



**KLIMA
2050**

RAPPORT

Nr. 27 – 2021

KLIMA-RESILIENT INFRASTRUKTUR

Ivan Depina og Knut Øien





KLIMA 2050

Klima 2050 Report No 27
Ivan Depina (SINTEF) og Knut Øien (SINTEF)
Klima-resilient infrastruktur

Keywords: Klima, resiliens, grønt skifte, kritisk, infrastruktur
ISBN: 978-82-536-1709-1
Illustration front cover and page 3: www.pixabay.com
Publisher: SINTEF Community, Høgskoleringen 7 b, PO Box 4760 Sluppen, N-7465 Trondheim

www.klima2050.no



Forord

Denne rapporten omhandler utvikling av nye og praktiske resiliensindikatorer for å støtte grønt skifte av kritisk infrastruktur i et klima i endring

Klima 2050 – Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø er et senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) finansiert av Norges forskningsråd og partnerne i konsortiet. SFI-statusen muliggjør langsiktig forskning i nært samarbeid med privat og offentlig sektor, samt med andre forskningspartnere som har som mål å styrke Norges innovasjons- og konkurranseevne innen klimatilpasning. Sammensetningen av konsortiet er viktig for å kunne redusere samfunnsrisikoen forbundet med klimaendringer.

Senteret vil styrke bedriftenes innovasjonskapasitet gjennom fokus på langsiktig forskning. Det er også et klart mål å legge til rette for tett samarbeid mellom FoU-aktive bedrifter og fremtredende forskningsgrupper. Det blir lagt vekt på utvikling av fuktbestandige bygninger, overvannshåndtering, blågrønne løsninger, tiltak for forebygging av vannutløste skrev, sosioøkonomiske insentiver og beslutningsprosesser. Både ekstremvær og gradvise endringer i klimaet blir adressert.

Vertsinstitusjonen for SFI Klima 2050 er SINTEF Community, og senteret ledes i samarbeid med NTNU. De andre forskningspartnerne er Handelshøyskolen BI, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Norsk meteorologisk institutt (MET Norge).

Industripartnerne representerer viktige deler av norsk byggenæring; rådgivere, entreprenører og produsenter av byggevarer og teknologi: Skanska Norge, Multiconsult AS, Mesterhus, Norgeshus AS, Leca Norge AS, Isola AS og Skjæveland Gruppen AS. Senteret inkluderer også viktige offentlige byggherrer og eiendomsutviklere: Statsbygg, Statens vegvesen, Jernbanedirektoratet og Avinor AS. Sentrale aktører er også Trondheim kommune, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Finans Norge.

Trondheim, juni 2021

Berit Time
Centre Director/Senterleder
SINTEF Community

Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer arbeidet i prosjektet Climate-RESilient infrastructure (CRES) – "from fail-safe to safe-to-fail". Det overordnede målet med prosjektet har vært å utvikle nye og praktiske resiliensindikatorer for å støtte grønt skifte av kritisk infrastruktur i et klima i endring.

Dette er demonstrert med bruk av metoden CIRAM (Critical Infrastructure Resilience Assessment Method), hvor klimatilpasningsarbeidet til eksempelvis i en kommune kan måles og følges opp med resiliensindikatorer. Selve indikatorene må velges og tilpasses av den enkelte kommune. Videre er det beskrevet hvordan resiliens er knyttet til det grønne skiftet, spesielt innenfor byggenæringen.

Prosjektet inngår i det strategiske konserninitiativet om samfunnssikkerhet i SINTEF, og finansieres gjennom ekstra grunnbevilgninger gitt av Forskningsrådet i 2020, og er en del av SINTEFs egeninnsats i Klima 2050

Innhold

FORORD	5
SAMMENDRAG	6
1 INTRODUKSJON	8
2 INFRASTRUKTURRESILIENS	10
3 METODE FOR RESILIENSVURDERING AV KRITISK INFRASTRUKTUR (CIRAM)	13
3.1 BEGREPET RESILIENS	13
3.2 ANVENDELSE AV CIRAM I ARBEIDET MED KLIMATILPASNING	14
3.3 CIRAM OG RELASJON TIL BEGREPER SOM RISIKO OG SÅRBARHET	25
4 RESILIENS OG DET GRØNNE SKIFTET	27
4.1 INTRODUKSJON.....	27
4.2 DET GRØNNE SKIFTET INNENFOR BYGGENÆRINGEN	27
4.3 OPPSUMMERING AV DET GRØNNE SKIFTET INNENFOR BYGGENÆRINGEN	30
5 VEIEN VIDERE	31
REFERANSER	32

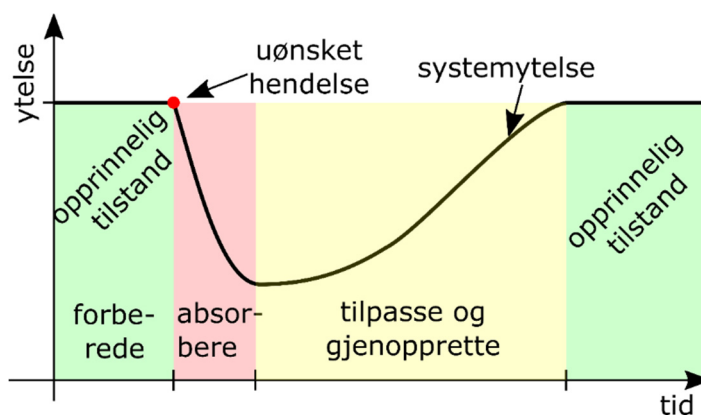
1 Introduksjon

Både som enkeltpersoner og samfunn er vi avhengige av tilgang til strøm, transport, kommunikasjon, vann og boliger. En stor del av infrastrukturen som gir tilgang til disse tjenestene (f.eks. veier, kraftnett og vannledninger) betraktes som kritisk infrastruktur. Klimaendringer er en dynamisk prosess som vil påvirke denne infrastrukturen gjennom mer ekstreme værhendelser (hyppigere og mere nedbør, stormer, havnivå-stigning, økte temperaturer, osv.). Slike hendelser medfører ekstra belastning på kritiske infrastruktur-systemer, ettersom de ofte overskrider designkriteriene som noen av de eksisterende infrastrukturene ble designet for.

Både forskere og beslutningstakere erkjenner behovet for å gjennomføre klimatilpasningstiltak rettet mot kritisk infrastruktur, samtidig med klimagassreduksjon. Begge deler bidrar til klimaomstilling og det grønne skiftet. Følgende er hentet fra Meldingen til Stortinget (Det Kongelige Miljøverndepartement, 2013): "*Store deler av infrastrukturen omtales som kritisk infrastruktur, og samfunnet stiller store ressurser til rådighet for å sikre at infrastrukturen kan opprettholdes under ulike typer belastninger. Nær sagt all infrastruktur er utsatt for klima og vil utsettes for klimaendringer. Sårbarheten i infrastruktur og bygninger har stor betydning for hvordan samfunnet berøres av klimaendringer.*"

I tillegg til å fremheve de forventede negative effektene av klimaendringer, identifiserer uttalelsen også klart behovet for å sikre at infrastrukturen er resilient mot ulike typer påkjenninger. Selv om "resilience" ble nevnt 53 ganger i (den engelske versjonen av) meldingen, ble ikke begrepet definert. Dette indikerer at å definere og kvantifisere resiliens er utfordrende. Generelt omtales et samfunn som oppnår klimamålene i Parisavtalen (UN, 2015) som *klima-nøytralt*, mens et samfunn som lykkes med klimatilpasning (som også inngår i Parisavtalen) omtales som *klima-resilient*. Resiliens er dermed nært knyttet til den delen av klimaomstillingen som handler om klimatilpasning. I dette prosjektet fokuserer vi på utvikling av nye og praktiske resiliens-indikatorer¹ for klimatilpasning som bidrar til det grønne skiftet av kritisk infrastruktur i et klima i endring.

Begrepet resiliens benyttes i en rekke fagområder, og det finnes svært mange forslag til definisjoner både generelt og for kritisk infrastruktur. Det finnes imidlertid ingen omforent definisjon. Innledningsvis vil vi illustrere resiliens ut fra definisjonen "*evnen til å forberede, absorbere, tilpasse seg og gjenopprette fra uønsket hendelse eller endring i forhold*". Dette er illustrert i Figur 1, hvor et infrastrukturensystem opprettholder et visst ytelsesnivå inntil en hendelse (f.eks. ekstremvær som påvirker veinettet) påvirker funksjonaliteten negativt. I tilfelle manglende eller utilstrekkelige forberedelsestiltak, absorberer infrastrukturensystemet belastningen og opprettholder et visst ytelsesnivå (for eksempel er noen veier skadet med redusert trafikkstrøm).



Figur 1: Illustrasjon av resiliens.

Etter absorpsjonen tilpasser systemet seg til den uønskede situasjonen ved å gjennomgå endringer (f.eks. kortsiktige reparasjoner for å tillate sikker trafikk). Til slutt definerer gjenopprettingsfasen tilbakegangen til normal eller forbedret ytelse (f.eks. veirekonstruksjon med mer stabile og sikrere løsninger).

¹ Indikator kan defineres som et forenklet uttrykk av komplekse fenomener og relasjoner i en form som gjør det mulig å tallfeste dem.

Det å benytte resiliens som et tilleggskonsept i utforming og styring av infrastruktur er et skritt fremover fra den eksisterende risikobaserte tilnærmingen. Den eksisterende tilnærmingen kan defineres som et "fail safe"-konsept, der infrastruktur er designet for å ha et visst sikkerhetsnivå mot feil, ofte basert på sikkerhetsfaktorer i designkoder. En slik tilnærming har imidlertid begrensninger fordi den ikke vurderer nøyaktig hva som skjer med systemet hvis det feiler eller mister funksjonsevne. Dette er av spesiell betydning i situasjoner der det kan forventes feil i infrastrukturens systemer på grunn av endrede klimaforhold med påfølgende redusert ytelse og behov for tilpasning og gjenopprettingstiltak. Resiliens-tilnærmingen kan da betraktes som et "safe to fail"-konsept, der feil er forbundet med tap av funksjon/ytelse. Dette medfører at alle involverte i design, utbygging og vedlikehold av kritisk infrastruktur må ta høyde for at feil kan inntreffe med påfølgende tap av funksjon/ytelse og ta beslutninger som minimerer disse tapene og dermed bidrar til bedre bruk av begrensede ressurser.

Hovedhypotesen i prosjektet er at bruk av resiliens som et tilleggskonsept i utforming og drift av infrastruktur vil bidra til det grønne skiftet gjennom klimatilpasning. Dette vil sørge for sikker infrastruktur også ved fremtidige klimaendringer. I tillegg vil med mer optimal bruk av energi og materialer, forbedret utbygging og vedlikehold, og redusert avfall med lavere utslipp bidra til klimagassreduksjon både for ny og for eksisterende infrastruktur. Dette bidrar også til det grønne skiftet.

Denne rapporten oppsummerer arbeidet i det strategisk egenfinansierte prosjektet (SEP-en) *Climate-RESilient infrastructure (CRES) – "from fail-safe to safe-to-fail"*. Prosjektet inngår i det strategiske konserninitiativet om samfunnssikkerhet i SINTEF, og finansieres gjennom ekstra grunnbevilgninger gitt av Forskningsrådet i 2020.

Det overordnede målet med prosjektet har vært å utvikle nye og praktiske resiliensindikatorer for å støtte grønt skifte av kritisk infrastruktur i et klima i endring. Det grønne skiftet, slik det blant annet er beskrevet i EUs Green Deal (EC, 2019), dekker både klimagassreduksjon og klimatilpasning, noe også Parisavtalen gjør (FN, 2015). EUs Green Deal viser også til en ny strategi for klimatilpasning (EC, 2021) med tittel "*Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*". Den nye strategien innleder som følger: "*Climate change is happening today, so we have to build a more resilient tomorrow.*"

Klimatilpasning er også forankret i forslaget til ny europeisk klimalov (EC, 2020a). Dette gjelder særlig artikkel 4 som svar på Parisavtalens artikkel 7 (FN, 2015). Den norske klimaloven (KMD, 2018) viser også til Parisavtalen, men berører i liten grad klimatilpasning (artikkel 7). Kun ifm. årlig redegjørelse for Stortinget (§ 6) vises det til at "*Regjeringen skal, basert på et faglig grunnlag, hvert år overfor Stortinget på egnede vis redegjøre for ... b) hvordan Norge forberedes på og tilpasses klimaendringene ...*". Se ellers en nylig utgitt kronikk om behovet for bedre norsk politikk på klimatilpasning.²

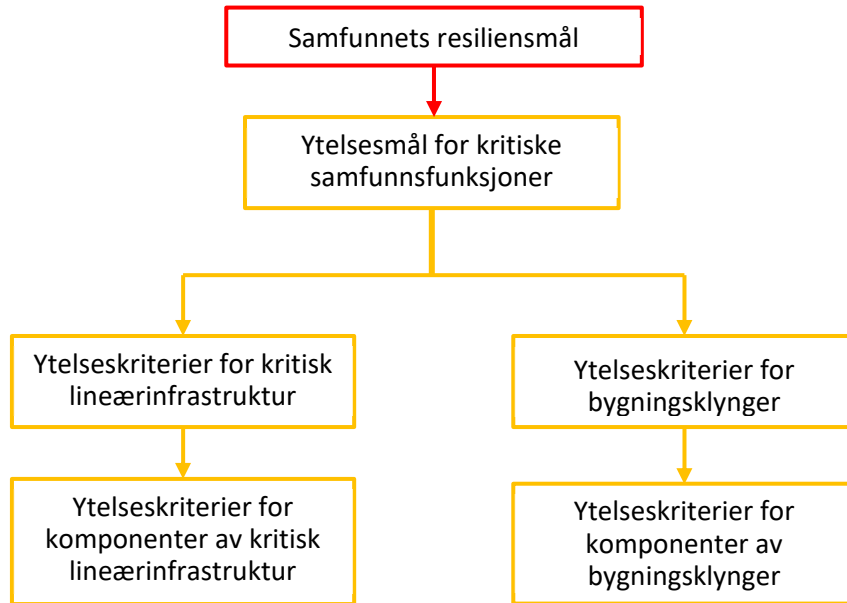
Til slutt vil vi her nevne forslaget til nytt EU-direktiv om resiliens av kritiske enheter (EC, 2020b). Her vises det til at forslaget reflekterer at nasjonale tilnærminger er "*mer og mer informert av resiliens-tenkning, hvor beskyttelse bare er ett element sammen med risikoforebygging og -reduksjon, virksomhetskontinuitet og gjenvinning*".

I neste kapittel beskrives hovedelementer i en resiliens-basert evaluering av infrastruktur i et samfunn. Kapittel 3 viser hvordan metoden CIRAM (Critical Infrastructure Resilience Assessment Method) kan anvendes for resiliensvurdering av kritisk infrastruktur, og da spesielt i forhold til kommuners arbeid med klimatilpasning. I kapittel 4 ser vi på resiliens og det grønne skiftet, spesielt innenfor byggenæringen, før vi avslutter med noen tanker rundt veien videre i kapittel 5.

² <https://forskersonen.no/a/1857970>

2 Infrastrukturens resiliens

Evaluering av infrastrukturens resiliens må reflektere samfunnets ambisjoner og egenskaper, og de større målene knyttet til levedyktighet, bærekraft og resiliens (RRMC, 2019). Figur 2 viser hovedelementer i en resiliens-basert evaluering av infrastruktur i et samfunn (f.eks. by, kommune eller fylke) (RRMC, 2019). Implementering av en resiliens-basert evaluering begynner med definisjon av samfunnets resiliensmål. Samfunnets resiliensmål tar utgangspunkt i kritiske og viktige samfunnsfunksjoner og tilhørende infrastruktur, og kan eksempelvis være å minimere negative effekter av klimaendringer i en kommune (RRMC, 2019).



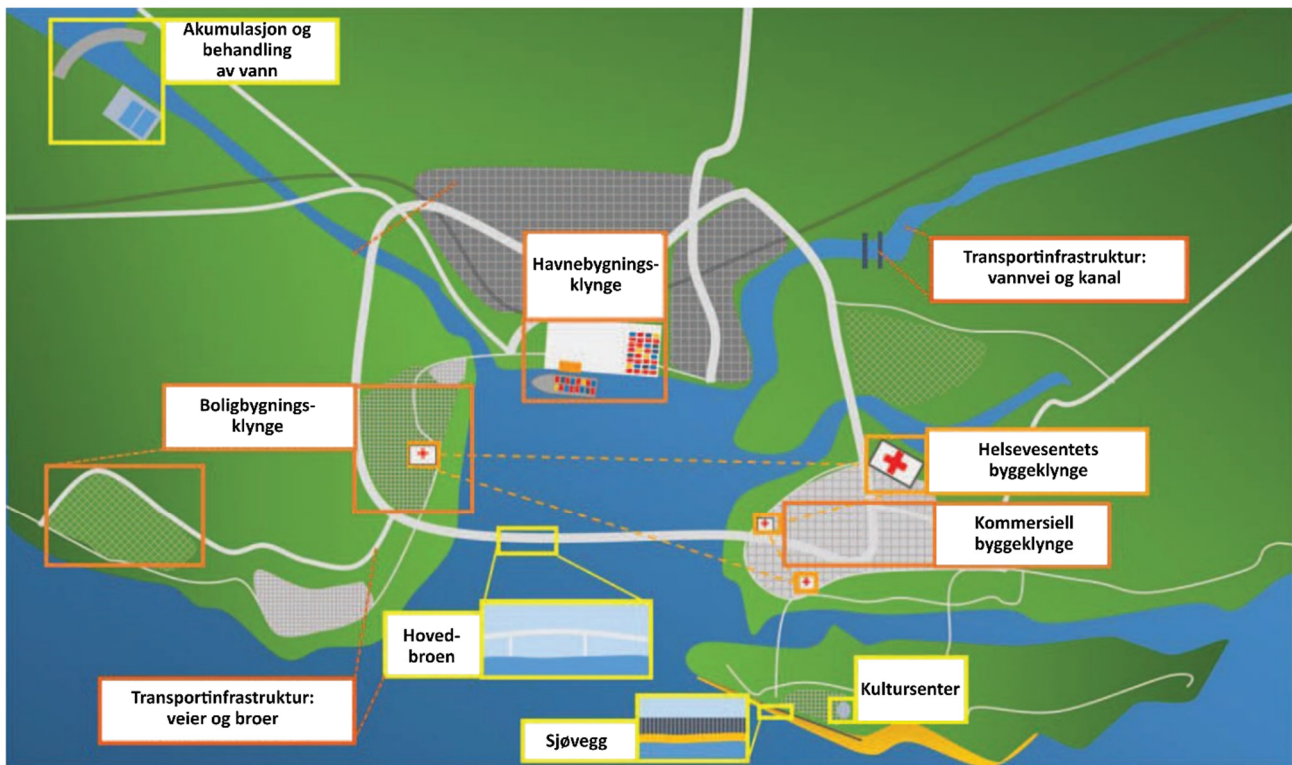
Figur 2: Hovedelementer i en resiliens-basert evaluering av infrastruktur i et samfunn fra RRMC (2019).

Definisjon av samfunnets resiliensmål følges av spesifisering av konkrete ytelsesmål (f.eks. ingen skader i sentrum som følge av en 200 års flom) for å oppnå hovedmålet (RRMC, 2019). Ytelsesmål brukes i neste trinn for å spesifisere ytelseskriterier for den aktuelle infrastrukturen som inkluderer bygninger og lineær infrastruktur³ som veier og rørledninger (RRMC, 2019). Figur 3 viser et tenkt samfunn med eksempler på kritisk og viktig infrastruktur, som veier, bruer, vannforsyning, vannveier og kanaler, individuelle bygninger, industri-, kommersielle- og bygningsklynger, med mere.

Infrastrukturen støtter mange viktige samfunns-elementer som boligområder, kommersielle- og industri-områder, sykehus, havner, med mere. Eksempelvis er et sykehus avhengig av en bygningsklynge samt lineær infrastruktur som vannforsyning, veier og rørledninger. Et lineærinfrastruktur-system kan samtidig understøtte flere bygningsklynger. Eksempelvis at veiene har en viktig funksjon for flere bygningsklynger som bolig-, industri-, og kommersielle områder.

Til slutt bruker man ytelseskriterier for bygningsklynger og lineærinfrastruktur for å spesifisere ytelseskriterier for enkeltbygg og deler av den lineære infrastrukturen (f.eks. en viktig veistrekning eller en bru) (RRMC, 2019).

³ Infrastruktur som strekker seg over større geografiske områder betegnes som lineær infrastruktur. Energiforsyning, telekommunikasjon, transport og vann og avløp betegnes også som samfunnets "livslinjer" ("lifelines").



Figur 3: Illustrasjon av samfunn med tilhørende kritisk og viktig infrastruktur fra RRM (2019).

Utvikling av samfunnets resiliens- og ytelsesmål er basert på de forventede effektene av en farehendelse på de samfunnsfunksjonene og den tilhørende infrastrukturen. Effektene av en farehendelse kan vurderes ut fra følgende tre tilnærminger (RRM, 2019):

- Scenariobasert
- Hendelsesbasert
- Tidsbasert

En scenariobasert utvikling av samfunnets resiliens- og ytelsesmål bruker en eller flere konkrete scenarier for å vurdere effekter av en hendelse på samfunnsviktige funksjoner og infrastruktur (RRM, 2019). Et eksempel på et scenariobasert samfunnsresiliensmål er "mindre enn 12 timers veistenging i tilfelle en naturhendelse (f.eks. jordskred)".

En hendelsesbasert utvikling av samfunnets resiliens- og ytelsesmål bruker en farebeskrivelse basert på et gjennomsnittlig gjentakelsesintervall/returperiode ("mean recurrence interval") (RRM, 2019). Et eksempel på et hendelsesbasert samfunnsresiliensmål er "mindre enn 6 timers veistenging i tilfelle en naturhendelse (f.eks. jordskred) med en returperiode på 50 år".

En tidsbasert utvikling av samfunnets resiliens- og ytelsesmål vurderer den sannsynlige effekten av hendelsen på samfunnsfunksjonene og infrastrukturen over en bestemt periode (f.eks. 10 år eller 100 år) (RRM, 2019). Et eksempel på et tidsbasert samfunnsresiliensmål er "den gjennomsnittlige veistengingstiden på grunn av en naturhendelse (f.eks. jordskred) skal ikke øke mer enn 10% i de neste 50 årene". Et tidsbasert samfunnsresiliensmål er ofte det mest omfattende og inkluderer vanligvis probabilistiske analyser av farehendelser.

Figur 4 viser et eksempel på utvikling av samfunnsresiliensmål, ytelsesmål og ytelseskriterier for lineærinfrastruktur, viktige deler av lineærinfrastruktur, bygningklynger og enkeltbygninger. Hovedsamfunnsresiliens-

målet er å opprettholde samfunnets tilgang til kritiske tjenester etter en farehendelse (f.eks. flom eller jordskred).



Figur 4: Et eksempel på utvikling av samfunnsresiliensmål, ytelsesmål og ytelseskriterier for lineær-infrastruktur, viktige deler av lineærinfrastruktur, bygningsklynger og enkeltbygninger, basert på RRM (2019).

Eksempelvis kan man se på helsetjenester og definere ytelsesmål med en scenariobasert, hendelsesbasert eller en tidsbasert tilnærming. Et scenariobasert ytelsesmål kan for eksempel være "mindre enn 10% reduksjon i helsefunksjoner i samfunnet etter en forhåndsdefinert farehendelse". Et hendelsesbasert ytelsesmål kan for eksempel være "mindre enn 3% gjennomsnittlig reduksjon i funksjonaliteten til beredskapssystemet for en hendelse med et gjennomsnittlig returintervall på 20 år". Et tidsbasert ytelsesmål kan for eksempel være "den gjennomsnittlige responstiden for akutthelsetjenesten vil ikke øke på grunn av naturhendelser med mer enn 20% til enhver tid i løpet av de neste 50 årene".

I det neste trinnet kan man bruke ytelsesmål for å spesifisere ytelseskriterier for lineærinfrastruktursystemer og bygningsklynger (RRM, 2019). Eksempelvis kan et ytelseskriterium for et lineærinfrastruktursystem være "beredskaps-tilgang til alle lokasjoner innen 24 timer etter en større hendelse", og et ytelseskriterium for en bygningsklynge kan spesifiseres som "85% av sykehussenger er tilgjengelige etter en større hendelse".

Disse kriteriene kan spesifiseres nærmere for enkelte bygninger eller infrastrukturelementer. Eksempelvis kan man spesifisere et ytelseskriterium for en bru som "mindre enn 2% sannsynlighet for brostengning i en jordskjelvshendelse med returperiode på 2500 år". Et ytelseskriterium for en bygning kan være å "opprettholde full funksjonalitet av sykehuset gjennom en 200-års flomhendelse".

3 Metode for resiliensvurdering av kritisk infrastruktur (CIRAM)

I dette kapittelet beskriver vi hvordan CIRAM (Critical Infrastructure Resilience Assessment Method) kan anvendes i arbeidet med klimatilpasning. Først beskriver vi kort begrepet resiliens (kap. 3.1), dernest anvendelsen av metoden (kap. 3.2), og til slutt ser vi litt på andre anvendelser av metoden inn mot klimatilpasning, og også hvordan resiliens relaterer seg til begrepene risiko og sårbarhet (kap. 3.3).

3.1 Begrepet resiliens

Begrepet resiliens benyttes innenfor en rekke fagområder, men er utfordrende både fordi ordet resiliens er et fremmedord på norsk, og fordi det ikke er noen enighet om definisjoner og hva man skal forstå med resiliens, verken innenfor det enkelte fagområde eller på tvers av fagområder.

I dokumenter skrevet på engelsk, enten dette er internasjonale eller europeiske lover og føringer som vi må forholde oss til, eller faglitteratur, eller til og med i vanlige media som aviser, benyttes "resilience" med største selvfølgelighet, fordi "folk på gata" i engelskspråklige land forstår ordet "resilience". På norsk, derimot, benytter vi fortsatt i stor grad erstatningsord for resiliens, slik som robusthet, motstandskraft, motstandsdyktighet, seighet, elastisitet, osv., men disse er ikke dekkende for resiliens, de er elementer, attributter eller egenskaper ved resiliens.

Det finnes en rekke definisjoner av resiliens (se f.eks. Francis and Bekera, 2014), hvor ulike egenskaper inngår i definisjonene. Én egenskap som går igjen i de fleste definisjonene er knyttet til gjenoppretting/gjenvinning etter en belastning ("recover" på engelsk), også betegnet som "sprette tilbake" ("bounce back" på engelsk). "Sprette tilbake" (eller gå tilbake til opprinnelig tilstand) er den opprinnelige betydningen av resiliens (Alexander, 2013).

En annen egenskap som går igjen i mange definisjoner av resiliens er tilpasning ("adaptation" på engelsk), noe som er spesielt relevant for klimatilpasning. Begrepet brukes blant annet om resiliente byer ("Resilient Cities") som er et ledende konsept internasjonalt⁴ for bymessig tilpasning til klimaendringer (Papa et al., 2015).

En definisjon av en resilient by er som følger (UNISDR, 2012): *"En resilient by er karakterisert av sin evne til å tåle eller absorbere påvirkning av en fare gjennom motstand eller tilpasning, som gjør det mulig å opprettholde visse grunnleggende funksjoner og strukturer under en krise, og sprette tilbake eller komme seg etter en hendelse."*

I den nye EU-strategien for klimatilpasning (EC, 2021) konkluderes det med at: *"Den nye EU-tilpasningsstrategien legger til rette for en høyere ambisjon om klimaresiliens: I 2050 vil EU være et klimaresilient samfunn, fullt tilpasset de uunngåelige virkningene av klimaendringene. Av denne grunn er tilpasning til klimaendringer en integrert del av det europeiske grønne skiftet (Green Deal) og dets ytre dimensjon, og godt forankret i den foreslåtte europeiske klimaloven."*⁵

Se kapittel 4 for mer om det grønne skiftet.

⁴ Se f.eks. <https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/> og <https://www.rockefellerfoundation.org/100-resilient-cities/>

⁵ Det er antakelig ikke åpenbart for alle at klimatilpasning og klimaresiliens er en integrert del av klimaomstillingen og det grønne skiftet. Mange dokumenter om klimaomstilling nevner ikke, eller nesten ikke, klimatilpasning, selv om dette er veldig tydelig i Parisavtalen (se kap. 1). Eksempelvis den norske klimaloven (KMD, 2018) <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60> og rapporten fra klimaomstillingsutvalget (2020) <https://www.klimaomstillingsutvalget.no/wp-content/uploads/2020/09/Klimaomstillingsutvalgsrapport-2020.pdf>

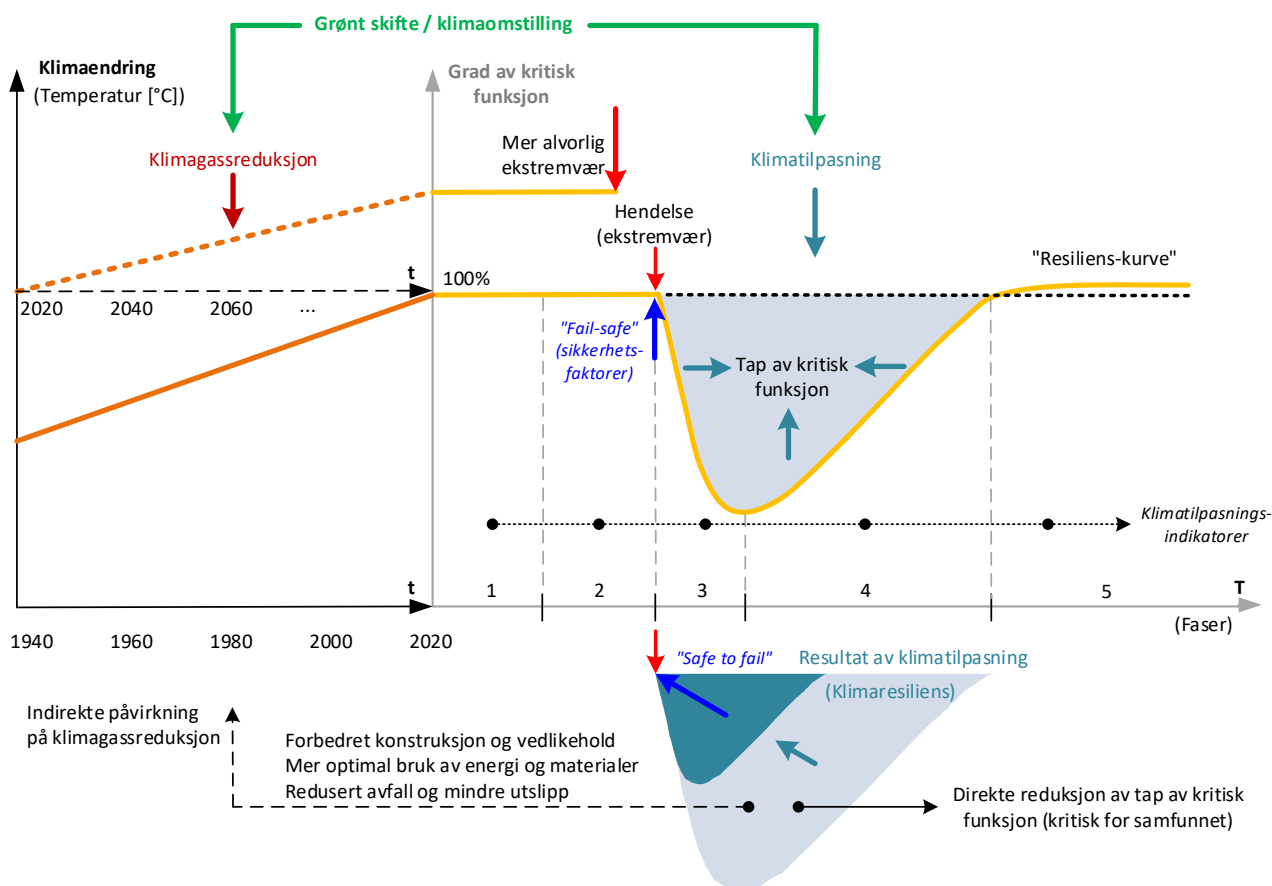
3.2 Anvendelse av CIRAM i arbeidet med klimatilpasning

Her er det beskrevet hvordan metoden for resiliensvurdering – CIRAM (Øien m.fl., 2021) – kan benyttes i arbeidet med klimaresiliens av kritisk infrastruktur, dvs. hvordan kritisk infrastruktur kan gjøres resilient mot ekstremvær som forventes som følge av klimaendringer. Klimaendringene fører med seg temperaturendringer, økt nedbør, større regnflommer, flere skred, økt risiko for tørke, havnivåstigning (og dermed økt risiko for stormflo), med mere (NOU 2010: 10, Meld. St. 33 (2012-2013)).

Grønt skifte og kampen mot klimaendringer gjennom klimaomstilling dekker både klimagassreduksjon og det å tilpasse seg klimaet – *klimatilpasning* – uansett hvordan klimaendringene blir, og er "en kamp på to fronter".

Klimatilpasning defineres av IPCC (2014) som prosessen med å tilpasse seg faktisk eller forventet klima og dets effekter. Dette innebærer tilpasning for å moderere eller unngå skade, eller for å utnytte (positive) muligheter (Menon, 2018).

Menon Economics har sammen med Sweco på oppdrag av Miljødepartementet etablert en metode for måling av klimatilpasning ved hjelp av indikatorer, men de har ikke benyttet en resiliensstilnærming. I beskyttelse mot og håndtering av ekstreme hendelser generelt, inklusive ekstremvær, er det imidlertid internasjonalt blitt vanlig å benytte en resiliensstilnærming (jfr. resiliente byer), noe vi også benytter her (Øien m.fl., 2021). Figur 5 illustrerer resiliensstilnærmingen og også forholdet mellom klimatilpasning (høyre side i Figur 5) og klimagassreduksjon (venstre side i Figur 5) som til sammen utgjør det grønne skiftet / klimaomstillingen.



Figur 5: Resiliensstilnærming til klimatilpasning av kritisk infrastruktur.

Høyre side av Figur 5 viser resilienstilnærmingen, hvor en ekstremværhendelse kan redusere funksjonen til infrastruktur som er kritisk for samfunnet fra nominelt 100%, over kortere eller lengre tid. Dette er illustrert med "resiliens-kurven", som løper gjennom de fem fasene benyttet i CIRAM: 1) Forstå risikoene, 2) Forutse/forberede, 3) Absorbere/motstå, 4) Respondere/gjenvinne, og 5) Tilpasse/lære.⁶ Arealet under kurven angir tap av kritisk funksjon, som kan reduseres gjennom økt resiliens mot ekstremværhendelser.

Det er også illustrert at man ved "normalt" ekstremvær kan benytte designkoder og sikkerhetsfaktorer for bygg og infrastruktur (veier, rørledninger, osv.) som gjør at disse tåler en ekstremværhendelse, dvs. at de er designet *feil-sikker* ("fail-safe") – illustrert ved at blå pil (design-styrke) er større enn rød pil (belastningen fra ekstremværet), jfr. innledningen i kap. 1.

Klimaendringene antas å gi mer ekstremt vær med mer alvorlige (og hyppigere) ekstremværhendelser, indikert med større rød pil som overskrider det som bygg og infrastruktur er designet for, og dermed økt risiko for tap av kritisk funksjon. Man må i større grad være innstilt på at feil-sikkert design ikke er tilstrekkelig under alle ekstremværhendelser, og ta høyde for dette ved å benytte en *sikkert-å-feile* ("safe-to-fail") strategi gjennom å redusere konsekvensene av en hendelse. Dette innebærer å tilpasse seg klimaendringene gjennom økt resiliens og derigjennom redusert "tap av kritisk funksjon"⁷, som illustrert nederst i Figur 5 (og gjennom en større blå pil). Klimaresiliens bidrar til redusert sårbarhet for feil som følge av klimaendringer.

Dette vil i tillegg ha en indirekte påvirkning på det grønne skiftet / klimaomstillingen gjennom klimagassreduksjon, som illustrert til venstre i Figur 5. Dette bidraget kommer fra redusert energiforbruk gjennom mer optimal bruk av energi og materialer, redusert avfall og mindre utslipp, og forbedret konstruksjon og vedlikehold. Klimaomstilling (og venstre side av Figur 5) diskuteres ikke nærmere, men Figur 5 illustrerer at temperaturen forventes å stige fremover i større eller mindre grad avhengig av hvordan vi lykkes i arbeidet med klimagassreduksjon.

Fokus her er *klimatilpasning* uansett hvor godt eller dårlig vi lykkes i kampen mot klimaendringer!

Menon (2018) har foreslått en meny med indikatorforslag⁸ for måling av kommunenes arbeid med klimatilpasning, som vi tar utgangspunkt i, i likhet med hva som er gjort i "indikatorprosjektet" til SINTEF Community ledet av Edvard Sivertsen.⁹ I utgangspunktet har vi gjort tilsvarende avgrensing her hvor kommunene er i fokus (måling av kommunenes klimatilpasningsinnsats), og da særlig klimatilpasning av bebygde og regulerte arealer, bygninger/bygningsmassen, og kommunal infrastruktur begrenset til vei, vann og avløp (selv om ikke alt av dette er definert som kritisk infrastruktur). Underveis har vi utvidet omfanget noe ved å inkludere bl.a. jernbane, strømforsyning og telekom.

Noen hovedforskjeller mellom arbeidet gjort av Menon (2018) og fremgangsmåten beskrevet her, i tillegg til at Menon ikke benytter en resilienstilnærming, er at Menon benytter en *kategorisering av indikatorer* etter type (ikke faser), de *identifiserer indikatorer direkte* uten først å identifisere forhold/faktorer/tema som er viktig å måle på, det angis ikke hvordan resultatene av indikatormålingene *presenteres eller visualiseres*, og det inngår ingen *beregningsmetodikk eller aggregering* av indikatormålinger. Det er også forskjeller i *kriterier* brukt for å bedømme godheten av indikatorene.

⁶ Det finnes mange varianter av faser beskrevet i litteraturen, f.eks. forberede, absorbere, tilpasse og gjenvinne (prepare, absorb, adapt and recover), som delvis overlapper hverandre.

⁷ Dette kan også betegnes som redusert sårbarhet. NOU 2010: 10 *Tilpassing til eit klima i endring. Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane* definerer sårbarhet for klimaendringer som "graden et system er mottakelig for eller er ute av stand til å håndtere negative effekter av klimaendringer".

⁸ Menon (2018) baserer seg på bl.a. EEA 2015; Schönthaler & Andrian-Werburg 2015; Aall et al. 2009, 2012; Aall & Nordland 2003; Amundsen et al. 2010; Solecki et al. 2015, samt intervjuer med Oslo, Bergen og Kristiansand kommuner.

⁹ I "indikatorprosjektet" har indikatorene (inklusive Menons) blitt videreutviklet i samarbeid med noen kommuner.

Kategorisering av indikatorer

Menon (2018) baserer seg på en kategorisering fra EEA (2015), hvor de skiller mellom fire typer indikatorer: *statusindikatorer*, *prosessindikatorer*, *tiltaksindikatorer* og *resultatindikatorer*. Innenfor industriell sikkerhet er de tre første kategoriene normalt slått sammen og betegnet prosessindikatorer. Man skiller altså kun mellom *prosessindikatorer* og *resultatindikatorer*, eller *proaktive* og *reaktive* indikatorer, også betegnet på engelsk som "*leading*" og "*lagging*" indikatorer (Øien, 2011a). Det er også en glidende overgang mellom disse, og det er ikke nødvendigvis hensiktsmessig å operere med dette skillet (Hopkins, 2009). Menon (2018) opererer med svært få resultatindikatorer, og det kan diskuteres om f.eks. resultatindikatoren "*Har klimatilpasningsarbeidet i kommunen blitt evaluert ilt. de fire siste år?*" er en resultatindikator eller en prosessindikator.

Menon (2018) har innført statusindikatorer, som ikke benyttes av EEA (2015), pga. viktigheten av å skaffe seg oversikt over og status på klimautfordringene. Dette korresponderer med fase 1 – forstå risikoene – i CIRAM.

I CIRAM skilles det ikke mellom prosessindikatorer og resultatindikatorer (også her er det i all hovedsak prosessindikatorer), men det skilles mellom hvilken av de fem fasene de tilhører.

Identifisering av indikatorer

Menon (2018) identifiserer indikatorer direkte, enten fra litteraturen eller gjennom intervjuer med kommunene, uten først å vurdere hva som er viktig i arbeidet med klimatilpasning (forhold/faktorer/tema), og deretter vurdere hvordan dette kan måles (indikatorer). I CIRAM gjøres dette i to klart adskilte trinn, først identifiseres de forhold som er viktig innenfor hver fase, og dernest hvordan disse forholdene kan måles vha. indikatorer.¹⁰

Presentering/visualisering av resultater

Menon-rapporten presenterer en meny med indikatorforslag, men viser ikke hvordan resultatene av indikatormålingene skal presenteres eller visualiseres. CIRAM viser hvordan indikatoremålingene kan presenteres både enkeltvis og samlet/aggregert, med bruk av bl.a. trestrukturdiagram (Tree Map).

Beregningsmetodikk og aggregering

Menon-rapporten inneholder ingen beregningsmetodikk eller aggregering av indikatorinformasjon. CIRAM benytter en beregningsmetodikk hvor enhver type indikator (ja/nei-spørsmål, andel, antall, osv.) gjøres om til en skår på en felles skala (0-5). Dernest kan disse aggregeres som sum av vektete skårverdier fra indikatornivå til – i dette tilfellet – kommunenivå (dvs. alle indikatorene en kommune benytter for å måle hvor klimatilpasset den er).

Kriterier

Menon (2018) bedømmer hver av indikatorene ut fra fire kriterier (*tolkbar*, *treffsikker*, *påvirkbar*, og *kostnads-effektiv*). I CIRAM diskuteres en lang rekke kriterier for indikatorer, men konklusjonen er, i likhet med Menon, at ingen indikator er perfekt, dvs. ingen oppfyller alle kriterier. Et kriterium som savnes i Menon-rapporten er *følsomheten* av indikatorene. Eksempelvis vil indikatoren "*Er det utpekt en ansvarlig for klimatilpasningsarbeidet i kommunen?*" være relativt statisk. Dersom svaret første gang er ja, er det lite trolig at denne indikatoren vil endre seg over tid, og det har begrenset verdi å foreta denne målingen.

Det er heller ingen vurdering i Menon-rapporten om hvor *dekkende* indikatorene er for viktige forhold for klimatilpasningen. Ja/nei-spørsmål gir enkeltvis veldig begrenset og lite dekkende informasjon. Vi har derfor samlet ja/nei-spørsmål som dekker samme forhold. Disse kan det så etableres en kombinert indikator for, dersom man går direkte på indikatorer uten å gå veien om forhold først.

¹⁰ Her gjør vi ingen egen identifisering av indikatorer, men tar utgangspunkt i indikatorforslagene til Menon (2018). Vi identifiserer også forhold, men disse baserer seg på en vurdering av hva indikatorene egentlig måler. Kun unntaksvis går vi veien om forhold først. Dette gjelder faser hvor det mangler indikatorer fra Menon (2018), f.eks. for fase 5.

Trinn 1: Velg område

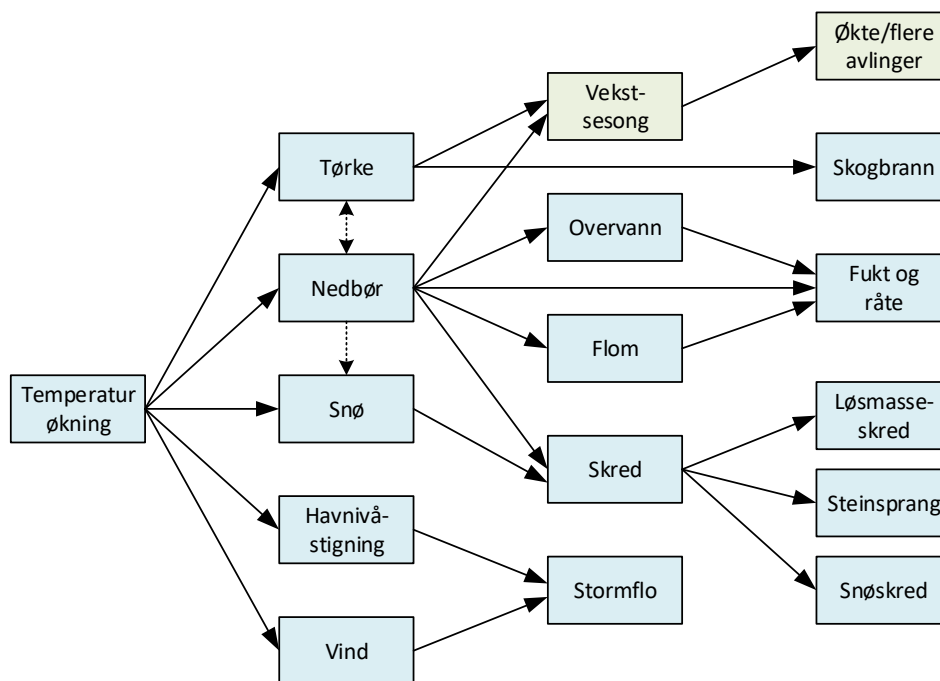
Området er i dette tilfellet en kommune.

Trinn 2: Velg kritiske infrastrukturer (eventuelt kritisk samfunnsfunksjon)

Kommunal infrastruktur begrenset til vei (del av samfunnsfunksjonen transport), og vann og avløp (samfunnsfunksjon). I tillegg inngår bebygde og regulerte arealer, og bygninger/bygningsmassen, selv om dette ikke defineres som kritisk infrastruktur av DSB (2016). I noen grad dekkes også jernbane (del av samfunnsfunksjonen transport), strømforsyning (del av samfunnsfunksjonen kraftforsyning) og telekom (del av samfunnsfunksjonen elektroniske kommunikasjonstjenester).

Trinn 3: Velg aktuelle farer/trusler/hendelser for de kritiske infrastrukturene

Ekstremvær, spesielt hyppigere og mer alvorlig ekstremvær som følge av klimaendringer. Dette kan gi en rekke klimautfordringer. Noen av disse og sammenhengen mellom dem er illustrert i Figur 6. Det meste vil være negative effekter, men det kan være noen positive effekter, som økt vekstsesong og derigjennom økte eller flere avlinger. Aktuelle klimautfordringer må tilpasses den enkelte kommune. Dette kan dekke både akutte hendelser og gradvise endringer slik som havnivåstigning.



Figur 6: Enkelte klimautfordringer og sammenhenger (basert på Menon, 2018).

Trinn 4: Vurder hver fase for hver fare/trussel/hendelse

Klimatilpasning for å kunne beskytte seg mot og håndtere ekstremvær vurderes for hver av fasene. Det som vurderes i hver av fasene er (normalt) hvilke forhold som er viktig for å beskytte seg mot og/eller håndtere ekstremvær (trinn 5), og hvordan disse forholdene kan måles med indikatorer (trinn 6). Her tar vi imidlertid hovedsakelig utgangspunkt i indikatorforslagene til Menon (2018) uten først å identifisere forhold. Dvs. at trinn 5 i liten grad blir benyttet.

Trinn 5: Velg forhold for hver fase

Hvilke forhold er viktig for å håndtere ekstremvær? HVA er viktig? HVA er viktig for å forstå risikoene/klimautfordringene (fase 1), forberede/forutse (fase 2), absorbere/motstå (fase 3), respondere/gjenvinne (fase 4) og tilpasse/lære (fase 5) av ekstremvær?

Tabell 1 viser aktuelle forhold for hver fase, hovedsakelig avledet fra utvalgte indikatorforslag fra Menon (2018).

Tabell 1: Forhold avledet fra utvalgte indikatorforslag fra Menon (2018).

Fase	Forhold
1 Forstå risikoene <i>Gjør virksomheten* nok for å forstå risikoen?</i>	1.1 Kunnskap om klimatilpasningsutfordringer
2 Forberede/forutse <i>Forutser virksomheten* godt nok hva som kan inntreffe, og forbereder den seg godt nok på trusler og andre uønskede hendelser?</i>	2.1 Ansvarliggjøring og involvering 2.2 Forankring i planverk og reguleringer 2.3 Inkludering av klimatilpasning i behandling og vurdering av plansaker og investeringsprosjekter 2.4 Overvåking
3 Absorbere/motstå <i>Har virksomheten* gjennom aktive grep økt sin evne til å stå imot og håndtere kjente og ukjente ekstreme påkjenninger?</i>	3.1 Plassering av bygg i forhold til klimautsatte områder 3.2 Krav til bygninger (klimarelatert) 3.3 Plassering og redundans av veiinfrastruktur i forhold til klimautsatte områder 3.4 Plassering og redundans av jernbane i forhold til klimautsatte områder 3.5 Plassering av underjordisk infrastruktur 3.6 Redundans i vannforsyning 3.7 Vedlikehold (for å opprettholde god standard og robusthet mot klimarelaterte hendelser) 3.8 Ressurser til klimatilpasningstiltak
4 Respondere/gjenvinne <i>Har virksomheten* kapasitet og evne til rask respons og evnen til å komme seg raskt på fote igjen etter ekstremhendelsen?</i>	4.1 Beredskapsplaner 4.2 Beredskapsøvelser 4.3 Tilgjengelighet av strøm, vann og avløp, veier, jernbane og fibernett 4.4 Ressurser for å håndtere ekstremværehendelser
5 Tilpasse/lære <i>Evner virksomheten* å lære i etterkant?</i>	5.1 Læring etter ekstremværehendelser (egne eller andres)

* Kommunen

Forhold som kompletterer de som er basert på indikatorforslagene til Menon er forhold 2.4, 3.2-3.5, 3.7-3.8, 4.2, 4.4 og 5.1. Ingen av indikatorforslagene til Menon var rettet mot fase 5 og læring etter ekstremværehendelser, og relativt få var rettet mot fase 4.

Trinn 6: Velg indikatorer for hvert forhold

HVORDAN måler vi disse viktige forholdene ved hjelp av indikatorer (ja/nei spørsmål, antall, andeler, frekvenser, osv.)? Hvilke indikatorer er relevante for de ulike forholdene (én eller flere per forhold)?

Her har vi som nevnt tatt utgangspunkt i indikatorforslagene til Menon (2018), men komplettert med indikatorer i fasene hvor det var relativt få relevante indikatorer. Dette gjelder spesielt for fase 4 og 5. Tabell 2 gir oversikt over aktuelle indikatorer. Nummer benyttet av Menon (2018) er angitt i hakeparentes. Ikke alle indikatorer vil være relevant for alle kommuner.

Tabell 2: Indikatorer (hvor ca. halvparten er hentet fra indikatorforslagene til Menon, 2018).

Fase	Forhold	Indikatorer [nr. benyttet av Menon (2018)]
1	Forstå risikoene	1.1 Kunnskap om klimatilpasningsutfordringer
		1.1.1 Er det utarbeidet overordnet ROS-analyse (etter Plan- og bygningsloven) for kommunen som helhet? [A1.1]
		1.1.2 Er det utarbeidet konkrete retningslinjer for hva en ROS-analyse skal inneholde? [C1.1]
		1.1.3 Har kommunen ledet arbeidet med å gjennomføre den overordnede ROS-analysen? [A1.3]
		1.1.4 Er det utarbeidet en overordnet klimasårbarhetsanalyse for kommunen som helhet? [A1.4]
		1.1.5 Jobber kommunen systematisk for å skaffe seg kunnskap og oversikt over hvilke klimatilpasningsutfordringer som kan inntreffe? [A1.5]
2	2.1 Ansvarliggjøring og involvering	2.1.1 Er det utpekt en koordinator for klimatilpasningsarbeidet i kommunen? [B1.10]
		2.1.2 Er det utpekt en ansvarlig for klimatilpasningsarbeidet i kommunen? [B1.11]
		2.1.3 Er det dedikert en tverrsektoriell faggruppe som jobber systematisk med klimatilpasning? [B1.12]
	2.2 Forankring i planverk og reguleringer	2.2.1 Er det stilt krav til klimatilpasning i kommunens planstrategi? [B1.1]
		2.2.2 Er det utarbeidet en overordnet strategi for klimatilpasningsarbeid i kommunen? [B1.2]
		2.2.3 Blir klimatilpasning ivaretatt i kommuneplanens arealdel? [B1.4]
		2.2.4 Er det satt av midler i kommuneplanens handlingsdel til klimatilpasninger? [B1.5]
		2.2.5 Er klimatilpasning ivaretatt i kommunens områdereguleringer? [B1.7]
		2.2.6 Er klimatilpasning ivaretatt i kommunens detaljreguleringer? [B1.8]
	2.3 Inkludering av klimatilpasning i behandling og vurdering av plan-saker og investeringsprosjekter	2.3.1 Andel av kommunens egne investeringsprosjekter som har en kost-nytte-vurdering som inkluderer klimatilpasning [B1.13]
		2.3.2 Andel av (plan-)sakene som legges frem for Bystyret/kommunestyret som vurderer og dokumenterer konsekvenser av dagens og framtidige klimaendringer [C1.4]
		2.3.3 Andel av besluttede investeringsprosjekter ila. året som har synliggjort og vurdert konsekvenser av dagens og framtidige klimaendringer [C1.5]
	2.4 Overvåking	2.4.1 Antall implementerte overvåkingsaktiviteter/systemer for veiinfrastruktur innenfor risikoutsatte områder (ras, flom, stormflo, etc.)
		2.4.2 Antall implementerte overvåkingsaktiviteter/systemer for jernbane innenfor risikoutsatte områder (ras, flom, stormflo, etc.)
3	Absorbere/motstå	3.1 Plassering av bygg i forhold til klimautsatte områder
		3.1.1 Andel godkjente byggeområder som ligger i klimarisikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.) [D1.3]
		3.1.2 Andel av husholdninger eller m ² bygg innenfor kommunens geografiske avgrensning som ikke ligger i risikoutsatte områder* [A2.5], [A2.14], [A2.19]

Fase	Forhold	Indikatorer [nr. benyttet av Menon (2018)]
	3.2 Krav til bygninger (klimarelatert)	3.2.1 Andel av husholdninger eller m ² bygg innenfor kommunens geografiske avgrensning (i risikoutsatte områder*) som ble bygget før 1960
	3.2.2 Andel av husholdninger eller m ² bygg innenfor kommunens geografiske avgrensning (i risikoutsatte områder*) som ble bygget mellom 1960 og 2000	3.2.2 Andel av husholdninger eller m ² bygg innenfor kommunens geografiske avgrensning (i risikoutsatte områder*) som ble bygget mellom 1960 og 2000
	3.2.3 Andel av husholdninger eller m ² bygg innenfor kommunens geografiske avgrensning (i risikoutsatte områder*) som ble bygget etter 2000	3.2.3 Andel av husholdninger eller m ² bygg innenfor kommunens geografiske avgrensning (i risikoutsatte områder*) som ble bygget etter 2000
	3.3 Plassering og redundans av veiinfrastruktur i forhold til klimautsatte områder	3.3.1 Andel hovedveier (riksveier, fylkesveier) eller km hovedveier innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.)
	3.3.2 Andel hovedveier (riksveier, fylkesveier) eller km hovedveier innenfor risikoutsatte områder* uten alternative veier (f.eks. kommunale veier, fylkesveier)	3.3.2 Andel hovedveier (riksveier, fylkesveier) eller km hovedveier innenfor risikoutsatte områder* uten alternative veier (f.eks. kommunale veier, fylkesveier)
	3.3.3 Andel kommunale veier eller km veier innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.)	3.3.3 Andel kommunale veier eller km veier innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.)
	3.3.4 Andel kommunale veier eller km veier innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.) uten alternative veier (f.eks. kommunale veier, fylkesveier)	3.3.4 Andel kommunale veier eller km veier innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.) uten alternative veier (f.eks. kommunale veier, fylkesveier)
	3.4 Plassering og redundans av jernbane i forhold til klimautsatte områder	3.4.1 Andel jernbane eller km jernbane innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, stormflo, etc.)
	3.4.2 Andel jernbane eller km jernbane innenfor risikoutsatte områder* uten alternative forbindelser (f.eks. jernbane, kommunale veier)	3.4.2 Andel jernbane eller km jernbane innenfor risikoutsatte områder* uten alternative forbindelser (f.eks. jernbane, kommunale veier)
	3.5 Plassering av underjordisk infrastruktur	3.5.1 Andel underjordisk infrastruktur (e.g., rørledninger, fiber, strømkabler) innenfor risikoutsatte områder* (ras, flom, etc.)
	3.6 Redundans i vannforsyning	3.6.1 Andel av kommunens husstander som har flere drikkevannskilder [A2.9]
	3.7 Vedlikehold (for å opprettholde god standard og robusthet mot klimarelaterte hendelser)	3.7.1 Antall ansatte per 100 km hovedveier som arbeider med vedlikehold
	3.7.2 Antall ansatte per 100 km kommunale veier som arbeider med vedlikehold	3.7.2 Antall ansatte per 100 km kommunale veier som arbeider med vedlikehold
	3.7.3 Antall ansatte per 100 km jernbane som arbeider med vedlikehold	3.7.3 Antall ansatte per 100 km jernbane som arbeider med vedlikehold
	3.7.4 Antall ansatte per 100 km vannforsyning som arbeider med vedlikehold	3.7.4 Antall ansatte per 100 km vannforsyning som arbeider med vedlikehold
3.8 Ressurser til klimatilpasningstiltak	3.8.1 Andel av kommunens budsjett som går til klimatilpasningstiltak	
3.8.2 Andel av kommunens budsjett for klimatilpasningstiltak som går til langsiktige tiltak	3.8.2 Andel av kommunens budsjett for klimatilpasningstiltak som går til langsiktige tiltak	
4	Respondere/gjenvinne	4.1 Beredskapsplaner
4.1.1 Andel av kommunens drikkevannskilder det er utarbeidet beredskapsplaner for, med tanke på algeoppblomstring etc. [A2.8]	4.1.2 Andel av kommunens skogarealer det er utarbeidet brannberedskapsplaner for [A2.21]	
4.1.3 Andel av kommunens populasjon som kan evakueres i en periode på inntil 1 uke	4.1.4 Andel av kommunens populasjon som kan evakueres i en periode på inntil 3 måneder	
4.1.5 Andel av kommunens populasjon som kan evakueres i en periode på inntil 1 år	4.1.5 Andel av kommunens populasjon som kan evakueres i en periode på inntil 1 år	

Fase	Forhold	Indikatorer [nr. benyttet av Menon (2018)]	
	4.2 Beredskapsøvelser	4.2.1 Antall gjennomførte beredskapsøvelser knyttet til ekstremvær siste 3 år	
	4.3 Tilgjengelighet av strøm, vann og avløp, veier, jernbane og fibernett	4.3.1 Antall husholdningstimer i året i kommunen som er uten strøm (nedetid multiplisert med husholdninger) [A2.16]	
		4.3.2 Antall husholdningstimer i året i kommunen som er uten vann (nedetid multiplisert med husholdninger) [A2.17]	
		4.3.3 Antall husholdningstimer i året i kommunen som er uten avløp (nedetid multiplisert med husholdninger)	
		4.3.4 Antall husholdningstimer i året i kommunen som er uten tilførselsveg (nedetid multiplisert med husholdninger) [A2.18]	
		4.3.5 Antall timer i året i kommunen med full eller delvis stengte hovedveier på grunn av ekstremvær	
		4.3.6 Antall timer i året i kommunen med full eller delvis stengt jernbane på grunn av ekstremvær	
		4.3.7 Antall husholdningstimer i året i kommunen som er uten tilgang til fibernett på grunn av ekstremvær	
	4.4 Ressurser for å håndtere ekstremværhendelser	4.4.1 Andel av kommunens budsjett som går til ressurser for å håndtere ekstremværhendelser	
		4.4.2 Antall ansatte per 100 km hovedveier som kan utbedre/rydde/gjenopprette mindre skader etter ekstremvær	
		4.4.3 Antall ansatte per 100 km kommunale veier som kan utbedre/rydde/gjenopprette mindre skader etter ekstremvær	
		4.4.4 Antall ansatte per 100 km jernbane som kan utbedre/rydde/gjenopprette mindre skader etter ekstremvær	
		4.4.5 Antall ansatte per 100 km vannforsyning som kan utbedre/rydde/gjenopprette mindre skader etter ekstremvær	
		4.4.6 Vedlikeholdes det en oppdatert oversikt over nabokommunenes ressurser for håndtering av ekstremværhendelser som kan forespørres/benyttas?	
		4.4.7 Andel av de totale ressursene som nabokommunenes ressurser utgjør for håndtering av ekstremværhendelser	
	5 Tilpasse/lære	5.1 Læring etter ekstremværhendelser (egne eller andres)	5.1.1 Antall ekstremværhendelser (egne eller andres) kommunen har lært av og som har resultert i konkrete endringer (i planer, tiltak, osv.)
			5.1.2 Antall arenaer kommunen deltar i hvor man kan lære av andre om klimatilpasning

* Risikoutsatte områder: områder med risiko for skader forårsaket av overvann (dersom det ikke er utarbeidet avrenningsløsninger), flomutsatte områder (dersom disse ikke er sikret mot flom), skredutsatte områder (dersom disse ikke er sikret mot skred), kvikkleireområder, områder som er utsatt for havnivåstigning og/eller stormflo (dersom det ikke er sikret mot slike forhold).

Indikatorene som er valgt ut er gjort skjønnsmessig og hovedsakelig på indikatorfaglig basis¹¹ og at indikatorene skal være mest mulig generelle og dermed relevante for flest mulig kommuner. I noen grad baserer indikatorene seg på forslag fra domeneekspertise. Vurderingen bør imidlertid kompletteres av flere domene-eksperter og brukere, spesielt fra den aktuelle kommunen.

¹¹ Øien (2001a, b), Øien m.fl. (2011a, b), Øien (2013), Øien (2016).

Vi har her tatt med 19 forhold og 60 indikatorer (hvorav 25 er hentet fra Menon), noe som i vanlig bruk av CIRAM er et litt lite antall forhold, og et noe lavt antall indikatorer spesielt når 14 av indikatorene er ja/nei-spørsmål, men det er ikke alle brukere som nødvendigvis ønsker en omfattende og dekkende resiliensvurdering. I det nevnte "indikatorprosjektet" til SINTEF Community hadde man et mål om maksimalt 10 indikatorer.¹² Vi velger derfor ut 8 indikatorer, slik at vi kan vise hvordan metoden kan anvendes videre for et veldig begrenset antall indikatorer. Vi velger også å lage kombinerte indikatorer av ja/nei-spørsmålene, fordi ja/nei-spørsmål enkeltvis gir svært begrenset informasjon. De 8 indikatorene er vist i Tabell 3. De tre første indikatorene er kombinerte indikatorer.

Tabell 3: Begrenset utvalg indikatorer.

Fase	Forhold	Indikatorer [nr. benyttet av Menon (2018)]
1	Forstå risikoene	1.1 Kunnskap om klimatilpasningsutfordringer
		1.1.6 Grad av kunnskap om klimatilpasningsutfordringer (1.1.1-1.1.5)
2	Forberede/forutse	2.1 Ansvarliggjøring og involvering
		2.1.4 Grad av ansvarliggjøring og involvering (2.1.1-2.1.3)
	2.2 Forankring i planverk og reguleringer	2.2.7 Grad av forankring i planverk og reguleringer (2.2.1-2.2.6)
3	Absorbere/motstå	3.1 Plassering av bygg i forhold til klimautsatte områder
		3.1.1 Andel godkjente byggeområder som ligger i klimarisikoutsatte områder (ras, flom, stormflo, etc.) [D1.3]
	3.8 Ressurser til klimatilpasningstiltak	3.8.1 Andel av kommunens budsjett som går til klimatilpasningstiltak
4	Respondere/gjenvinne	4.2 Beredskapsøvelser
		4.2.1 Antall gjennomførte beredskapsøvelser knyttet til ekstremvær siste 3 år
	4.4 Ressurser for å håndtere ekstremværhendelser	4.4.1 Andel av kommunens budsjett som går til ressurser for å håndtere ekstremværhendelser
5	Tilpasse/lære	5.1 Læring etter ekstremværhendelser (egne eller andres)
		5.1.1 Antall ekstremværhendelser (egne eller andres) kommunen har lært av og som har resultert i konkrete endringer (i planer, tiltak, osv.)

Her er det bevisst valgt indikatorer som dekker alle de fem fasene, noe som er lett å sørge for med en resiliensbasert tilnærming. Dette er ikke tilfellet med tilnærmingen til Menon (2018) hvor man har benyttet en klassifisering i type indikator (status, prosess, tiltak, og resultat). De fire siste av de åtte indikatorene i Tabell 3 inngår ikke i Menon (2018), men bidrar til å dekke alle faser. Eksempelvis vil læring etter ekstremhendelser (egne eller andres) være viktig. Menon (2018) omtaler også læring, men da i form av læring av arbeidet med klimatilpasning gjennom indikatorene som benyttes, ikke læring av håndtering av hendelser.

Vi vil understreke at forslagene til indikatorer ikke er gjennomarbeidet, og at dette må gjøres i samarbeid med den aktuelle kommune/bruker. Indikatorforslagene benyttes for å illustrere bruken av metoden.

¹² Opprinnelig hadde man dette som mål, men har underveis i prosjektet endt opp med et større antall indikatorer (ca. 50). Det vil uansett være opp til den enkelte kommune å velge ut et endelig sett med indikatorer, og dermed også muligheten for å avgrense antallet indikatorer.

Trinn 7: Fastsett grenseverdiene for hver indikator og angi vektor

Vi benytter en skår-skala fra 0-5, hvor 0 er verst og 5 er best, som angitt i Tabell 4.

Tabell 4: Skår-skala.

Skår	Resiliensnivå	Betegnelse
4-5	A	Svært bra
3-4	B	Bra
2-3	C	Middels
1-2	D	Dårlig
0-1	E	Kritisk

Hvert hele trinn i skårskalaen tilsvarer et resiliensnivå angitt med en karakter E-A, hvor E er verst (kritisk) og A er best (svært bra). Eksempelvis vil en skår mellom 3 og 4 tilsvare et resiliensnivå B (bra).

Hver enkelt indikator har sin måleskala som må tilpasses skårskalaen, dvs. det må angis grenseverdier for hver indikator. På denne måten blir alle indikatorene tilpasset til og målt etter en felles skala, noe som er nødvendig for aggregering av verdiene til enkeltindikatorer.

Fastsettelse av grenseverdier må gjøres av brukerne – i dette tilfellet kommunen – og er erfaringsmessige krevende. (Hva er godt og hva er dårlig? Hva gir maksimal skår og hva gir minimal skår?) Det tar tid å fastsette disse første gang, og det er ofte behov for justering etter at man får erfaring gjennom målinger.

For de tre første indikatorene, som baserer seg på underliggende ja/nei-spørsmål, kan dette gjøres enkelt ved at nei på alle spørsmål gir skår 0, ja på alle spørsmål gir skår 5, og at mellomliggende skårverdier gis ut fra antall ja. Forslag til skårverdier i forhold til antall ja for de tre kombinerte indikatorene er vist i Tabell 5.

Tabell 5: Antall ja-svar for de kombinerte indikatorene og tilhørende skårverdier.

Indikator (antall underliggende ja/nei-spørsmål)	Antall JA						
	0	1	2	3	4	5	6
1.1.6 Grad av kunnskap om klimatilpassningsutfordringer (5)	0	1	2	3	4	5	
2.1.4 Grad av ansvarliggjøring og involvering (3)	0	1,67	3,33	5			
2.2.7 Grad av forankring i planverk og reguleringer (6)	0	0,83	1,67	2,5	3,33	4,17	5

Når det gjelder vektning kan man velge å ta utgangspunkt i fasene (f.eks. lik vektning av de fem fasene), forholdene, eller indikatorene. Her er det kun én indikator per forhold, dvs. at det er like mange forhold som indikatorer, og det spiller derfor ingen rolle om man gir vektor på forhold¹³ eller indikatorer.

Siden man ikke opererer med forhold i Menon (2018) eller i "indikatorprosjektet" til SINTEF Community, velger vi vektning direkte på indikatorer. I utgangspunktet velges lik vektning, dvs. 1/8 (=0,125=12,5%). Det vil være opp til brukerne/kommunen å vurdere om noen av indikatorene er viktigere enn andre og dermed gis høyere vekt. (Totalfordelingen må selvsagt være 100%).

¹³ Med mange flere forhold og indikatorer ville vi normalt også vektet forholdene/"faktorene"/temaene, og dernest indikatorene. Dette kan betegnes som et "faktor-basert system for kvantifisering". (Her kunne man også skilt mellom ulike typer/dimensjoner av forhold/indikatorer, som økonomiske, samfunnsmessige, miljømessige, osv.).

Trinn 8: Angi måleverdier for indikatorene (utfør målingen)

Vi gjør en antakelse om at det svares JA på to av spørsmålene i hver av de tre kombinerte indikatorene, hvor vi da kan fastsette skår ut ifra Tabell 5. For de øvrige indikatorene er vi avhengig av fastsettelse av grenseverdier, men for å vise beregningene gjør vi direkte antakelser om skårverdier. Disse er vist i Tabell 6.

Tabell 6: Skårverdier (fiktive/antatte verdier).

Indikator	Skår
1.1.6 Grad av kunnskap om klimatilpasningsutfordringer	2,0
2.1.4 Grad av ansvarliggjøring og involvering	3,33
2.2.7 Grad av forankring i planverk og reguleringer	1,67
3.1.1 Andel godkjente byggeområder som ligger i klimarisikoutsatte områder (ras, flom, stormflo, etc.)	0,5
3.8.1 Andel av kommunens budsjett som går til klimatilpasningstiltak	4,0
4.2.1 Antall gjennomførte beredskapsøvelser knyttet til ekstremvær siste år	2,0
4.4.1 Andel av kommunens budsjett som går til ressurser for å håndtere ekstremværhendelser	2,5
5.1.1 Antall ekstremværhendelser (egne eller andres) kommunen har lært av og som har resultert i konkrete endringer (i planer, tiltak, osv.)	3,0

Trinn 9: Gjennomfør beregningene (skår og resiliensnivå)

Når skårverdiene er fastsatt kan beregningene gjennomføres. Her er skårverdiene allerede beregnet/fastlagt som vist i Tabell 6. Skårverdier og resiliensnivå er vist i Tabell 7.

Tabell 7: Skårverdier og resiliensnivå.

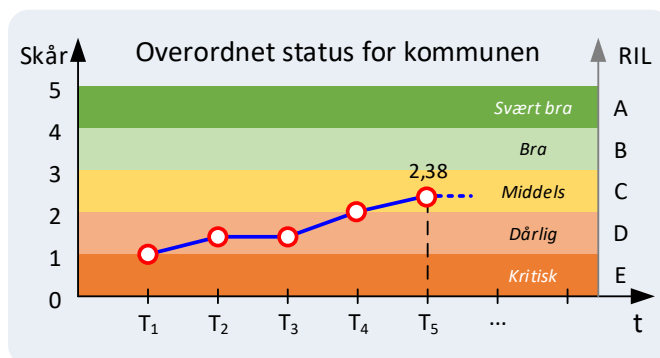
Indikator	Skår	Resiliensnivå
1.1.6 Grad av kunnskap om klimatilpasningsutfordringer	2,0	C
2.1.4 Grad av ansvarliggjøring og involvering	3,33	B
2.2.7 Grad av forankring i planverk og reguleringer	1,67	D
3.1.1 Andel godkjente byggeområder som ligger i klimarisikoutsatte områder (ras, flom, stormflo, etc.)	0,5	E
3.8.1 Andel av kommunens budsjett som går til klimatilpasningstiltak	4,0	A
4.2.1 Antall gjennomførte beredskapsøvelser knyttet til ekstremvær siste år	2,0	C
4.4.1 Andel av kommunens budsjett som går til ressurser for å håndtere ekstremværhendelser	2,5	C
5.1.1 Antall ekstremværhendelser (egne eller andres) kommunen har lært av og som har resultert i konkrete endringer (i planer, tiltak, osv.)	3,0	B
Totalt	2,38	C

En total aggregert skårverdi fås som summen av vektete skårverdier for enkeltindikatorer. Siden vekten her er antatt lik (12,5%), kan vi summere skårverdien og dele på antallet indikatorer, dvs. $19/8=2,38$. Dette tilsvarer resiliensnivå C (middels).

Dersom vi har mange indikatorer og forhold, og ulik vektning, så kan beregningene bli såpass omfattende at vi benytter f.eks. Excel eller et web-verktøy (slik som ResiliN web-verktøyet: <https://resilin.no:5009/>). Da vil vi også få aggregerte skårverdier og resiliensnivå på forhold og faser, i tillegg til totalt for området/kommunen.

Trinn 10: Vis status, trender, styrker og svakheter, forbedringsbehov, osv.

Statusen er vist i Tabell 7, og trenden kan angis som vist i Figur 7.



Figur 7: Overordnet status og trend for kommunens arbeid med klimatilpasning.

Her er det antatt at det har vært gjort fire tidligere målinger, eksempelvis årlige målinger. Siste måling viser skårverdi 2,38.

Dersom det er benyttet mange forhold og indikatorer kan status på underliggende nivå vises med trestrukturdiagram (Tree Map), som benyttes i ResiliN web-verktøyet. Med få indikatorer, som her, kan man se statusen direkte fra Tabell 7. Spesielt indikator 2.2.7 og 3.3.1 er det behov for å forbedre, mens man skårer svært bra på indikator 3.8.1.

For den enkelte kommunen vil en tydelig synliggjøring av status og utvikling kunne motivere til kontinuerlig innsats og forbedring av klimatilpasningen, og for myndigheter som Miljødepartementet eller Statsforvalteren kan dette gi en god oversikt og innsikt med hensyn til kommunenes arbeid med klimatilpasning og benyttes i en løpende oppfølging.

De fleste av indikatorene i Tabell 7 er generelle og kan til en viss grad benyttes for sammenlikning av kommunene, og dermed bidra til erfaringsutveksling mellom kommunene i arbeidet med klimatilpasning. Dette avhenger imidlertid av hvordan grenseverdiene fastsettes, og at de samme indikatorene benyttes, dvs. at man har et felles sett med indikatorer. I tillegg kan kommunene ha sine egne indikatorer.

3.3 CIRAM og relasjon til begreper som risiko og sårbarhet

Anvendelsen av CIRAM for å måle og vurdere klimatilpasningsarbeidet, slik det er beskrevet her, er en "spesialanvendelse" av metoden. For å få en bedre forståelse av metoden og av resiliens i forhold til kommuners arbeid med styring av risiko, vil vi kort forklare en "normal" anvendelse av resiliensvurderingen.

Kommunene er pålagt å gjennomføre helhetlige risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser), og DSB har laget en veileder for gjennomføring av ROS-analyser. Her vises det til standarder for risikoanalyse slik som NS 5814:2008 og ISO 31000:2009. NS 5814 viser til en rekke typer av risikoanalyser, hvorav én av disse er ROS-analyser. Standarden omtaler sårbarhet i liten grad, fordi dette begrepet ikke brukes i de fleste typer risikoanalyser som er listet i og dekkes av standarden. ISO 31000 nevner ikke sårbarhet ("vulnerability"). I den nylig utgitte nye versjonen av NS 5814 (mai 2021) inngår begrepet sårbarhet på tilsvarende måte som i DSBs veileder, og det vises til at dette begrepet innføres blant annet fordi det benyttes innenfor tilsiktede hendelser og sikring ("security").

Hvorfor denne diskusjonen rundt begrepet sårbarhet? Jo, fordi dette omtales som å være det motsatte av "robusthet", mens et mer dekkende begrep er "resiliens", hvor robusthet inngår som ett element.¹⁴ Dvs. at en resiliensvurdering ligger nær opp mot en sårbarhetsvurdering i en ROS-analyse "bare med motsatt fortegn". I en sårbarhetsvurdering ser man på et systems manglende evne til å motstå en hendelse og manglende evne til å tåle en hendelse hvis den først inntreffer, mens man for en resiliensvurdering kan fjerne ordet "manglende", dvs. det er evnen til å motstå og tåle en hendelse man vurderer.¹⁵

Sårbarhetsvurderingen i en ROS-analyse er kvalitativ og relativt grov, mens dette kan gjøres mer detaljert og systematisk med CIRAM gjennom vurdering av fasene før, under og etter en hendelse. Dessuten er analysen med bruk av CIRAM semi-kvantitativ gjennom å beregne et resiliensnivå. På den annen side så er ikke analysen med bruk av CIRAM like dekkende hva angår typer av uønskede hendelser.

ROS-analysen dekker alle aktuelle (kjente) uønskede hendelser og vurderingen benyttes blant annet til å dimensjonere beredskapen gjennom etablering av beredskapsplaner, og bidrar dermed også til evnen til å motstå og tåle en hendelse, dvs. "resiliensen", ut fra en risikobasert tilnærming.

I CIRAM velges én eller et fåtall ekstremhendelser for å "stress-teste" hvor resilient man er mot denne/disse ekstremhendelsene. ROS-analyser og derigjennom forståelse av risiko bidrar både til resiliens og til valg av ekstremhendelser. Én aktuell ekstremhendelse er naturhendelse som følge av ekstremvær, som også kan være basert på informasjon om klimarelatert ekstremvær, hvor høye alternativer fra nasjonale framskrivninger legges til grunn (såkalt RCP8.5¹⁶). Brukeren velger de ekstremhendelsene man er mest bekymret for uavhengig av sannsynlighet.¹⁷ Dette kan også ta utgangspunkt i én ekstremhendelse innenfor hver av hovedtypene naturhendelser, store ulykker og tilsiktede hendelser, jfr. DSBs veileder.

I henhold til forskrift for kommunal beredskapsplikt skal den helhetlige ROS-analysen blant annet dekke *"særlige utfordringer knyttet til kritiske samfunnsfunksjoner og tap av kritisk infrastruktur"*. Slike utfordringer kan mer systematisk og detaljert avdekkes med CIRAM ved at man for hver ekstremhendelse vurderer hvordan alle relevante kritiske infrastrukturer innenfor området/kommunen vil kunne håndtere ekstremhendelsen. CIRAM kan også benyttes for det påfølgende punktet som krever at ROS-analysen skal dekke *"kommunens evne til å opprettholde sin virksomhet når den utsettes for en uønsket hendelse og evnen til å gjenoppta sin virksomhet etter at hendelsen har inntruffet."*¹⁸

"Spesialanvendelsen" av CIRAM til måling og vurdering av klimatilpasningsarbeidet er mer som et alternativ til steg 4 og 5 i MRE-rammeverket foreslått av Menon (2018). Anvendelsen av CIRAM er imidlertid bedre i samsvar med det opphavelige MRE-rammeverket (Monitoring, Reporting and Evaluation) foreslått av EEA (2015) hvor man går mer rett på måling ved hjelp av indikatorer.

¹⁴ Bl.a. benyttes robusthet som mål på gjenværende kritisk funksjonsevne (jfr. Figur 5), men sier ikke noe om varigheten av tap av kritisk funksjon. Hvor raskt man gjenvinner funksjonen ("rapid recovery") beskrives bl.a. med begrepet "rapidity" (hurtighet/gjenvinningshurtighet).

¹⁵ Dette er også et aspekt ved resiliens som skiller det fra risiko og sårbarhet, dvs. at tankesettet er grunnleggende positivt gjennom å vektlegge hva som er bra, i stedet for feil og svakheter: Hva må til for å evne å motstå og tåle en hendelse?

¹⁶ RCP står for Representative Concentration Pathway, og RCP8.5 er utviklingsbanen hvor vi fortsetter som i dag og ikke gjør noe for å begrense klimagassutslippene. Jorda vil per kvadratmeter oppta 8.5 watt ekstra i 2100.

¹⁷ En "rasjonell" vurdering av sannsynlighet og konsekvens ved en risikobasert tilnærming gjør at man ikke fanger opp uforutsette og svært usannsynlige hendelser. Mange historiske hendelser har nettopp vært uforutsette og i forkant svært usannsynlige hendelser. Viktige antakelser i ROS-analysen som forhåndsevakuering kan vise seg å ikke holde stikk.

¹⁸ Selv om CIRAM benytter en indirekte vurdering av resiliens, og ikke ser direkte på resilienskurven (jfr. Figur 5), så kan man inkludere en enkel vurdering av robustheten (gjenværende funksjonsevne) og hvor raskt man gjenopptar virksomheten etter hendelsen. Dette kan også sammenholdes med eventuelle krav eller mål.

4 Resiliens og det grønne skiftet

4.1 Introduksjon

Det grønne skiftet er en prosess som omfatter hele samfunnet og inkluderer overgang til produkter og tjenester som gir betydelig mindre negative konsekvenser for klima og miljø enn i dag¹⁹. Effekter av klimaendringer er globale, og internasjonalt samarbeid er derfor viktig for å sette felles mål og oppnå virkningsfulle resultater. Fellesmålene ble definert med Parisavtalen, som skal sørge for at verdens land klarer å redusere klimaendringer²⁰. Det grønne skiftet er en sentral del av implementeringen av Parisavtalen (UN 2015), fordi det kreves at alle land utvikler en strategi for å oppnå målene i avtalen, herunder klimatilpasning av infrastruktur og klima-nøytralitet i andre del av århundret.

Overgang til et klimanøytralt samfunn skal ikke nødvendigvis påvirke økonomien og livskvaliteten negativt. Derfor er innovasjon og teknologiutvikling i næringslivet sentralt i utviklingen og innføringen av det grønne skiftet. OECD-rapporten om det grønne skiftet (OECD, 2019) viser til mulighetene for utvikling av innovasjoner med muligjgjørende teknologier som kunstig intelligens, tingenes internett og blokk-kjede (Block Chain).

Det offentlige må sørge for gode rammevilkår, en klima-resilient infrastruktur, en bærekraftig natur og bidra til utvikling av markeder gjennom egne investeringer og bruk av egen markedsrett¹⁹. Næringslivet i Norge har utarbeidet flere veikart for å kutte utslippene og samtidig skape vekst og arbeidsplasser på flere områder¹⁹. Et av de mest relevante veikartene for å oppnå klima-resilient infrastruktur, er veikartet fra Byggenæringens Landsforening (BNL) med tittelen "Grønt skifte" (BNL, 2016). Veikartet vil bli presentert mer detaljert i de følgende avsnittene.

4.2 Det grønne skiftet innenfor byggenæringen

Det grønne skiftet er avhengig av økt verdiskaping gjennom innovasjoner og teknologiutvikling for å kompensere for mulige negative effekter av overgangen mot mer miljøvennlige løsninger. BNL ser også mange markedsmuligheter for byggenæringen og samfunnet i endringene som det grønne skiftet krever for å levere bedre løsninger og tjenester. Bygg-, eiendoms- og anleggssektoren kan bidra mye til å oppnå klimanøytraliteten fordi sektoren bruker på verdensbasis nær 40 prosent av alle ressurser, herunder material og energi^{Error! Bookmark not defined.}. Sektoren er også ansvarlig for 36 prosent av klimagassutslippene globalt (BNL, 2016).

BNL identifiserer tre prioriterte områder for det grønne skiftet mot 2030 (BNL, 2016) med tilsvarende delmål:

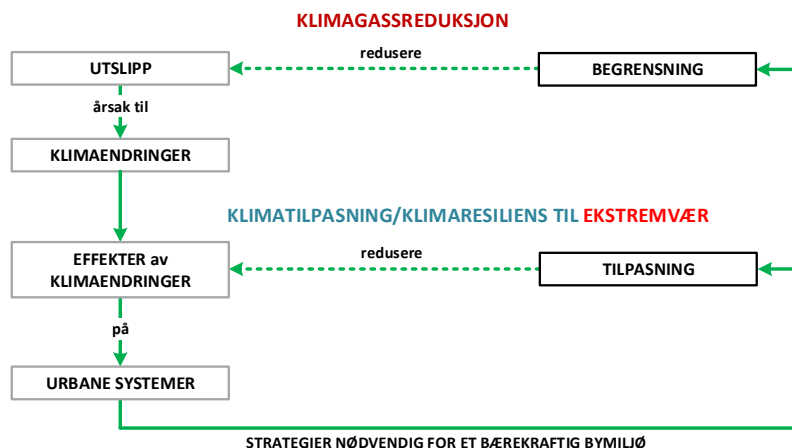
- **Begrense global oppvarming**
 - Sektoren kan bidra til å begrense global oppvarming gjennom bygg og anlegg som ikke benytter fossile energikilder, gjennom energieffektivisering av bygge- og anleggsplasser, og gjennom redusert utslipp i transport og ved materiellproduksjon (BNL, 2016). Utslipp og miljø-konsekvenser fra hele livsløpet må kvantifiseres for å sikre mest effektive løsninger (BNL, 2016).
 - **Delmål** (BNL, 2016):
 - Bo- og arbeidsregioner og infrastruktur skal planlegges slik at de avgir minst mulig klimagassutslipp.
 - Materialer og løsninger med minst mulig klimagassutslipp og negative miljø-konsekvenser i et livsløpsperspektiv velges i bygg- og anleggsprosjekter.
 - Energiforsyning i bygg skal være basert på fornybare energikilder.

¹⁹ <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/gront-skifte/id2076832/?expand=factbox2686986>

²⁰ <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>

- Drift av bygge- og anleggsplasser skal være fossilfrie i 2030. Realisering av visjonen forutsetter utvikling av teknologi knyttet til drivstoff og anleggsmaskiner.
- **Sirkulær økonomi – begrense og effektivisere ressursbruken**
 - Mer effektiv bruk av ressurser som materialer, kjemikaler, energi, areal og vann er viktig for å bidra til det grønne skiftet. Mer effektiv bruk av ressurser kan oppnås med overgang til et gjenbruks- og gjenvinningssamfunn, også kalt sirkulær økonomi (BNL, 2016).
 - **Delmål (BNL, 2016):**
 - Ressursbruken skal effektiviseres gjennom hele verdikjeden, fra råvare, transport, produksjon, driftsfasen, forbruk, avfallshåndtering og gjenvinning.
 - Produktdesign og produksjonsprosesser må utvikles med mål om økt fleksibilitet, mer holdbare produkter og løsninger som er enklere å reparere, oppgradere eller videreutvikle.
 - Det utvikles et sett med virkemidler for å påvirke forbrukermønsteret og markedet med mål om en sirkulær økonomi.
 - Digitalisering av byggenæringen skal understøtte det grønne skiftet.
 - Utvikle mål og tiltak for å fremme sirkulære kvaliteter i alt som bygges, driftes, vedlikeholdes og forvaltes.
 - Forvaltning av eksisterende bygningsmasse må fremme prinsippene i sirkulær økonomi.
- **Begrense og forebygge de skadelige konsekvensene av klimaendringene**
 - Sektoren kan også bidra til det grønne skiftet med løsninger for å hindre negative konsekvenser av klimaendringer for bygg, mennesker, natur og kultur (BNL, 2016).
 - **Delmål (BNL, 2016):**
 - Overvann skal ikke føre til skader på bygg og anlegg.
 - Bygg og anlegg skal tåle klimaendringene.
 - Riktig lokalisering av byggverk for å redusere effekten av klimaendringene.

De to første prioriterte områdene handler om å redusere utslipp av klimagasser og begrense global oppvarming, mens det siste området retter seg mot klimatilpasning. Dette kan illustreres som vist i Figur 8, hvor klimagassreduksjon følger det store kretsløpet og klimatilpasning det nederste kretsløpet. Til sammen utgjør disse klimaomstillingen og det grønne skiftet.



Figur 8: Bærekraftig utvikling med klimaomstilling – klimagassreduksjon og klimatilpasning (basert på Papa et al., 2015).

Papa et al. (2015) beskriver smarte byer og resiliente byer som ledende konsepter relatert til henholdsvis reduksjon av energiforbruk (øvre del av Figur 8) og bymessig tilpassing til klimaendringer (nedre del av Figur 8). Resiliente byer beskrives av UNISDR (2012) som angitt i kap. 3.

Resiliens ("klima-resiliens") er altså særlig knyttet til klimatilpassing, og i mindre grad til klimagassreduksjon.

Rollen til det offentlige i å bidra til det grønne skiftet er svært viktig fordi mesteparten av anleggsprosjektene eies og bestilles av det offentlige ved bygging av veier, jernbane, flyplasser, havner, kommunal VA-infrastruktur, kraftutbygging og mer (BNL, 2016). Offentlige byggherrer kan stille krav og legge inn innovasjonsinsentiver i kontraktene for å støtte det grønne skiftet i sektoren. For å iverksette det grønne skiftet i anleggssektoren er det viktig at byggenæring, bestiller/eier, og myndigheter arbeider tett sammen. Byggesektoren er mer fragmentert enn anleggssektoren og forskjellige tilnærminger kan være nødvendige for å iverksette det grønne skiftet med insentiver i form av juridiske virkemidler, tilskudd, grønne skattemekanismer og andre løsninger i tillegg til informasjon til boligeierne (BNL, 2016). For eksisterende bygg må det komme nytt regelverk (BNL, 2016).

BNL foreslår å bruke følgende virkemidler for å lykkes med det grønne skiftet (BNL, 2016):

- **Helhetlig vurdering over livsløp**
 - BNL ønsker at miljøvurderinger skjer på en helhetlig måte som blir basert på fakta og internasjonalt anerkjente metoder. Bruk av standardiserte og anerkjente metoder hindrer at velmente grep som kan ha positiv effekt på ett område, har store negative effekter på andre områder knyttet til miljø, sosiale forhold og økonomisk bærekraft (BNL, 2016).
- **Industrialisering, standardisering og digitalisering**
 - Industrialisering, standardisering og digitalisering blir viktige virkemidler til å oppnå grønnere, men også konkurransedyktige løsninger og tjenester. Utvikling og bruk av internasjonalt standardiserte metoder for miljøvurdering av bygg, anlegg, byggevarer og leveranser blir stadig viktigere (BNL, 2016). Digitalisering kan brukes for å samle informasjon om koblinger mellom miljødata og produkter og tjenester for å utvikle kriterier i anskaffelses-prosesser som blir tilgjengelig senere for oppfølging, tilsyn, drift, vedlikehold og avhending (BNL, 2016).
- **Anskaffelser**
 - Miljøkrav i anbud og anskaffelsesprosessen kan bidra til å gjøre bygg- og anleggssektoren grønnere. Aktørene i næringen kan også bidra til det grønne skiftet aktivt med utvikling av grønne løsninger. Det offentlige, som kjøper omkring 35 prosent av næringens leveranser, kan bidra i særlig grad til det grønne skiftet (BNL, 2016).
- **Kompetanse**
 - Grunnlaget for det grønne skiftet i byggenæringen er at den som prosjekterer og utfører arbeidet har rett kompetanse. Kompetansekrav til virksomheter i forbindelse med anbud og i regelverk er derfor sentralt for å lykkes i arbeidet (BNL, 2016).
- **Verdiskaping og lønnsomhet**
 - Uten lønnsomhet i næringens bedrifter og hos deres kunder vil det ikke være mulig å gjennomføre det grønne skiftet. Det er derfor av avgjørende betydning at endringene skjer over tid, og at myndighetene bidrar til forutsigbarhet i næringens rammebetingelser for å oppnå endring (BNL, 2016).

4.3 Oppsummering av det grønne skiftet innenfor byggenæringen

Det grønne skiftet handler i stor grad om klimagassreduksjon for å redusere klimaendringene. Innenfor byggenæringen har BNL blant annet prioritert å begrense global oppvarming samt innføre sirkulær økonomi. De foreslår virkemidler innenfor områdene helhetlig vurdering over livsløp; industrialisering, standardisering og digitalisering; anskaffelser; kompetanse; og verdiskaping og lønnsomhet.

Et tredje prioritert område er å begrense og forebygge de skadelige konsekvensene av klimaendringene. Her kan resiliens (klima-resiliens) bidra til klimatilpasning, slik det allerede gjøres gjennom konseptet resiliente byer. En operasjonalisering kan gjøres gjennom etablering av resiliens-indikatorer for oppfølging av arbeidet med klimatilpasning (med metoden CIRAM, jfr. kapittel 3).

Også klimatilpasningstiltak bør velges slik at de i størst mulig grad begrenser klimagassutslipp, og at de helst bidrar til klimagassreduksjon. Dermed vil de bidra til klimaomstilling og det grønne skiftet både gjennom klimatilpasning (artikkel 2 og 7 i Parisavtalen) og gjennom klimagassreduksjon (artikkel 2 og 4 i Parisavtalen).

5 Veien videre

Som nevnt innledningsvis så har dette CRES-prosjektet inngått i det strategiske konserninitiativet om samfunnssikkerhet i SINTEF. Dette initiativet involverer flere institutter som per i dag er SINTEF Digital, Energi, Community, Manufacturing og Industri. CRES-prosjektet har blitt gjennomført av SINTEF Community og SINTEF Digital.

Forskning på samfunnssikkerhet handler om å styrke samfunnets evne til å verne seg mot og håndtere hendelser som truer grunnleggende verdier og funksjoner og setter liv og helse i fare, enten hendelsene er utløst av naturen, tekniske eller menneskelige feil, eller av ondsinnede handlinger.

Naturhendelser påvirkes av klimaendringene og som beskrevet i denne rapporten så er klimaomstilling en "kamp på to fronter": reduksjon av klimagassutslipp og klimatilpasning. Begge inngår i det grønne skiftet.

Resiliens er et mye brukt begrep i forbindelse med klimatilpasning, eksempelvis begrepet "klimaresiliens" som benyttes blant annet i Parisavtalen, i EUs nye strategi for klimatilpasning, i forslaget til ny europeisk klimalov og i EUs Green Deal. Mye av dette må Norge forholde seg til allerede i dag, og noe vil vi måtte forholde oss til i tiden som kommer, inkludert at en stor del av forskningen er øremerket til forskning som skal bidra til det grønne skiftet.

En resilienstilnærming, herunder bruk av resiliensvurderingsmetoden CIRAM som er beskrevet i rapporten, kan rette seg mot enhver type hendelse/ekstremhendelse som kan ramme kritisk infrastruktur eller annen viktig infrastruktur, inkludert naturhendelser som følge av klimaendringer og mer ekstremvær. Dette gjelder også for endringer som skjer gradvis, slik som havnivåstigning, og deres effekter på viktig/kritisk infrastruktur. Domene-ekspertise på ulik infrastruktur finnes over hele SINTEF, og all infrastruktur må forholde seg til klimaendringene, dvs. de må klimatilpasses.

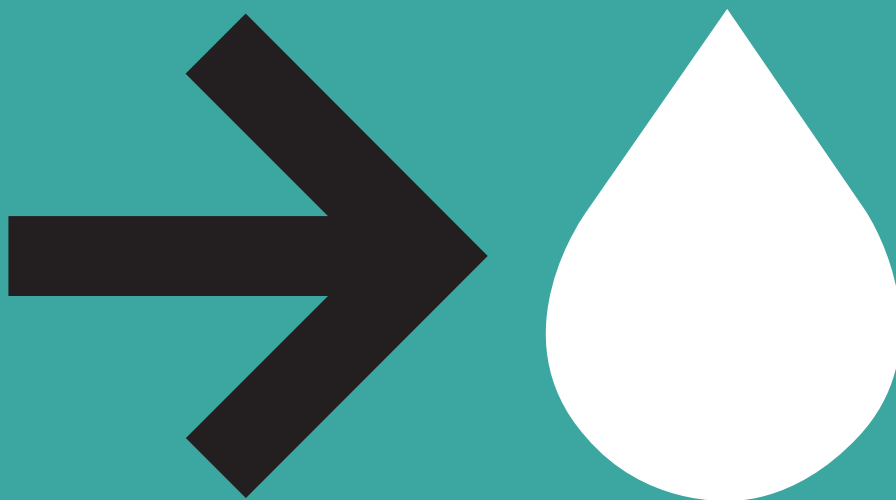
Når det samtidig er veldig tydelig at klimatilpasning inngår som del av det grønne skiftet bør SINTEF i enda større grad bidra med forskningsbasert kunnskap om klimaresiliens og videreutvikle metoder knyttet til dette, noe det er behov for både i det offentlige (kommuner, fylkeskommuner og overordnede myndigheter) og hos private eiere av infrastruktur. På mange områder bidrar SINTEF allerede, blant annet innenfor klimatilpasning av det bygde miljø gjennom Senter for Forskningsbasert Innovasjon (SFI) Klima 2050 som ledes av SINTEF Community. Flere store nasjonale eiere av infrastruktur, som Statens vegvesen og Jernbanedirektoratet, og Trondheim kommune er partnere i Klima 2050 og vil kunne være viktige samarbeidspartnere i en videreutvikling av et rammeverk for klimaresiliens. En kan her se for seg to løp; et som ser direkte på infrastruktur og et som fokuserer mer overordnet på det kommunale ansvaret. Det vil også være naturlig å bygge på resultatene fra "indikatorprosjektet" som er gjennomført parallelt med dette prosjektet og søke samarbeid med det nye treårig forskningsprosjekt, *Indikatorer for klimatilpasning av bygninger og infrastruktur i kommuner*, som finansieres av Regionalt forskningsfond Vestland og som nettopp har startet opp (mai-21). I sistnevnte prosjekt vil fokus være på å utvikle økonomiske indikatorer som er relevante for klimatilpasning av det bygde miljø.

Kunnskap om og metoder knyttet til klimaresiliens kan forsterke arbeidet med klimatilpasning av det bygde miljø, og videre bidra til klimaresiliens i annen viktig eller kritisk infrastruktur. SINTEF vil videreutvikle og ønsker å bidra med kunnskap og metoder om klimaresiliens til alle eiere og ansvarlige av viktig/kritisk infrastruktur, herunder tilsynsmyndigheter og samarbeidspartnere.

Referanser

- Amundsen, H., Berglund, F., Westskog, H., 2010. "Overcoming barriers to climate change adaptation-a question of multilevel governance?" *Environment and Planning C: Government and Policy* 28 (2): 276–89.
- BNL, 2016. "GRØNT SKIFTE-byggenæringens bidrag til løsning".
- Det Kongelige Miljøverndepartement, 2013. Meld. St. 33: Klimatilpasning i Norge.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), 2016. Samfunnets kritiske funksjoner: Hvilken funksjonsevne må samfunnet opprettholde til enhver tid? ISBN 978-82-7768-412-3 (PDF).
- EEA, 2015. "National monitoring, reporting and evaluation of climate change adaptation in Europe." EEA Technical Report, no. 20.
- EC, 2019. European Commission. The European Green Deal. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Brussels, 11.12.2019 COM(2019) 640 final.
- EC, 2020a. European Commission. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulation (EU) 2018/1999 (European Climate Law). Brussels, 4.3.2020 COM(2020) 80 final 2020/0036 (COD).
- EC, 2020b. European Commission. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the resilience of critical entities. Brussels, 16.12.2020 COM(2020) 829 final 2020/0365 (COD).
- EC, 2021. European Commission. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change. Brussels, 24.2.2021 COM(2021) 82 final.
- FN, 2015. United Nations. Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Hopkins, A., 2009. Thinking about process safety indicators. *Safety Science* 47, 460–465.
- IPCC, 2014. "Summary for Policymakers." In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report*, edited by C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee et al. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- KMD, 2018. Klima- og miljødepartementet. Lov om klimamål (klimaloven). <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60>
- Meld. St. 33 (2012-2013). Klimatilpasning i Norge.
- Menon, 2018. "MRE-system og indikatorer for lokal klimatilpasning". Menon-Publikasjon 91.
- NOU 2010: 10. Tilpassing til eit klima i endring. Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane.
- OECD, 2019. "Innovation and Business/Market Opportunities associated with Energy Transitions and a Cleaner Global Environment".
- Papa, R., A. Galderisi, M. C. Vigo Majello, and E. Saretta, 2015. "Smart and Resilient Cities. A Systemic Approach for Developing Cross-Sectorial Strategies in the Face of Climate Change." *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment* 1 (Cities, Energy and Climate Change (1)):1–49.
- RRMC, Risk and Resilience Measurement Committee 2019. "Resilience-Based Performance: Next Generation Guidelines for Buildings and Lifeline Standards. American Society of Civil Engineers".
- Schönthaler, K., von Andrian-Werburg, S., 2015. Evaluation of the German Strategy for Adaption to Climate Change (DAS) – Reporting and Closing Indicator Gap. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Solecki, W., Rosenzweig, C., Blake, R., de Sherbinin, A., Matte, T., et al. 2015. "New York city panel on climate change 2015 report chapter 6: Indicators and monitoring." *Annals of the New York Academy of Sciences* 1336 (1): 89–106.

- UNISDR (2012). How to make cities more resilient – A Handbook for Local Government Leaders. Available at: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/26462>
- UN, 2015. The Paris Agreement. Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Øien, K., Fiskvik, J., Øren, A., 2021. Metode for vurdering av resiliensnivået i kritisk infrastruktur – veileder. SINTEF 2020:01001 (Intern).
- Øien, K., 2016. Two Applications of Resilience Concepts and Methods: Offshore Installations and Critical Infrastructures. IRGC (2016). Resource Guide on Resilience. Lausanne: EPFL International Risk Governance Center. v29-07-2016
- Øien, K., 2013. Remote operation in environmentally sensitive areas: development of early warning indicators. *Journal of Risk Research*, Volume 16 (3-4) s. 323-336
- Øien, K., I.B. Utne, and I.A. Herrera. 2011a. Building safety indicators. Part 1 – theoretical foundation. *Safety Science* 49, no.2: 148–61.
- Øien, K., Utne, I.B., Tinmannsvik, R.K., Massaiu, S., 2011b. Building Safety Indicators. Part 2 – Application, practices and results. *Safety Science* 49(2), pp. 162-171
- Øien, K., 2001a. Risk indicators as a tool for risk control. *Reliability Engineering and System Safety*, 74 (2001) 129-146
- Øien, K., 2001b. A framework for the establishment of organizational risk indicators. *Reliability Engineering and System Safety*, 74 (2001b) 147-168
- Aall, C., Ekström, F., Heiberg, E., Storm, H., 2009. Lokal sårbarhet for klimaendringer. Demonstrasjon av metoder for kartlegging av den institusjonelle sårbarheten for klimaendringer. Vestlandsforskningsrapport 6/2009.
- Aall, C., Heiberg, E., Simonsen, M., Jakob, H., Ekström, F., 2012. “Korleis vurdere effekten av ein regional klimapolitikk? Sluttrapport frå eit prosjekt om utvikling av eit indikatorbasert system for vurdering av måloppnåing i Fylkesdelplan klima og miljø for Sogn og Fjordane fylkeskommune.” Vestlandsforskningsrapport, no. 7.
- Aall, C., Nordland, I., 2003. “Indikatorer for vurdering av lokal klimasårbarhet.” Vestlandsforskningsrapport, no. 15.



CONSORTIUM

Private sector

SKANSKA

MESTERHUS

Multiconsult

Finans Norge

SKJÆVELAND
GRUPPEN

NORGESHUS

Leca

isola

Public sector



Statens vegvesen



Noregs
vassdrags- og
energidirektorat

AVINOR



Jernbane-
direktoratet



STATSBYGG



TRONDHEIM KOMMUNE

Research & education

SINTEF

BI

NTNU

Meteorologisk
institutt

NGI