, trening og «steder å være».	Kulturell
Estetikk, stedsidentitet og kulturarv	Blågrønne overvannstiltak, særlig åpning av bekker, samt dammer og våtmarker med grønne omgivelser gir estetiske tjenester og kan bidra til stedsidentitet. Særlig åpning av tidligere gjenlukkede bekker kan bidra til bevaring av kulturarv.	Kulturell
Utdannelse og kognitiv utvikling	Naturelementer som vann og liv i vann, samt grønne planter og dyreliv som følger med, gir grunnlag for barns utvikling, læring og lek i parker og ved elver osv.	Kulturell
CO₂-opptak (og lagring)	Grønne planter omdanner CO ₂ ved fotosyntese. Grønne elementer i blågrønne overvannstiltak, som grønne tak og vegger, og vegetasjon i og rundt grøfter og dammer bidrar dermed til CO ₂ -binding.	Regulerende
Lokal klimaregulering	Både vann og vegetasjon kan bidra med avskjerming/skygge og hindre vind og gi en lunere by. Grønne tak isolerer og hindrer varmetap.	Regulerende
Støyreduksjon	Vann og vegetasjon virker støydempende ved å absorbere og reflektere lydbølger.	Regulerende
Forbedret luftkvalitet	Grønne elementer i blågrønn infrastruktur bidrar til å rense luft, blant annet binde svevestøv. Dette gir friskere luft som kan forhindre luftveissykdommer som astma/allergier; etc.	Regulerende
Biologisk mangfold	Både vann og grønne elementer i blågrønne overvannstiltak kan bidra til biologisk mangfold i urbane områder. For folk kan dette ha både bruksverdi ved at de ser og hører dyre- og fugleliv- og ikke-bruksverdi ved å vite at det finnes der.	Kulturell/ støttende
Pollinering/frøspredning	Grønne elementer i blågrønn infrastruktur kan bidra til leveområder for bier og humler som bidrar til pollinering og f.eks. fugler og ekorn som sprer frø.	Regulerende/ støttende

Aktuelle metoder for sammenligning av naturbaserte versus tradisjonelle, tekniske løsninger

Det finnes flere metoder som kan være aktuelle for å sammenligne naturbaserte versus tradisjonelle, tekniske løsninger. Man kunne tenke seg både kostnadseffektivitetsanalyser og nytte-kostnadsanalyser, samt forenklede analyser som tar for seg visse aspekter ved løsningen.

Kostnadseffektivitetsanalyser (KEA) benyttes ofte for å vurdere hvilke tiltak som til lavest kostnad oppfyller en gitt målsetting, for eksempel kostnader per tonn redusert utslipp av karbondioksid, eller kostnad i kroner per håndtert kubikkmeter flom eller overvann. Denne metodikken er mye benyttet, men gir i utgangspunktet ikke mulighet til å vurdere tilleggsnyten. Metodikken gir kun informasjon om kostnader i form av kroner per redusert/tilbakeholdt mengde vann; for eksempel kroner per kubikkmeter tilbakeholdt overvann.

Man kan imidlertid benytte KEA med vurdering av tilleggseffekter (kr/m³ vann tilbakeholdt + nevne viktigste tilleggseffekter i form av økosystemtjenester (positive og negative)). Denne tilnærmingen ble mye benyttet i de tiltaksanalysene som ble gjennomført for redusert vann- og luftforurensning i regi av Miljødirektoratet (den gang Statens forurensningstilsyn) på slutten av 1980- og 90-tallet. Da snakket man ikke om økosystemtjenester, men karakteriserte tilleggseffekter på andre måter.

Man kan også gjennomføre nytte-kostnadsanalyser (NKA) – der tilleggsnytte inngår som del av nyttevirkningene (eller eventuelt kostnadsvirkningene). Også i dette tilfellet kan man benytte økosystemtjenestetilnærmingen for å få fram tilleggseffektene. NKA kan inkludere både prissatte og ikke-prissatte virkninger. Det er viktig å få med *alle* virkninger, og slik sett er denne analysemetoden godt egnet for å vurdere løsningene. Denne tilnærmingen ble benyttet for å vurdere overvannstiltak (Magnussen et al. 2015).

Andre typer analyser kan også benyttes. En interessant tilnærming ble benyttet i en rapport utgitt av The Royal Society i Storbritannia (The Royal Society 2014) for å vurdere ulike naturbaserte løsninger versus tradisjonelle løsninger. Denne tilnærmingen er vist i figur 5.1 – 5.4 nedenfor. Tilnærmingen vurderer tiltakenes effektivitet og kostnader, samt hvor store tilleggseffekter de gir. Dette gir et enkelt bilde av ulike løsninger.

5.3. Vi trenger både naturbaserte og tekniske løsninger for klimatilpasning

Verken tekniske eller naturbaserte løsninger er alltid best eller billigste

Det er få norske analyser som sammenligner naturbaserte og tradisjonelle (tekniske) løsninger når det gjelder effekter og kostnader.

Magnussen et al. (2015) gjør en slik sammenstilling for overvannstiltak i urbane områder. Konklusjonen deres er at det ikke er ett svar på hvilken type løsning som er best. Det kommer an på en rekke forhold både med problemet, hvilken infrastruktur som finnes fra før, osv. For andre klimautfordringer og løsninger, foreligger ikke lignende analyser for norske forhold, verken i form av kostnadseffektivitetsanalyser eller andre former for samfunnsøkonomiske analyser. Det som finnes, er stort sett rapporter som vurderer virkninger (og i noen grad økonomiske forhold) for utvalgte løsninger slik som grønne tak, regnbed osv.; altså hovedsakelig overvannstiltak.

Gjennomgangen i kapittel 3 har vist at effekten og kostnadene ved naturbaserte løsninger ofte oppgis å variere, avhengig av blant annet lokale forhold. Konklusjonen fra Magnussen et al. (2015) kan derfor se ut til å stemme mer generelt.

I litteraturen er det ofte to ulike innganger til å vurdere naturbaserte løsninger på klimautfordringene, som gjør at det kan være vanskelig å sammenligne tiltak. Når man innen teknisk sektor for eksempel skal komme fram til egnede overvannstiltak, går man inn for å finne fram til de mest kostnadseffektive tiltakene for å løse nettopp overvannsproblematikken. Fokus er på å identifisere hvilke(t) tiltak som gir best mulig effekt for å løse dette ene problemet.

Tilnærmingen fra «naturesiden» har i større grad vært å vurdere hvilke klimatilpasningseffekter ulike naturtyper gir. Fokus er å få fram hvilke positive effekter en spesifikk naturtype gir for flere klimautfordringer (og andre miljøvirkninger).

Disse ulike ståstedene gjør det til dels vanskelig å sammenligne effekter og kostnader av tiltak på tvers av litteraturen.

Lokale forhold er ofte avgjørende for om naturbaserte eller tekniske løsninger er best og billigst

I rapporten for Overvannsutvalget konkluderte Magnussen et al. (2015) med at ulike tiltak kan ha ulik effektivitet og ulike kostnader ved gjennomføring ulike steder i landet, på grunn av ulike naturgitte forhold. Denne vurderingen gjaldt strengt tatt bare tiltak mot overvannsproblemer, men når vi går gjennom tabellene med tiltak i kapittel 3, er det grunn til å anta at det stemmer ganske bra også for tiltak mot andre klimautfordringer.

Eksempel på sammenligning av naturbaserte og tekniske løsninger

The Royal Society (2014) beskriver ulike løsninger for å bygge et mer motstandskraftig samfunn mot klimaendringer. De klimautfordringene (kalt ekstremhendelser i rapporten) som omtales er hetebølger, kystflommer, tørke og elveflommer. De gjennomførte en analyse av effektiviteten, kostnadene, kunnskapsnivået og andre tilleggseffekter for ulike løsninger. Løsningene som vurderes, karakteriseres som enten: i) ingeniørmessige, dvs. bruk av konstruert infrastruktur (det vi har kalt *tradisjonelle, tekniske løsninger*), ii) økosystembasert (bruk av naturlig infrastruktur og prosesser, det vi har kalt *naturbaserte løsninger*), og iii) hybrider (dvs. bruk av både konstruerte og naturlige elementer, det vi har kalt kombinasjonsløsninger eller hybridløsninger).

The Royal Society viser at det er mye informasjon om ulike løsninger for å redusere virkningene av klimautfordringer og unngå katastrofer, men mye er ikke direkte sammenlignbart. For å muliggjøre noen grove sammenligninger, utviklet de figurene som er vist nedenfor. Disse er utarbeidet basert på en kombinasjon av relevant forskningslitteratur og ekspertvurderinger i regi av The Royal Society. Løsninger ble vurdert og gitt poeng for sin effekt på en ekstremhendelse. De løsningene som brukes for å unngå virkninger av flere ekstremhendelser, ble ikke inkludert.

Figurene sammenligner effektiviteten av hver løsning (inkludert både størrelsen på hendelsen der løsningen kan være effektiv og den romlige skala der den er effektiv) versus kostnader (affordability) basert på en kombinasjon av både etablerings- og langtidskostnader (til 2050) ved tiltaket.

Figurene viser også en vurdering av kunnskapsstatus når det gjelder kostnadseffektivitet av hver løsning og en vurdering av tilleggseffekter av løsningen for noen nøkkelfaktorer utover det som er målet med løsningen. Disse faktorene er: tilgang til mat, tilgang til vann, tilgang til livsopphold, biologisk mangfold, avbøtende tiltak mot klimaendring og beskyttelse mot andre naturkatastrofer. Poengene ble gitt med hensyn til om sumvirkningen av tiltaket ville være positiv, nøytral eller negativ.

Resultatene av analysen for henholdsvis hetebølger («heatwaves»), kystflommer («coastal flooding»), tørke («drought») og elveflommer («river flooding») er vist i figur 5.1 – 5.4.

Hensikten med analysen var å trekke ut grove/brede anbefalinger om hva man bør vurdere når man skal velge klimatilpasningsløsning. Figurene er indikative og kan ikke brukes til å avgjøre hvilken løsning som bør velges. Dette er fordi figuren tar i betraktning individuelle hendelser isolert, en poengscore er brukt for å vurdere løsninger som varierer avhengig av sammenheng, eller kan bli implementert på mange måter. Mulige virkninger av dårlig utførelse er ikke vurdert, og alle mulige løsninger er ikke inkludert, heller ikke alle mulige tilleggsvirkninger. Beslutninger om hvilken løsning som bør velges må ta i betraktning den spesifikke konteksten så vel som kostnader og effektivitet, ifølge The Royal Society (2014).

Figur 5.1: Effekter av ulike løsninger utarbeidet for å redusere virkningene av hetebølger. Figuren viser løsningskategori (category of option), faglig kunnskap (strength of evidence) og tilleggseffekter (additional consequences).

Kilde: The Royal Society (2014).



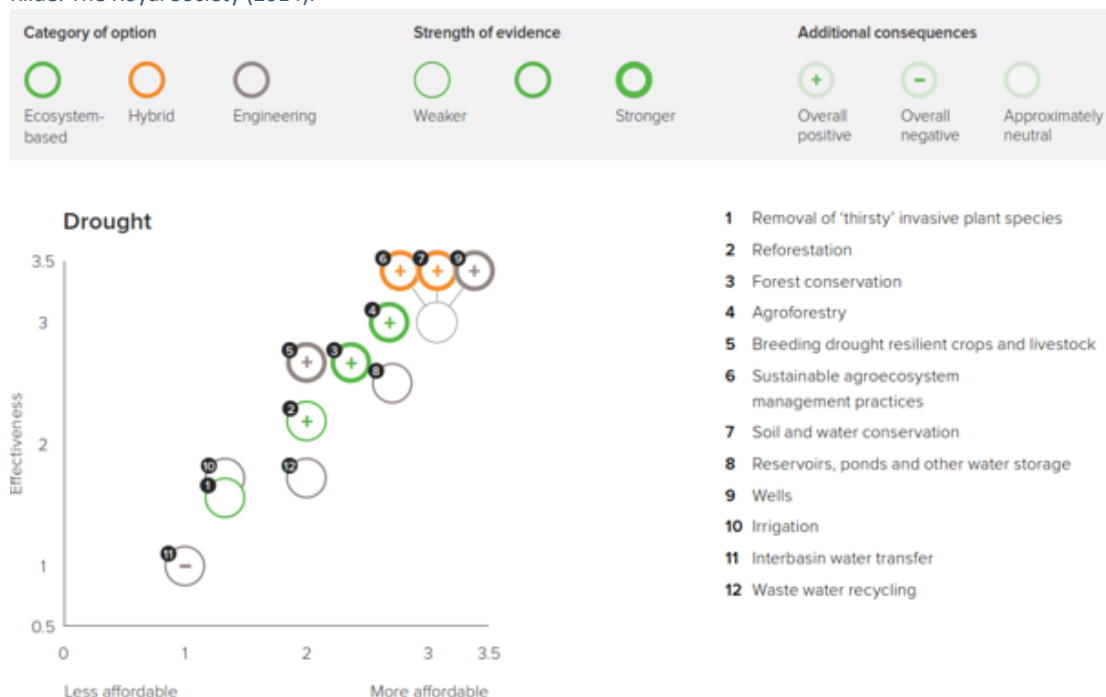
Figur 5.2: Effekter av ulike løsninger utarbeidet for å redusere virkningene av kystflom. Figuren viser løsningskategori (category of option), faglig kunnskap (strength of evidence) og tilleggseffekter (additional consequences).

Kilde: The Royal Society (2014).



Figur 5.3: Effekter av ulike løsninger utarbeidet for å redusere virkningene av tørke. Figuren viser løsningskategori (category of option), faglig kunnskap (strength of evidence) og tilleggseffekter (additional consequences).

Kilde: The Royal Society (2014).



Figur 5.4: Effekter av ulike løsninger utarbeidet for å redusere virkningene av elveflom. Figuren viser løsningskategori (category of option), faglig kunnskap (strength of evidence) og tilleggseffekter (additional consequences).

Kilde: The Royal Society (2014).



5.4. Oppsummering og konklusjoner: Vi trenger både naturbaserte og tekniske løsninger for klimatilpasning

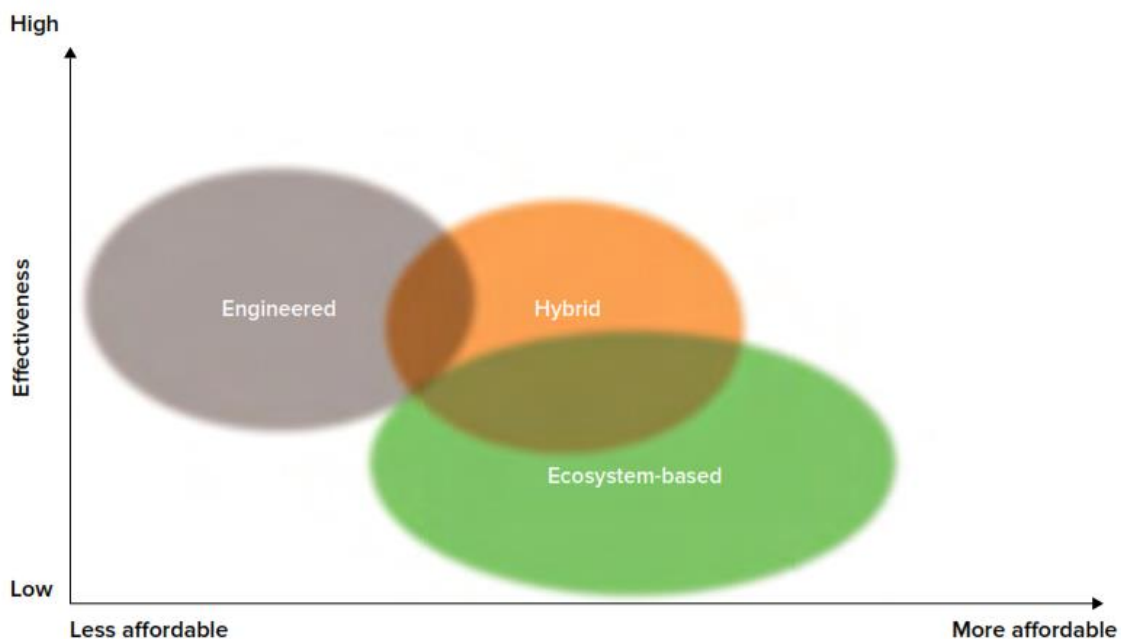
- Klimautfordringene har mange kostnader, og tiltak mot klimautfordringene har mange kostnads- og nytteeffekter. Vi har bare sett på noen av disse i denne rapporten.
- Vurdering av tilgjengelig beregninger av samfunnsøkonomiske tiltakskostnader viser at valg mellom naturbaserte og tradisjonelle, tekniske tiltak må gjøres lokalt. Hva som er samfunnsøkonomisk mest lønnsomt avhenger av mange forhold, deriblant lokale forhold.
- Ofte vil det være nødvendig og ønskelig med en kombinasjon av tiltak.
- Naturbaserte løsninger kan gi tilleggseffekter i form av økosystemtjenester som gir bedre bomiljø, bedre rekreasjon, estetikk etc., i tillegg til å håndtere en spesifikk klimautfordring.
- Tradisjonelle tekniske løsninger er ofte mest effektive for å redusere virkningen av en bestemt klimautfordring. De er imidlertid generelt dyrere, særlig ved etablering, og har færre positive tilleggseffekter. Kunnskapsgrunnlaget for disse løsningene er godt.
- Naturbaserte løsninger er generelt billigere, særlig ved etablering, og har positive tilleggseffekter, men er ofte ikke så effektive som andre løsninger for å redusere virkningen av en spesifikk klimautfordring. Kunnskapsgrunnlaget for disse løsningene er generelt dårligere, og det er dermed større usikkerhet om deres effektivitet.
- Kombinasjonsløsninger (også kalt hybridløsninger) tenderer til å være i midten av tradisjonelle og naturbaserte løsninger når det gjelder kostnader og effektivitet, men har ofte positive tilleggseffekter. Kunnskapsgrunnlaget for disse løsningene varierer, men er generelt bedre enn for naturbaserte løsninger.

Disse generelle betraktningene er oppsummert i figur 5.5 nedenfor, som indikerer effektivitet og kostnader for ulike typer løsninger.

Selv om vi ikke har kunnet gå like grundig inn i alle tiltakene som er vurdert i denne rapporten, kan dette også stå som en tentativ konklusjon for vår vurdering av ulike typer løsninger. Som sagt ovenfor, må man imidlertid ikke bruke denne figuren til å konkludere om enkelttiltak, da både kostnader og effektivitet vil variere mye mellom tiltak og ikke minst med de lokale forholdene der tiltakene skal anvendes.

Figur 5.5: Oversikt over effektivitet og kostnader for ulike typer tiltak. Figuren viser effekt (Effectiveness) og kostnade (affordability) for henholdsvis naturbaserte løsninger (Ecosystem-based), tekniske løsninger (Engineered) og kombinasjonsløsninger (Hybrid).

Kilde: The Royal Society (2014).



6. Referanser

Aarrestad, P., Bendiksen, E., Bjerke, J., Brandrud, T., Hofgaard, A., Rusch, G., & Stabbetorp, O. (2013). Effekter av treslagsskifte, treplanting og nitrogen gjødsling i skog på biologisk mangfold - kunnskapsgrunnlag for å vurdere skogtiltak i klimasammenheng. NINA, NINA rapport 959.

Aarrestad, P., Bjerke, J., Follestad, A., J.U., J., Nybø, S., Rusch, G., & Schartau, A. (2015). Naturtyper i klimatilpasningsarbeid. Effekter av klimaendringer og klimatilpasningsarbeid på naturmangfold og økosystemtjenester. Trondheim: NINA Rapport 1157.

Banach, A., Sundström, s., Ekelund, B., Sjöström, J., Assargård, H., & Becken, G. (u.d.). Gestaltning av Dagvatten - Exempel och framgångsfaktorer. Sweco.

Barbier, E.B., S.D.Hacker et al. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological Monographs 81, 169-193.

Blankenberg, A.G-B og Grønsten, H.A (2014). Vegetasjonsdekke som tiltak mot tap av jord og fosfor. TEMA. Bioforsk, Ås, pp. 1-4.

Bijns-gebouw, A. (u.d.). The Polders of Kruibeke and its flood control area (FCA).

Braskerud, B. (2014). grønne tak og styrtregn - Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmeltning i Oslo. NVE.

Braskerud, B., & Myrabø, S. (2013). Kvistdammer - flomdempring sedimentsamling og stabilisering i små nedbørfelt, Faktaark versjon 1.0. Exflood.

Braskerud, B., Kihlgren, K., & Saksæther, V. B. (2012). Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD-tiltak i småhusbegyggelse. Exflood.

Braskerud, NVE, & Paus. (u.d.). Regnbed - flomdemping i små urbane nedbørfelt.

Bullock, A. og M. Acreman (2003). The role of wetlands in the hydrological cycle. Hydrology and Earth System Science 7(3) 758-789. <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/7/358/2003/hess-7-358-2003.pdf>

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016). Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN. xiii + 97pp.
URL: <https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/2016-036.pdf>

COWI (2013). På lag med regnet - Veileder for lokal overvannshåndtering. COWI.

COWI (2017). Kost/nytteanalyse av tiltak ved ekstrem nedbør, havnivåstigning, stormflo, strøm- og bølgepåvirkning. COWI M207/2017.

EEA (2015a). Exploring nature-based solutions - The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate change-related natural hazards. Copenhagen: EEA technical report No. 12/2015.

EEA (2015b). Water-retention potential of Europe's forests - A European overview to support natural water-retention measures. Luxembourg: EEA, No 13/2015.

Europakommisjonen (2015). Towards an EU Research and innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Natururing Cities - Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on "Nature- Based Solutions and Re-Naturing Cities". Europakommisjonen.

Fylkesmannen i Vest-Agder. (u.d.). Kantvegetasjon langs vassdrag!

Henriksen, J. (2013). Nytte-kostnadsanalyse av grønne tak. Masteroppgave Universitetet for Miljø- og biovitenskap.

Hopland, A., Traae, E., & Myrabø, S. (2016). Eksempel på dreneringstiltak i små nedbørsfelt - Naturfareprosjektet Delprosjekt 5 Flom og vann på avveie. NVE, Rapport nr 26-2016.

Kabisch, N., Stabler, J., Korn, H., & Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaption in urban areas. BfN.

Kongsbakk, E. og A. Skrindo (2009). E10 Lofotens fastlandsforbindelse. Landskapstilpasning og naturlig revegetering fra stedlige toppmasser. Rapport 2006/12. Statens vegvesen Utbyggingsavdelingen.

Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I., & Reinvang, R. (2015). Kostnader og nytte ved overvannstiltak. Vista analyse, Rapport nummer 2015/2.

Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet. (2016). Plan for restaurering av våtmark i Norge (2016-2020). . Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet, M-644.

Multiconsult (2017). Kartlegging av 11 kommuners arbeid med klimatilpasning. M-647. Analyse & Strategi og Multiconsult.

Nesshöver, C., T. Assmuth, K.N. Irvine, G.M. Rusch et al. (2017). The science, policy and practice of Nature-Based Solutions. An Interdisciplinary perspective. The Journal of the Total Environment 579, 1215-1227.

NGI (2013, rev. 2015). Forslag til kriterier for verneskog mot skred. NGI, inngår som del av NVE (2015).

Norsk Vann (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport n. 162.

NVE (2015). Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet. NVE, Rapportnr. 92/2015.

Rambøll (2015). Utredning om tilpasning til havvandsstigninger. København: Rambøll.

Rusch, G. M. (2012). Klima og økosystemtjenester. Norske økosys-temers potensial for avbøting av og tilpasning til klimaendringer. Trondheim: NINA Rapport 792.

Spalding, M., Ruffo, S., Lacambra, C., Maliane, I. Hale, L. Z., Shepard, C., & Beck, M. (2014). The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. Ocean & Coastal Management .

The Royal Society (2014). Resilience to extreme weather. The Royal Society Science Policy Centre report 02/14. London, UK.

U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft. Hentet fra <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

Øygarden, L. og M. Bechmann (2017). Synergier av miljøtiltak i jordbruket – Klimagassutslipp, klimatilpasning, vannforvaltning og luftforurensning i norsk jordbruk. NIBIO-rapport Vol 3. Nr. 51. Norsk institutt for bioøkonomi.

Åstebøl, S. O., Robba, S., Stenvik, G., Kristoffersen, H. V., & Olsen, S. B. (2013). På lag med regnet - Veileder for lokal overvannshåndtering. COWI.

Vedlegg 1: Kostnads- og effektberegninger for overvannstiltak

Tabell V1 -1: Oversikt over investeringskostnader og driftskostnader ved naturbaserte overvannstiltak. Kilde: Magnussen et al. 2015, tabell 2.7 s. 38¹²

Overvannstiltak	Investeringskostnad	Driftskostnader	Levetid
Frakobling av takrenner	Lav	Lav	100 år
Grønne tak*			
- Ekstensiv tak (ekstrakostnader sammenlignet med et vanlig tak)	400-600 kr/m ² ¹³	2-10 kr/m ² og år ¹⁴	50 år
Grønne vegger	4000 kr/m ² ¹⁵	200 kr/m ² ¹⁶	50 år
Infiltrasjonstiltak:			40 år
- Infiltrasjonsgrøft	900 kr/m ²	10kr/m ²	
- Regnbed	1400 kr/m ²	15kr/m ²	
- Infiltrasjonsbasseng	500 kr/m ²	5 kr/m ²	
- Filterbasseng	90 kr/m ²	10 kr/m ²	
Fordrøyningsstiltak:			40 år
- Åpent, tørt fordrøyningsbasseng	2100 kr/m ²	20 kr/m ³	
- Overvannsdam	1300 kr/m ²	35 kr/m ²	
- Våtmark	1400 kr/m ²	35 kr/m ²	
Permeable flater*		10-20 kr/m ²	40 år
-Gress	50 kr/m ²		
-Grus-	80-100 kr/m ²		
-Betongheller	350-600 kr/m ²		
-Armert gress med betongheller	350-500 kr/m ²		
-Armert gress med gatesten	800-1000 kr/m ²		
-Gatesten	800-1000 kr/m ²		

Tabell V1-2: Beregnet effekt (håndtert overvann) og kost/effekt for ulike overvannstiltak. Kilde: Magnussen et al. (2015) tabell 2.9 og 2.10

Overvannstiltak	Effekt [m ³] per 10.000 m ²	Effekt [m ³] per 500 m ²	Kost/effekt [Kr/m ³] 10.000 m ²	Kost/effekt [Kr/m ³] 500 m ²	Funksjon
Tradisjonelle overvannstiltak					
Separering av private stikkledninger					
- Ledningslengde 10 m	138	7	300-1500	6500-30 000	Transport
- Ledningslengde 50 m	138	7	1700-7600	33 000-149 000	Transport
Oppdimensjonering av eksisterende overvannsledninger					
- Ledningslengde 50 m	138	7	1700-4100	33 000-81 000	Transport
- Ledningslengde 1000 m	138	7	33 000-82 000	652 000-1 614 000	Transport

¹² I beregningene er det tatt utgangspunkt i nedbørsdata fra Sandnes kommune og resultater fra (COWI, 2013). Dimensjonerende nedbørhyppighet lik 20 år, varigheten lik 10 minutter. Dette gir en nedbørintensitet på 191,1 l/s*ha. Klimafaktoren settes lik 1,2, som gir en dimensjonerende nedbørintensitet på 229,32 l/s*ha. Ved et nedbørtilfelle med varighet 10 minutter gir dette en avrenning på 0,0138 m³/m². Avrenningsarealet er antatt å være tett, hvilket gir en avrenningskoeffisient på 1.

¹³ www.tiltakskatalog.no/e-1-7.htm

¹⁴ www.tiltakskatalog.no/e-1-7.htm

¹⁵ www.tiltakskatalog.no/e-1-6.htm

¹⁶ www.tiltakskatalog.no/e-1-6.htm

Separering av kommunale fellesledninger	138	7	1660-33 000	33 000-149 000	Transport
- Ledningslengde 50 m	138	7	33 000-151 000	652 000-2 988 000	Transport
Lukket fordrøyningsbasseng					
- Betongrør	138	7	5500-12 500	5 500-12 500	Fordrøyning
- Støpte basseng	138	7	8100-9500	8 100-9 500	Fordrøyning
- GUP-rør	138	7	2900-5800	2 900-5 800	Fordrøyning
Lokale overvannstiltak (naturbaserte)					
Frakobling av takrenner	138	7	Høy	Høy	Reduksjon transportmengde
Grønne tak					
- Ekstensive tak	5	1	120 000**	60 000**	Infiltrasjon
Infiltrasjonstiltak:					
- Infiltrasjonsgrøft	138	7	5 350	5 350	Infiltrasjon
- Regnbed	138	7	8 300	8 300	Infiltrasjon
- Infiltrasjonsbasseng	138	7	2 900	2 900	Infiltrasjon
- Filterbasseng	138	7	5 600	5 600	Infiltrasjon
Fordrøyningstiltak:					
- Åpent, tørt fordrøyningsbasseng	138	7	2 300	2 300	Fordrøyning
- Overvannsdam	138	7	42 000	42 000	Fordrøyning
- Våtmark	138	7	43 500	43 500	Fordrøyning
Permeable flater					
-Gress	110	6	31 000	29 000	Infiltrasjon
-Grus	110	6	35 000	32 000	Infiltrasjon
-Betongheller	28	1	270 000	377 000	Infiltrasjon
-Armert gress med betongheller	28	1	252 000	353 000	Infiltrasjon
-Armert gress med gatesten	28	1	415 000	581 000	Infiltrasjon
-Gatesten	28	1	415 000	581 000	Infiltrasjon

