



**Spesialister i
klimatilpasning**

Utdanning

En viktig del av SFI'et har vært å utdanne spesialister i klimatilpasning innen Klima 2050 sine fokusområder; fuktrobuste bygninger, overvannshåndtering, vannutløste skred og beslutningsprosesser og virkemidler. Målet ved oppstart av senteret var å bidra til utdanningen av 50 M.Sc og 15 PhD. Ved utgangen av SFI-perioden har vi nådd 133 M.Sc og 16 PhD kandidater vil fullføre.

Studentene har bidratt med en stor og viktig innsats for å oppnå Klima 2050s

faglige resultater, men det aller viktigste resultatet er likevel den fagkompetansen de har med seg ut i byggenæringen. Vår erfaring er dessuten at aktiviteten knyttet til masterstudentene og PhD-kandidatene har vært helt sentral i å samle fag og partnere i senteret.

Vi gir i dette heftet en oversikt over sentrale resultater fra PhD-arbeidene og vårt bidrag til utdanningen av M.Sc med spesialisering innen klimatilpasning.



13

2

9

1

10

7

4

6

5

11

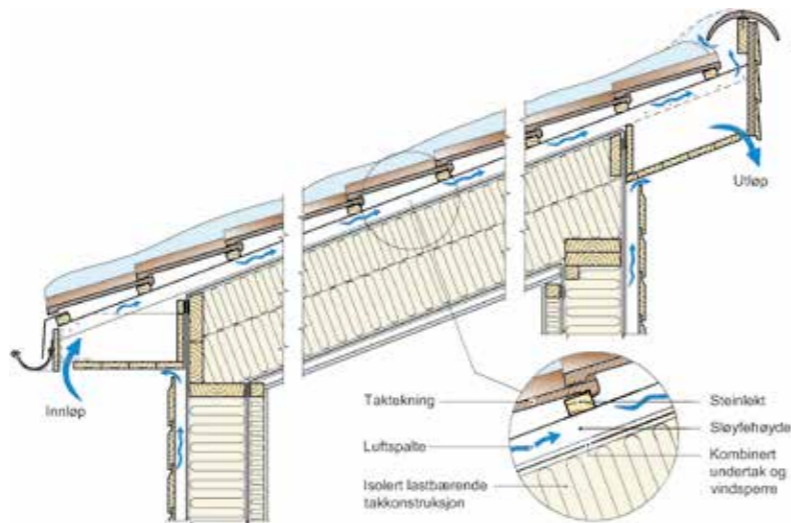
3

12

8



Lars Gullbrekken
PhD



1

LARS GULLBREKKEN

Nye råd om lufting av store tak

BEHOV

Luftede skrå trectak er en vanlig konstruksjon i Norge som må luftes for å unngå problemer med blant annet snøsmelting og ising i takrenner og nedløp. Ambisiøse mål om reduksjon av klimagassutslipp og energibruk har ført til et ønske om å bygge flere store og høisolerte trectak, gjerne med lav takvinkel og bygningsintegreerte solceller. Dette er løsninger som ikke var dekket av retningslinjene i Byggeforskserien.

NY KUNNSKAP

Doktorgradsarbeidet til Lars Gullbrekken har resultert i revisjoner i Byggeforskseriens anbefalte minimumskrav til lufting av takteknig for lengre og flatere tak. Retningslinjene dekker nå taklengder opp til 30 m, og luftespaltehøyde bestemmes ut fra isolasjonsmengde og midlere vindhastighet i vinterhalvåret. Løsningene dekker tak med takvinkel som er minst 10° av hensyn til drenering av kondens, regnvann og smeltevann. Noen tekninger, for eksempel asfalttakbelegg og takfolie, krever ikke like stor vinkel på taket og kan i gitte tilfeller monteres tilnærmet flatt. Studien til Lars viser dessuten at motstanden mot luftstrømning i luftespalten under takteknigen minker 30% ved å bytte ut rettkantete steinlekker med justerte lekker.

Bygninger med lavt oppvarmingsbehov medfører større isolasjonstykkelser. Lars sin studie viser at for å oppnå fullgod utnyttelse av varmeisolasjonen ved isolasjonstykkelser over 200 mm bør konveksjonssperre brukes også i skrå tak.

2

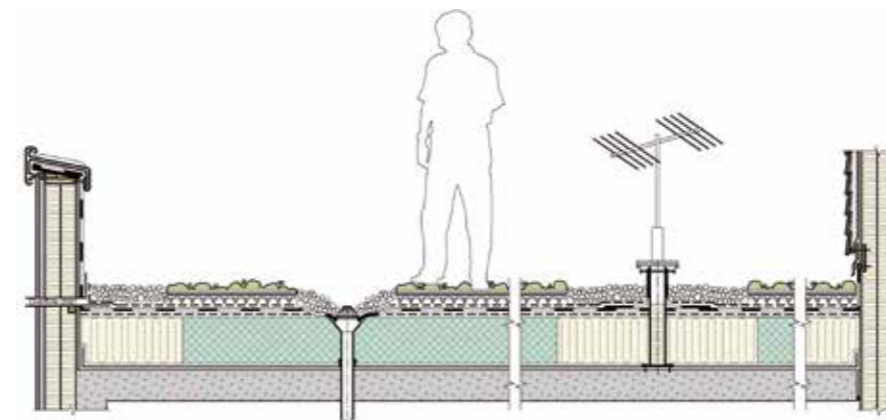
ERLEND ANDENÆS Risikovurdering av blågrønne tak

BEHOV

Blågrønne tak er et tiltak for overvannshåndtering som er ventet å bli vesentlig mer vanlig i fremtiden. Dette er tak dekket av levende planter og bygget for overvannshåndtering, et relativt nytt konsept bygningsteknisk sett. Blågrønne tak er prinsipielt enkle i oppbygningen, men gir utfordringer i at de eksisterer i grensesnittet mellom mange fag med uklare ansvarsforhold og delvis manglende forståelse seg mellom.

NY KUNNSKAP

Selv om blågrønne tak kan fremstå som en egen, uavhengig installasjon, påvirker og påvirkes de av takkonstruksjonen og alt det andre som foregår på taket. Utførelsen involverer bygningsteknikk, hydrologi, botanikk og landskapsarkitektur. I tillegg vil det å inkludere blågrønne tak i et prosjekt involvere eller påvirke mange andre fag som også arbeider på og rundt taket som konstruksjonsteknikk, brannteknikk, materialvalg, tekniske installasjoner og vedlikehold av disse. Erlend Andenæs har i sitt doktorgradsarbeid studert risikoen når så mange fag setter krav til et tak. Studien viser at organisering med klare grensesnitt og tydelig plassering av ansvar er like viktig som teknisk informasjon. Til hjelp i å koordinere prosessen har Erlend laget et støtteverktøy for utvikling og bygging av blågrønne tak. Verktøyet er utformet som en matrise med «sjekkpunkter» for viktige avgjørelser for de ulike fasene og fagdisiplinene involvert i taket.



Erlend Andenæs
PhD





Erin Lindsay
PhD-kandidat



3

ERIN LINDSAY Å oppdage skred med satellitter

BEHOV

I et klima med mer regn forventes omfanget av regnutløste skred å øke. NVEs skredatabase RegObs gir en oversikt over registrerte skred i Norge som grunnlag for vurdering, varsling og kartlegging av skredfare. Statens vegvesen og Bane Nor bidrar til å oppdatere databasen når de rydder opp skred. Dessverre er databasen ufullstendig siden det er få skred som blir registrert der det ikke går veier eller bane. For å forbedre prediksjonsmodeller er det behov for nye metoder for å oppdage og registrere skred.

NY KUNNSKAP

Skred kan oppdages ved å sammenligne bilder av et område tatt før og etter et regnvær. Å kartlegge skred på denne måten krever gode bilder å sammenligne, noe som ikke alltid er enkelt. Deler av terrenget vil alltid ligge i skygge, og det kan være skyer i veien. Radarbilder kan inneholde mye "støy" som varierer fra bilde til bilde. Erin Lindsays nye metode går ut på å fjerne "støyen" ved å kombinere flere bilder tatt i tiden før og etter skredet til to sammensatte «før» og «etter»-bilder som deretter sammenlignes. Bildebehandlingen gjøres raskt med nettplattformen Google Earth Engine. Teknikken gjør det mulig å bruke satellittdata til å oppdage mange nye skredhendelser og dermed forbedre prediksjonsmodellene for skred.

4

MANUEL FRANCO TORRES

Paradigmer av urban vannforvaltning er avgjørende for klimatilpasning

BEHOV

I dag er det generelt akseptert blant ingeniører og planleggere at urban vannhåndtering utføres basert på rasjonelle prinsipper og at vår infrastruktur, praksis og regler blir gradvis forbedret. Vanligvis antas det at denne utviklingen vil ende i bærekraftige løsninger som dekker alle vannrelaterte behov. Realiteten viser imidlertid at innovative løsninger for klimatilpasning ofte blir avvist og ikke tatt i bruk. Tidligere forskning har identifisert en serie av barrierer av sosial natur som hindrer at innovasjoner tas i bruk.

NY KUNNSKAP

Manuel Franco Torres har forsket på hvordan vann- og avløpssektoren (i likhet med andre sektorer) bruker felles mentale modeller også kalt paradigmer for å definere hvordan verden fungerer, hvordan man skal skaffe seg kunnskap, hva er viktig og hvilke problemer som må løses. Det dominerende paradigmet i en tidsperiode er avgjørende for å bestemme hvilke infrastrukturer, praksiser og regler som skapes og tas i bruk. PhD-arbeidet viser at dagens paradigme for urban vannforvaltning er i konflikt med nye løsninger for klimatilpasning og undergraver innsatsen for å ta disse i bruk. Konklusjonen er at det kreves bevissthet rundt hvordan paradigmene utformer praksis for å kunne fjerne barrierene som hindrer implementering av innovative løsninger for klimatilpasning. Denne bevisstheten er dessverre ikke tilstede i læreplanene til norske undervisningssteder.



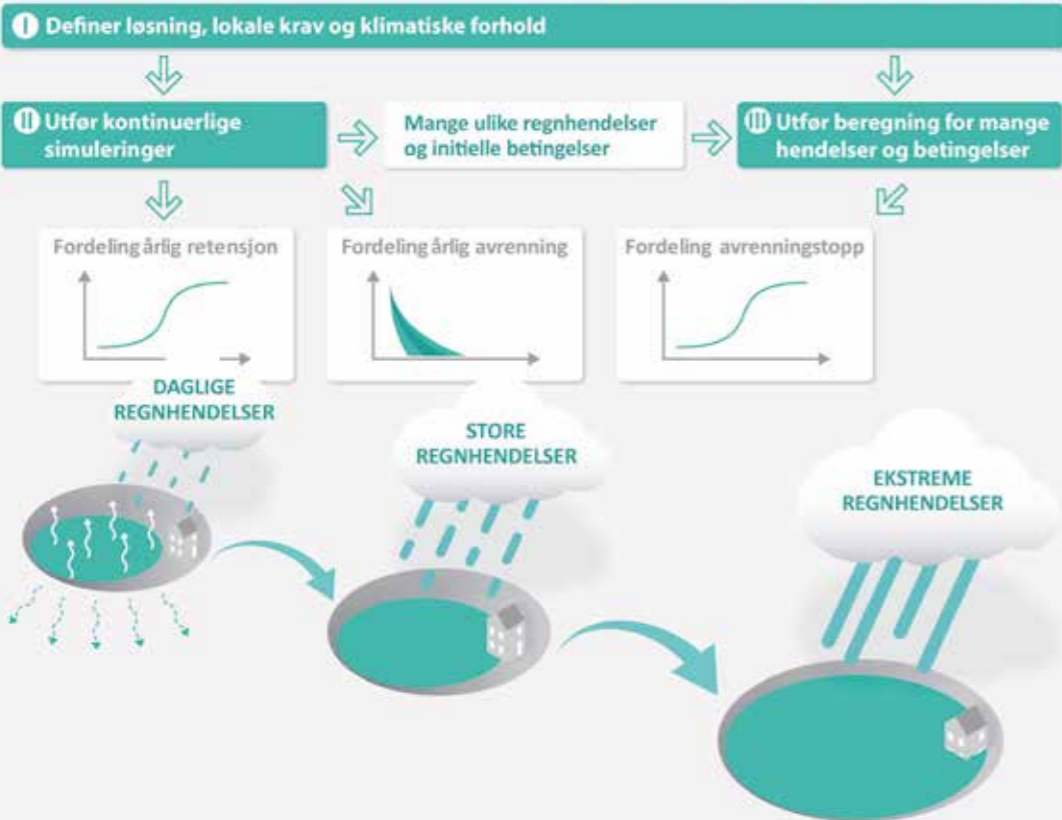
Manuel Franco Torres
PhD





Vincent Pons
PhD-kandidat

RAMMEVERK FOR DIMENSJONERING AV BLÅGRØNN INFRASTRUKTUR



5

VINCENT PONS Robuste og klimatilpassa blågrønne løsninger for overvannshåndtering

BEHOV

Blågrønne løsninger for å håndtere overvann er viktige løsninger for å takle økende urbanisering og klimaendringer. I Norge brukes 3-trinnsstrategien som sier at man skal 1) håndtere daglige hendelser ved kilden gjennom infiltrasjons- og evapotranspirasjonsprosesser av lokale løsninger, 2) dempe og forsinke de større regnhendelsene gjennom lokal fordrøyning, og 3) sikre trygg avledning til nærmeste resipient gjennom definerte flomveier.

Det er behov for å kople ulike fagfelt som klimatologi, urban hydrologi og risikokvantifisering for å øke forståelsen av hvordan trinnene i 3-trinnsstrategien kan jobbe sammen for å gi en robust og klimatilpassa overvannshåndtering i byer.

NY KUNNSKAP

Vincent Pons har utviklet et nytt rammeverk for å dimensjonere blågrønne løsninger i samsvar med 3-trinnsstrategien. Rammeverket foreslår å gå bort fra en hendelsesbasert dimensjonering til å se på et bredt spekter av regnhendelser for å si noe om ytelsene etter trinn 1 og trinn 2. Samtidig vil man få informasjon om når løsningen(e) ikke fungerer, noe som vil være retningsgivende for dimensjonering av flomveiene (trinn 3). Videre har Vincent utviklet en ny metode basert på statistisk-temporal-nedskalering for å kunne vurdere den fremtidige ytelsen til løsningen(e) ved å bruke det samme rammeverket. Vincent har også studert effekten ved å oppskalere fra en enkeltstående løsning til mange løsninger innenfor et nabolag/bydel.

6

ELHADI MOHSEN HASSAN ABDALLA Modellering av blågrønne løsninger for overvanns- håndtering

BEHOV

Klimaendringer og rask urbanisering forventes å øke mengden overvann i byer og vil øke belastningen på ledningsnettet. Dette vil øke risikoen for urbane flommer og økt forurensing der det er fellessystem og overløp. Blågrønne løsninger, som grønne tak, permeabelt dekke og regnbed, er effektive løsninger for å redusere og forsinke avrenning av overvann via naturlige prosesser (evapotranspirasjon, infiltrasjon, fordrøyning). I tillegg vil blågrønne løsninger ha effekt på kvaliteten på overvann, forbedrer byens biologiske mangfold og det visuelle uttrykket. Men slike løsninger tas i liten grad i bruk i Norge, delvis på grunn av mangel på klare dimensjoneringsretningslinjer og modelleringsverktøy for å vurdere den hydrologiske ytelsen.

NY KUNNSKAP

Elhadi Mohsen Hassan Abdalla har i sitt doktorgradsarbeid utviklet og validert flere hydrologiske modeller av ulike blågrønne løsninger ved å sammenligne modellerte og målte avrenningsverdier. Abdalla har også utviklet korrelasjoner for å estimere parameterne til de hydrologiske modellene av løsningene når målte data ikke er tilgjengelige for modellkalibrering. Videre er det gjennomført laboratoriemålinger av blågrønne tak for å bestemme effekten av takhelling og lengde på taket på den hydrologiske funksjonen til taket



Elhadi Mohsen
Hassan Abdalla
PhD-kandidat





Aynalem Tasachew
Tsegaw
PhD

7

AYNALEM TASACHEW TSEGAW Flomrisikomodeller for små nedbørfelt

BEHOV

Flom i små nedbørfelt er et økende problem for infrastruktur som kulverter og stikkrenner ved veier og jernbane. Planlegging i små nedbørfelt kan være ekstra vanskelig siden det finnes relativt få små felt med målinger. Spesielt ved beregning av flom kan små felt være en utfordring da de også reagerer raskt på nedbør og derfor krever data med fin tidsopløsning.

NY KUNNSKAP

For å prøve å bøte på manglende data har Aynalem Tassachew Tsegaw i sitt doktorgradsarbeid jobba med utvikling av en metode for å sette opp en hydrologisk modell i nedbørfelt der det ikke finnes målinger tilgjengelig. En viktig del av prosjektet har vært å tilpasse modellen til å kjøre med fin tidsopløsning slik at vi kan fange opp den raske responsen på nedbør vi ofte har i små nedbørfelt. Implementert i NVE sin hydrologiske modell, DDD, kan vi simulere avrenninga fra feltet og finne hvordan ekstreme hendelser utvikler seg med ulike starttilstander i nedbørfeltet. Modellen vil være verktøy for å analysere lokale flommer, studere effektene av endringer i klima, vurdere strategier for å hindre at flommer skader eller ødelegger infrastruktur i vassdrag og utregning av tilsig til småkraftverk eller annen bruk av vann.

ATLE ENGEBØ

Byggeprosess med samspill

BEHOV

Byggenæringen har historisk sett vært et tøft prosjektbasert marked med lave marginer og høy konkurranse. Etter hvert som teknologien, klimaet og samfunnet har utviklet seg, har også prosjektene blitt mer komplekse. Samtidig har nye gjennomføringsmodeller dukket opp som en konsekvens av stadig mer komplekse prosjekter og krevende prosjektgjennomføring. De nye metodene blir ofte betegnet som «samspillsfokuserte» på grunn av søkelyset på å samkjøre kundens interesser med resten av verdikjeden på et tidlig stadium i prosjektsyklusen.

NY KUNNSKAP

Doktorgradsarbeidet til Atle Engebø bidrar til å utvikle den empiriske forståelsen av bruken av samspillselementer i gjennomføringsmodeller. I arbeidet har ett primærtilfelle, Klima 2050 pilotprosjektet *ZEB-laboratoriet*, blitt fulgt. Mange positive effekter er observert og dokumentert. Kontraktmessige, organisatoriske og kulturelle virkemidler påvirker prosjektet og teamet. Ved å være bevisst i å velge og bruke ulike virkemidler kan man maksimere samarbeidsinnsatsen fra hver deltaker gjennom hele prosjektet.

Erfaringen er at den valgte gjennomføringsmodellen for *ZEB-laboratoriet* fungerte svært godt og var hovedårsak til det vellykkede resultatet. Det må likevel påpekes at samarbeid for enhver pris ikke er hensiktsmessig. Det er heller ikke slik at samarbeid passer for alle typer prosjekter. Det viktige er å finne balanse mellom samarbeid og konkurranse.



Atle Engebø
PhD





Birgitte Gisvold
Johannessen
PhD



9

BIRGITTE GISVOLD JOHANNESSEN Grønne tak og overvannshåndtering

BEHOV

Byvekst, fortetting og klimaendringer gir økt press på eksisterende avløpssystemer. En måte å redusere påkjenningen er bruk av grønne tak hvor vann lagres midlertidig i takets oppbygning for senere å bli fjernet ved fordamping og plantenes vannforbruk (evapotranspirasjon). I tillegg vil det vannet som renner av taket, bli forsinket i tid sammenlignet med avrenning fra et vanlig tak. For å inkludere effekten av grønne tak i overvannsberegninger har det vært behov for økt kunnskap om hvordan slike tak virker i norsk klima.

NY KUNNSKAP

Doktorgradsarbeidet til Birgitte Gisvold Johannessen viser at ekstensive grønne tak kan fjerne og forsinke avrenningen betydelig for små og mellomstore regnhendelser, mens for de kraftigste bygene er effekten relativt liten. Reduksjonen i mengden vann som renner av taket, er et resultat av balansen mellom takets vannlagringsevne og evapotranspirasjonen. Forsøktak i Oslo, Bergen, Sandnes og Trondheim viser at effekten på sommerhalvåret, i form av redusert volumavrenning, varierte fra 22% i Bergen (våtteste) til 46% i Trondheim (tørreste). Sesongvariasjonene var store og effekten var svært liten på vinterhalvåret. Avrenningstoppene ble redusert betraktelig for de fleste nedbørshendelsene, men effekten avtok for de kraftigste regnene og dersom taket hadde svært høy fuktighet når nedbørshendelsen startet. Tiden med avrenning fra forsøktakene ble forlenget 2-4 ganger sammenlignet med avrenningen fra vanlige tak.

10

VLADIMÍR HAMOUZ

Tak kan bidra til å hindre flom

BEHOV

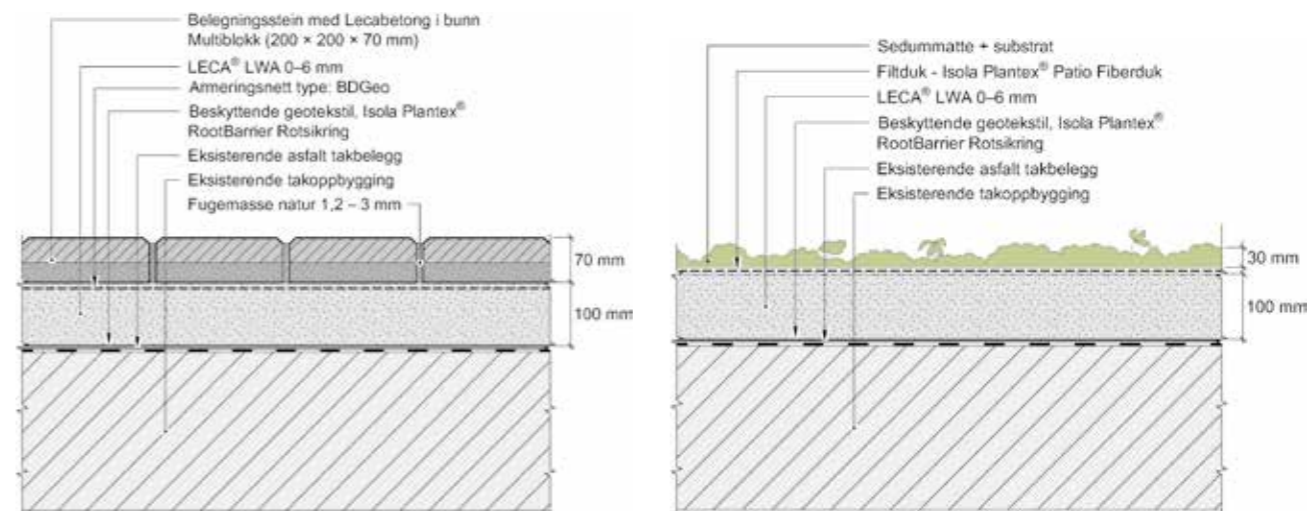
Intensive regnskyll er en økende utfordring for urbane områder. Når tak kan utgjøre opptil 40% av arealet i det urbane landskapet, gjør dette ofte takene til den største tilgjengelige flaten for tiltak for overvannshåndtering. Tak med fordrøyning kan bidra til å redusere virkningen av klimaendringer og urbanisering ved å holde på regnvann og bremse avrenning, og derved redusere det totale avrenningsvolumet og spissavrenningen. For å kunne benytte takene på denne måten må vi kjenne fordrøyningspotensialet til de aktuelle løsningene.

NY KUNNSKAP

På Trondheim kommune og Klima 2050 sitt pilotprosjekt på taket av Høvringen renseanlegg har Vladimír Hamouz forsket på ulike oppbygninger for å øke fordrøyningskapasiteten i taket uten å legge til for mye vekt i form av tung jord. De grønne takene viste større variasjon i det målte fuktighetsinnholdet enn de grå takene på grunn av transpirasjonsprosessen. Dette resulterte i økt retensjon av vann (nedbør som ikke blir avrenning) fra de grønne takene. De grå tak løsningene viste mye større fordrøyning og flomtoppreduksjon enn det grønne taket uten ekstra fordrøyning. Løsningen som kombinerte grønt tak med fordrøyningslag under, oppnådde god fordrøyning og evapotranspirasjon. Dette viste seg å være den beste løsningen for både flomtoppreduksjon og retensjon av vann.

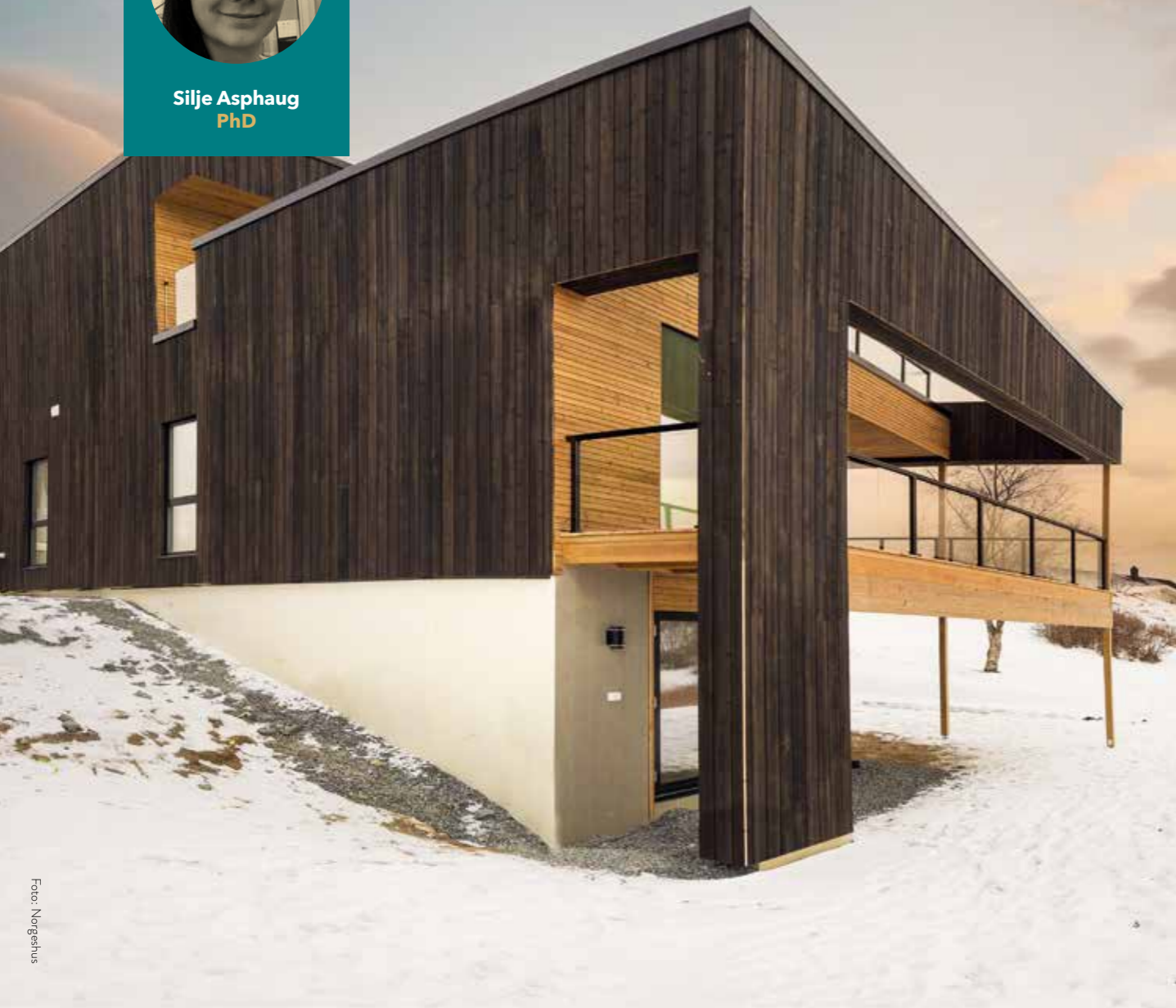


Vladimír Hamouz
PhD





Silje Asphaug
PhD



11

SILJE ASPHAUG Slik bør kjellervegger fuktsikres

BEHOV

Måten vi både bruker og bygger kjellere på har forandret seg mye siden 1950-tallet. Tidligere ble kjelleren primært benyttet for oppbevaring av mat. I dag settes det helt andre krav til både inneklime, energieffektivitet og fuktsikkerhet. I tillegg gir klimaendringene med stadig kraftigere og oftere styrtregn og styrtregnsflommer økt påkjenning på kjellerveggene. Silje Asphaug har i sitt doktorgradsarbeid undersøkt hvordan dampmotstanden til ulike typer EPS, innvendig og utvendig isolasjonstykkelse og plassering av grunnmursplaten påvirker uttørkingseffekten av kjellervegger.

NY KUNNSKAP

Både laboratorieforsøk og simuleringer viser at den utadrettede uttørkingen man oppnår med å benytte dampåpen utvendig isolasjon, er av mindre betydning for fuktforholdene på innsiden av betongvegger i nybygg, sammenlignet med EPS av standard kvalitet. Tykkelsen på utvendig og innvendig isolasjon påvirker derimot fuktforholdene i større grad. Resultatene viser også at den utadrettede uttørkingen i stor grad er avhengig av betongkvaliteten og at det er behov for mer kunnskap om de fukttekniske egenskapene til betong for å kunne gjøre mer nøyaktige beregninger av fuktforhold i kjellervegger av betong. Studien oppsummerer ti fuktutfordringer som må tas hensyn til, for å oppnå fuktsikre kjellere. De ti utfordringene vektlegges ulikt i ulike land med kaldt klima. Det er denne prioriteringen som utgjør et lands fuktsikringsstrategi. Best fuktsikkerhet oppnås ved å løse alle utfordringene.

12

HERVÉ VICARI

Fleksible barrierer for å redusere flomskred

BEHOV

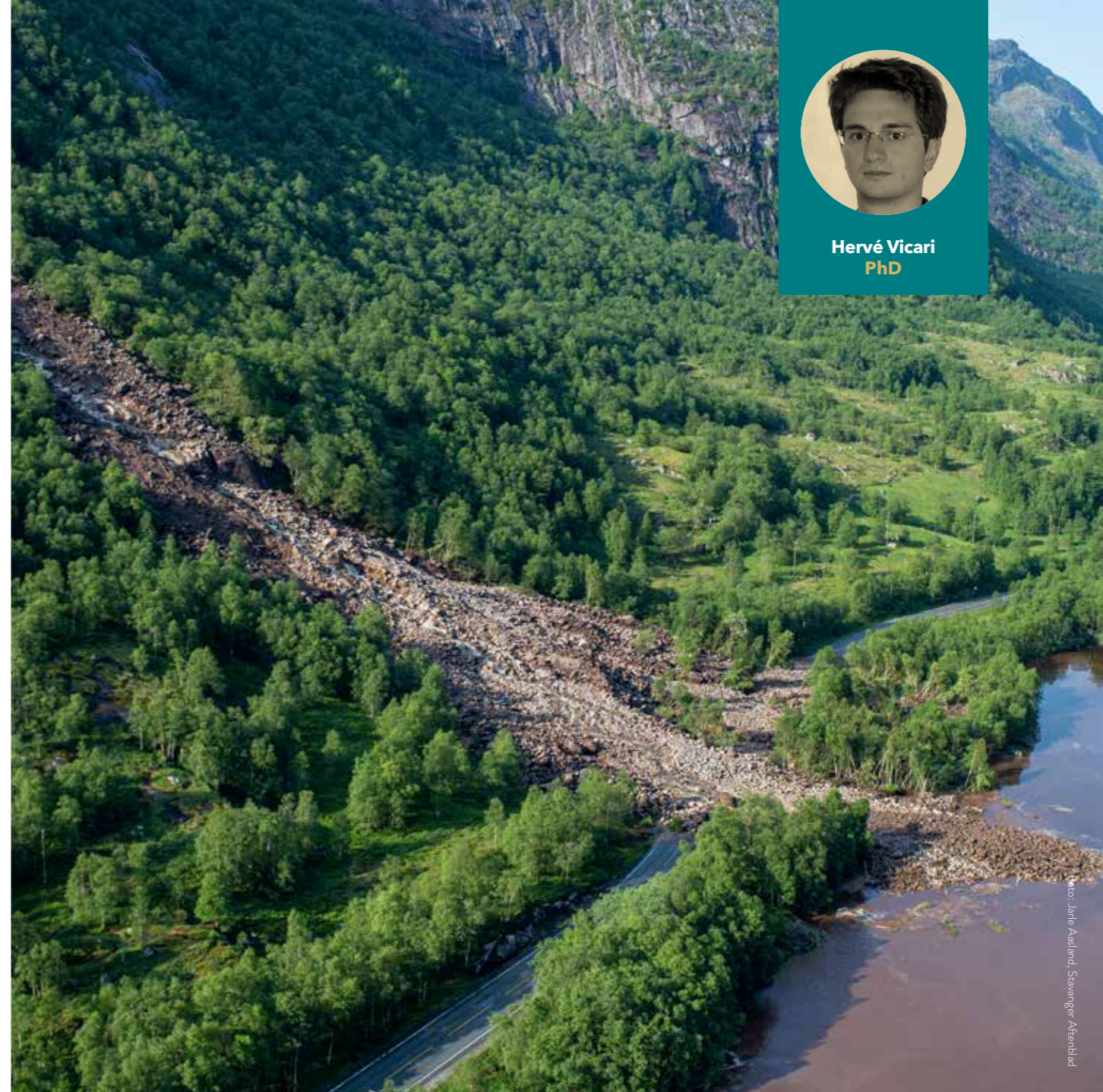
Klimaendringer med mer nedbør gjør at skred er et stort og økende problem i Norge. Flomskredmasser øker typisk i volum ved at masser eroderes langs strømningsveien til det pågående skredet. Dette kan omfatte jord, væske, steiner og trær.

NY KUNNSKAP

For å redusere en slik volumøkning som følge av bunnerosjon og medrivning, har Hervé Vicari i sitt doktorgradsarbeid sett på avbøtende tiltak i strømningsveien ovenfor utsatt bebyggelse eller infrastruktur. Et slikt tiltak er fleksible barrierer. Dette er lette konstruksjoner som enkelt kan monteres i bratte og utilgjengelige raviner, som vi finner mange steder i Norge. For bedre å forstå hvordan en fleksibel barriere virker på massestrømmen, er det utført en serie både småskala (i Trondheim) og storskala (i Hong Kong) forsøk i testrenner. Numerisk modellering av flomskred og erosjon er også gjennomført. Resultatene viser at fleksible barrierer installert oppstrøms en skredkanal, potensielt kan hindre volumvekst av skredmassene.

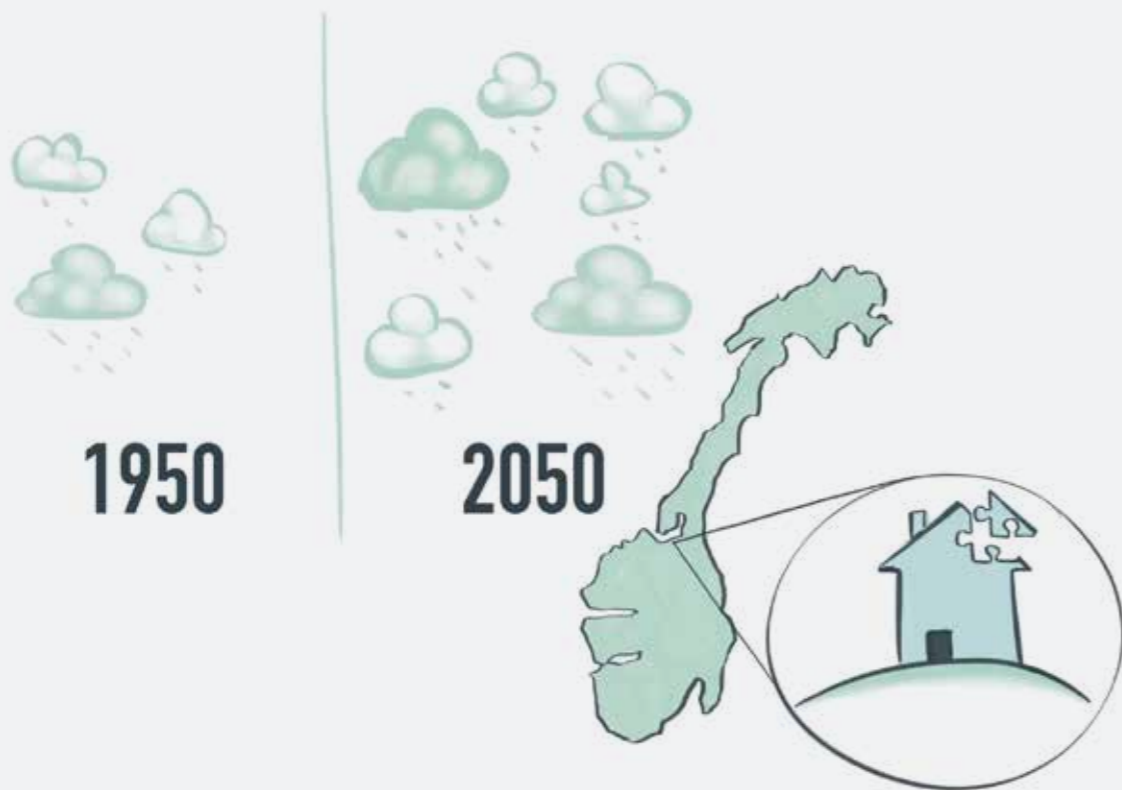


Hervé Vicari
PhD





Jørn Emil Gaarder
PhD-kandidat



13

JØRN EMIL GAARDER

Risikovurdering i fuktprosjektering av bygninger

BEHOV

Det norske klimaet er svært variert. Topografi og kystlandskap gjør at variasjonene kan være store selv på korte avstander. Sesongvariasjonene er også store, med relativt kalde vintre og varme somre. Fremtidige klimaendringer viser at man må forberede seg på mer nedbør, mer styrtregn og varmere temperaturer. Dessverre er bygningsmassen sårbar for skader selv i dagens klima. Derfor trenger vi et sterkere fokus på bygningsfysikk, fuktrobusthet og risikoreduksjonstiltak mot potensielle fuktskader og ekstremvær.

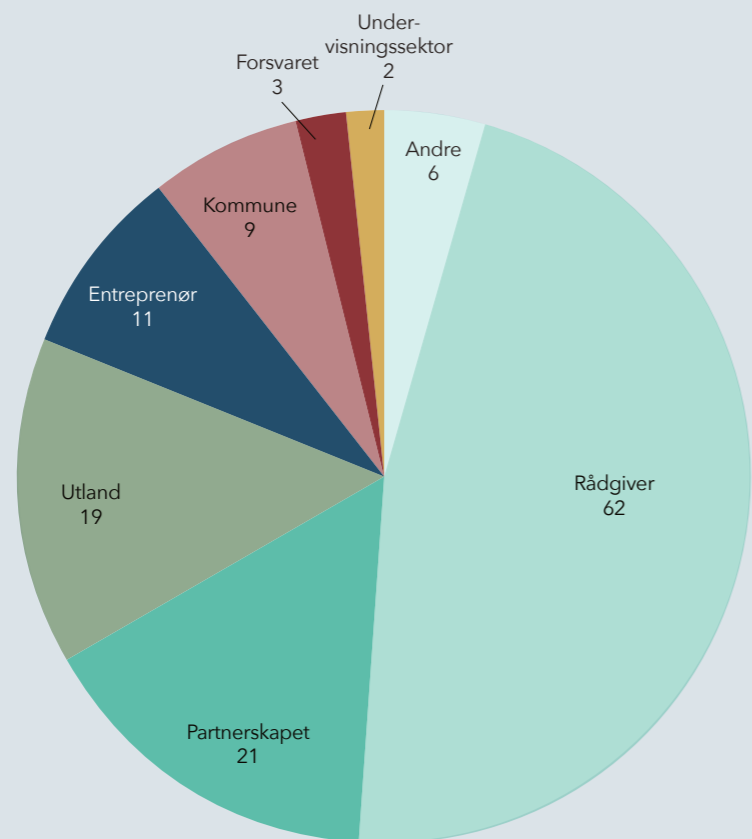
Det er et behov for økt kunnskap om hvordan fremtidige klimapåkjenninger vil påvirke valg av materialer og løsninger. Klimapåkjenninger kjennetegnes av stor grad av usikkerhet, og konsekvensene av valgene man tar blir ikke synlige før etter mange år. Fuktprosjekteringen i dag baserer seg i stor grad på historiske værdata og erfaringer, og inkluderer i liten grad robusthetsvurderinger av løsninger. Dette er til hinder for effektiv tilpasning av bygninger til et klima i endring.

NY KUNNSKAP

Målet med Jørn Emil Gaarder sitt doktorprosjekt er å inkludere risikobetraktninger i fuktprosjektering som også tar hensyn til fremtidige påkjenninger og lokale variasjoner. Jørn Emil ser spesielt på håndtering av usikkerheter. Gjennom beregninger av fremtidige påkjenninger, kartlegging av dagens praksis og undersøkelser av risikohåndteringsmetoder utvikles metoder og verktøy for klimatilpasning av bygninger.

Masteroppgaver

Hvor ble det av de 133 M.Sc klimatilpasnings-
spesialistene utdannet fra Klima 2050?



Postdoktorer engasjert i perioden

- Erlend Andenæs - NTNU (2021-2023)
- Vittoria Capobianco - University of Salerno (2019)
- Anne Kokkonen - BI (2018-2020)
- Åshild Lappegard Hauge - SINTEF (2016-2018)
- Jardar Lohne - NTNU (2016-2020)
- Luca Piciullo - University of Salerno (2016)
- Luca Schiliro - University of Rome (2016)

Øvrige PhD-prosjekter i senteret

- Kaj Pettersson - Chalmers University of Technology (fullført 2021)
- Ashenafi Lulseged Yifru - NTNU (fullført 2020)
- Bridget O'Brien Thodesen - NTNU
- Petter Fornes - NTNU
- Jon Ivar Belghaug Knarud - NTNU



Fakta

Klima 2050 - Risk reduction through climate adaptation of buildings and infrastructure

Klima 2050 er et senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) finansiert av Norges forskningsråd og partnerne i konsortiet. Senterets målsetning er gjennom langsiktig forskning å redusere samfunnsmessig risiko forårsaket av klimaendringer med økt nedbør. Senteret legger vekt på utvikling av fuktsikre bygninger, overvannshåndtering og blå-grønne løsninger, samt tiltak for forebygging av vannutløste jordskred og forbedrede beslutningsprosesser som sikrer klimatilpasning av bygg og infrastruktur.

Se www.klima2050.no



Konsortium

Privat sektor

SKANSKA

MESTERHUS

Multiconsult

Finans Norge

SKJÆVELAND
GRUPPEN

NORGESHUS

Leca


Isola

Offentlig sektor


Statens vegvesen


NVE
Norges
vassdrags- og
energidirektorat

AVINOR


Jernbane-
direktoratet

STATSBYGG


TRONDHEIM KOMMUNE

Forskning og utdanning

SINTEF

BI

NTNU

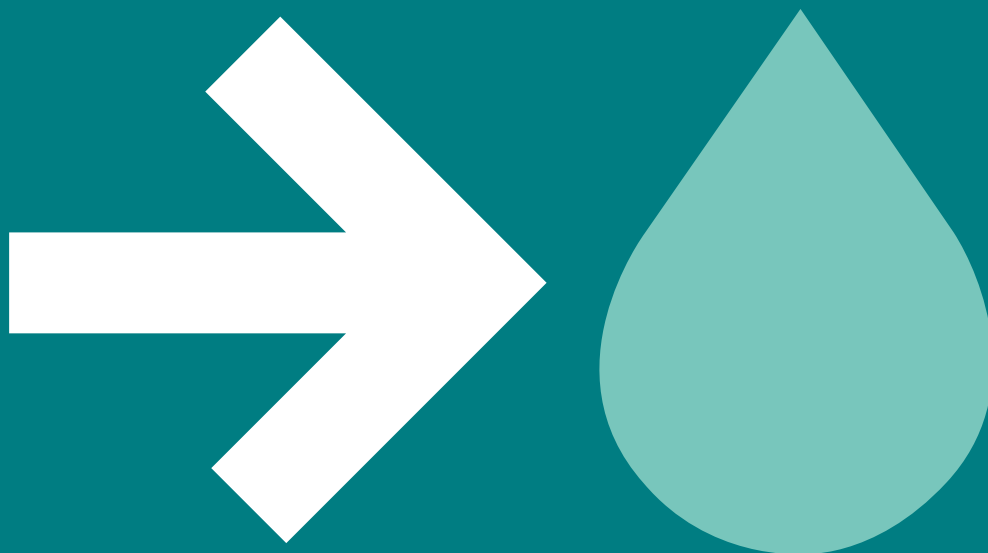
Meteorologisk
institutt

NGI

sfi

Støttet av
Forskningsrådet





www.klima2050.no

ISBN nr: 978-82-536-1792-3 (pdf), 978-82-536-1793-0 (trykk)