



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

KONSEKVENSEN AF KLIMAFORANDRINGER

OBSERVERES DER NYE FORMER FOR SKADER
I BYGGERI I DANMARK?



Om udgivelsen

Folderen er udarbejdet af Teknologisk Institut i forbindelse med resultatkontraktprojektet "Klimaomstilling af bygge- og anlægsbranchen" støttet af Uddannelses- og Forskningsstyrelsen.

Forfattere

Thor Hansen
Sandra Michelis
Toke Rask Frandsen
Allan Skydsbæk Hansen
Thomas Juul Andersen
Ulrik Hindsberger

Fotos og illustrationer

Teknologisk Institut medmindre andet er angivet i figurtekst.

Udgivelse

December 2023

Indhold

INDLEDNING	4
KLIMAFORANDRINGER	6
BYGNINGSKATEGORIER OG SKADESTYPER/DATAINDSAMLING - METODE	8
BYGNINGSKONSTRUKTION	8
SKADESTYPE	8
DATAINDSAMLING - RESULTATER	10
KLIMAFORANDRINGERNES BETYDNING PÅ SKADESTYPER	12
UDEKLIMA	13
FROSTSKADER	13
NEDBØR	15
TØRT OG VARMT UDEKLIMA	15
VARMERE VINTRE	17
TØRKEPERIODER	17
OVERFLADEVAND	20
UNDER TERRÆN	20
PÅ TERRÆN	20
KONSTRUKTIVE SKADER OG BYGGEFEJL	24
KONKLUSION	26
LITTERATUR	27

Indledning

Formålet med denne folder er at identificere nogle af de mest typiske klimarelaterede skader i byggeriet. Med den viden, kan Teknologisk Institut mere målrettet prioritere arbejdet med at udvikle nye test- og analysemetoder, samt vurdere nuværende og fremtidige byggetekniske løsninger, materialer og konstruktioner, som vil kunne have den nødvendige robusthed mod fremtidigt klima. Dermed forventes det, at folderen kan komme bygge- og anlægsbranchens aktører og det bebyggede miljø til gode, med det formål, at udbedre og forebygge klimarelaterede skader.

Kortlægningen af skader bygger dels på en gennemgang af en række af Teknologisk Instituts skadessager samt en række af Byggeskadefondens indberettede skader. Derudover er der taget udgangspunkt i Institutets mangeårige praktiske erfaringer, besigtigelser og tilstandsvurderinger samt input fra afholdt workshop, hvor vi må forvente, at fremtidens klimaforandringer vil kunne påvirke skadesomfanget og skadestyper i byggeriet.

En hensigt med folderen er desuden, at den kan bidrage til det nødvendige fokus på, at klimaet omkring os ændres. Det nødvendiggør et øget fokus på fugtsikkerheden i forbindelse med byggeriet, for at sikre den grønne omstilling, fx gennem mindre brug af udtørring, mindre spild af fugtskadede byggematerialer, mv. Samtidig vil arbejdet kunne bidrage til, at vi prioriterer vores arbejde og bruger kræfterne der, hvor der er mest brug for det.

Kortlægningen af klimarelaterede skader i denne folder er ikke udtømmende, da det primært er baseret på skader fra det almene nybyggeri (Byggeskadefondens data) med en blanding af skadessager rekvireret af entreprenører og bygningsejere, hvorfor der kan være skadestyper, som ikke er nævnt. De identificerede skadestyper i folderen giver dog en kvalificeret indikation på særlige opmærksomhedspunkter, som bygge- og anlægsbranchen med fordel vil kunne trække på - uanset om der er tale om klimaresilient nybyggeri eller renovering.



Klimaforandringer

Folderen tager udgangspunkt i DMI's klimaatlas, hvor klimaforandringer primært opleves i form af øget vinternedbør, vintertemperaturer over frysepunktet og flere ekstreme begivenheder med skybrud, højere vandstand og tørkeperioder, men en række andre faktorer er også i spil (Figur 2.2).

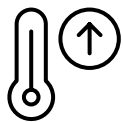
De angivne klimaforandringer tager desuden udgangspunkt i forskellige scenarier, som er defineret i FN's klimascenarier, de såkaldte RCP-scenarier (Figur 2.1). DMI og Miljøstyrelsen anbefaler at bruge disse RCP-scenarier ved byggeprojekter fremover. DMI's

anbefaling er, at man benytter RCP4.5 ved projekter, som skal kunne være klimarobuste frem til 2050. Hvis det derimod er projekter, hvor man ønsker en klimarobusthed frem til 2100, bør man tage højde for RCP8.5, hvilket svarer til en global opvarmning på +3,7°C.

Sidstnævnte anbefaling bør være målet med hensyn til at sikre den nødvendige robusthed af byggeriet mod fremtidige skader, og derigennem mindske materialespild og unødig energi.

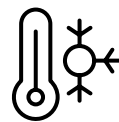
Scenarie	Forcing	Drivhusgaskoncentration	Global opvarmning i 2081-2100
RCP8.5	Over 8,5 W/m ² i 2100	Over 1370 ppm CO ₂ -ækvivalent i 2100	+3,7°C
RCP6.0	Ca. 6 W/m ² ved stabilisering efter 2100	Ca. 850 ppm CO ₂ -ækvivalent ved stabilisering efter 2100	+2,2°C
RCP4.5	Ca. 4,5 W/m ² ved stabilisering efter 2100	Ca. 650 ppm CO ₂ -ækvivalent ved stabilisering efter 2100	+1,8°C
RCP2.6	Topper ved 2,6 W/m ² før 2100 og aftager derefter	Topper ved ca. 490 ppm CO ₂ -ækvivalent før 2100 og aftager derefter	+1,0°C

Figur 2.1 – FN's RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways). Tabel fra Miljøministeriet/Miljøstyrelsen, 2022.



Højere temperaturer

Temperaturen for året som helhed stiger gradvist gennem århundredet. Opvarmningen mærkes på alle tider af året med tendens til størst opvarmning sommer og efterår.



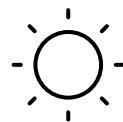
Færre frostdøgn

Højere gennemsnitstemperaturer gør de koldeste dage mindre sandsynlige. Der bliver færre frostdøgn, hvor temperaturen falder under 0 °C.



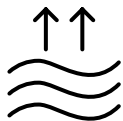
Flere stormfloder

Stormflodshøjderne forventes at stige omtrent lige så meget som middelvandstanden. Det, der i dag er en 20-års hændelse, kan komme til at ske op til flere gange om året.



Flere hedebløgere

Med højere gennemsnits-temperaturer kommer der flere hedebløgede dage. En hedebløge er, når middelværdien af de højeste temperaturer, målt over tre dage, overstiger 28 °C.



Højere vandstand

Vandstanden vil stige hurtigere og hurtigere. Vandet stiger mindst i Nordjylland og mest i det sydvestlige Jylland. Forskellen hænger sammen med landhævningen efter sidste istid.



Mere vinternedbør

Vi får mere nedbør på årsbasis. Det skyldes primært, at vintrene bliver vådere, men til dels også vådere forår og efterår. Den samlede mængde sommernedbør forventes derimod at forblive uændret.



Længere vækstsæson

I takt med opvarmningen bliver en større del af året uden risiko for frost. Vækstsæsonen, fra årets første 6 sammenhængende dage med middeltemperaturer over 5 °C, til årets sidste 6 sammenhængende dage med middeltemperaturer over 5 °C, bliver derfor længere.



Flere skybrud

Selvom der ikke forventes store ændringer i somrenes samlede nedbør, kan vi forvente flere kraftige nedbørshændelser og skybrud om sommeren. De kraftigste nedbørshændelser forventes at blive kraftigere.

Figur 2.2 – Konsekvenser af klimaforandringer ifølge DMI's klimaatlas (DMI, 2020).

Bygningskategorier og skadestyper / dataindsamling - metode

Der er identificeret ca. 600 konkrete skadessager fra henholdsvis Teknologisk Institut samt fra Byggeskadefondens skadesregistre for 1- og 5-års gennemgang. Følgende nøgleinformationer blev registreret:

Bygningskonstruktion

Til kategorisering af de forskellige bygningskonstruktioner er der taget udgangspunkt i "Forvaltnings Klassifikation af februar 2021" (Landsbygggefonden, 2021), hvor der fra afsnit "5.11 Bygningsdelstavl" er angivet 21 bygningsdele for konstruktionsgruppen. For en mere overskuelig sammenligning er disse bygningsdele opdelt i følgende 6 konstruktionstyper:

- Altan
- Dækkonstruktion
- Dør/vindue
- Tagkonstruktion
- Ydervæg
- Terræn/fundament

Skadestype

Her er der taget udgangspunkt i klimaforandringerne i DMI's klimaatlas, som er inddelt i disse 4 grupper:

- **Udeklima.** Konstruktioner der bliver påvirket af svingende relativ luftfugtighed og temperatur, fx kuldebrosproblematikker og ventilation af konstruktioner
- **Overfladevand.** Skader der skyldes vandindtrængning udefra, i form af overfladevand. Fx vandindtrængning i kældre og krybekældre, vandindtrængning fra overflade på altanplader med forkert hældning samt vandindtrængning grundet for lav sokkelhøjde
- **Konstruktive skader.** Skader på klimaskærmen der giver anledning til vandindtrængning eller øget opfugtning af konstruktionerne. Fx utætheder ved vinduer, revner i facaden eller utætheder af tagpap
- **Byggefejl.** Fejl og mangler i forhold til normal god byggeskik, der endnu ikke har medført en konkret skade

Foto: Colourbox.



Dataindsamling - resultater

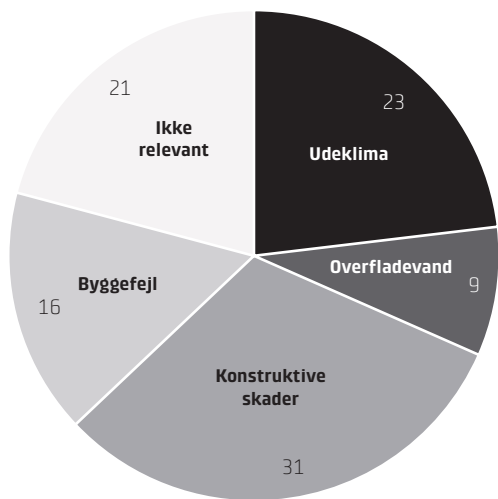
I Figur 4.1 er fordelingen af skader for de 4 forskellige skadestyper angivet, jf. foregående. Af de i alt ca. 600 skader er ca. 20 % angivet som "Ikke relevant". Denne type skader er ikke klimarelaterede, fx revnet badeværelsesfliser, manglende vådrumsmembran eller vandskader i forbindelse med rørbrud. For de klimarelaterede skader er ca. 1/3-del relateret til "Udeklima" og "Overfladevand", hvor ca. en anden 1/3-del er relateret til "Konstruktive skader".

For hver af skadestyperne i figuren overfor er procentfordelingen på de forskellige konstruktionsgrupper vist. Her kan man se, at det primært er for "Udeklima" i tag- og ydervægskonstruktioner, at der ses skader. For tagkonstruktionen er det primært skader relateret

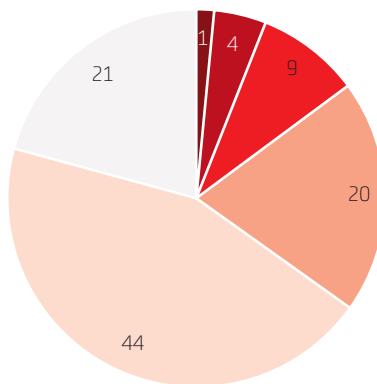
til manglede udluftning, og for ydervæggene er det en blanding af manglende fugtspærre, ventilation og fugt der kendetegner skaderne. For skadestype "Overfladevand" er det skader i forbindelse med skybrud eller oversvømmelser, hvor der er trængt vand ind i bygningen, primært i kældre eller vægge. For de "Konstruktive skader" er mere end 50 % af skaderne sket på ydervæggene primært i form af revner i murværket. Endelig gælder for skadestypen "Byggefejl", at det i overvejende grad er ydervægskonstruktionen - murværket - som er dominerende. Ved skadestypen "Byggefejl", er det vigtigt at gøre opmærksom på, at der endnu ikke er tale om en egentlig skade, men derimod en øget risiko for, at det bliver til en reel skade på et tidspunkt.



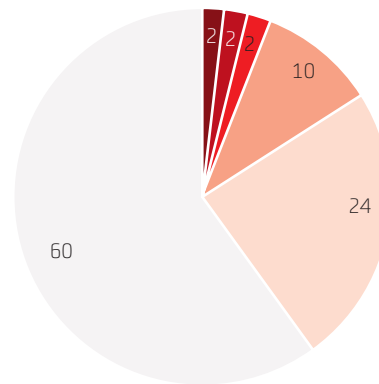
Alle skader - nuværende klimaforhold



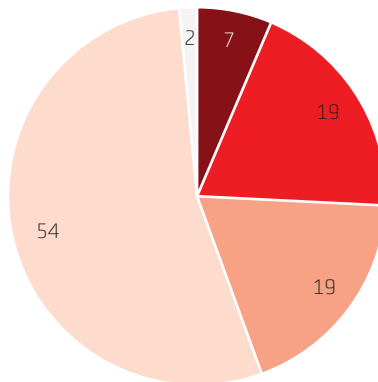
Udeklima



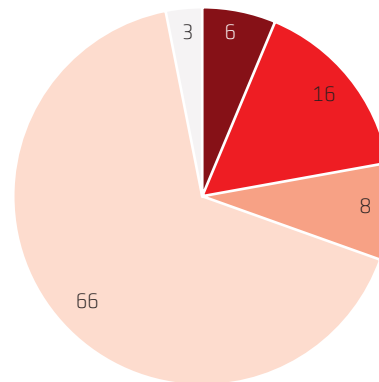
Overfladevand



Konstruktive skader



Byggefejl



Figur 4.1 – Venstre: Fordelingen af skader på forskellige skadestyper. Øverst midt: Skadestype - Udeklima. Øverst højre: Skadestype - Overfladevand. Nederst midt: Skadestype - Konstruktive skader. Nederst højre: Skadestype - Byggefejl

Klimaforandringerens betydning på skadestyper

Med udgangspunkt i DMI's klimaatlas-rapport fra 2020, forventes der frem mod århundredeskiftet en række klimaændringer, der kan få betydning for vores byggede miljø. Temperaturstigninger, flere skybrudshændelser, stigende havvand og voldsommere stormfloder er nogle af de sandsynlige scenarier, som klimaatlas-rapporten

beskriver. I det følgende gennemgås, hvilke skader vi sandsynligvis vil se i større omfang i vores byggede miljø som resultat af de ændrede klimaforhold. Skaderne er beskrevet i tre overordnede afsnit; "Udeklima", "Overfladevand" samt "Konstruktive skader og byggefejl".

UDEKLIMA

Med udgangspunkt i RCP8.5, er det i følge KlimaAtlas (DMI, 2020) prognosen, at vi i fremtidens danske klima - forventeligt i slutningen af dette århundrede - vil opleve nogle af følgende ændringer:

- Den årlige gennemsnitstemperatur vil stige med ca. 3,4 °C
- Temperaturen kommer under frysepunktet omkring 30 dage om året, hvor det nuværende er omkring 80 dage
- Vinternedbøren vil primært være regn da temperaturen generelt er steget
- Sommernedbøren vil overvejende være den samme mængde, den vil dog falde ved kraftigere byger
- Middelvandstanden i havet vil stige, hvilket vil have indvirkning på, at stormfloder vil ramme langt voldsommere (20-års hændelser vil kunne ske hvert eller hvert andet år)

Disse ændringer i vejrliget vil med stor sandsynlighed betyde flere og mere omfattende skader samt en øget risiko for fejl under udførelsen. I det følgende afsnit beskriver vi de typiske skader, der kommer til udtryk i forbindelse med udeklimaet, yderligere.

Frostskader

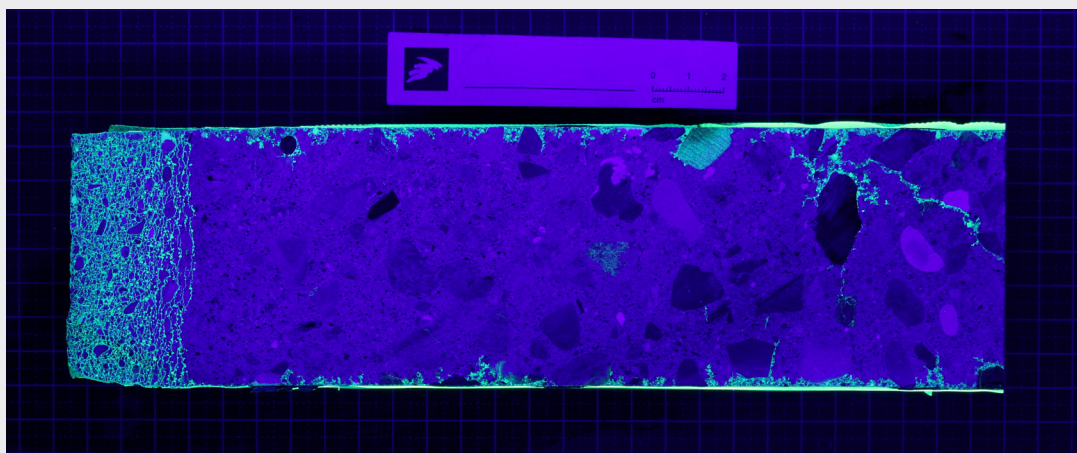
Selvom vinterens middeltemperatur stiger hvormed der vil være færre frostdøgn (antallet af døgn om året hvor laveste temperatur er under frysepunktet), er det ikke nødvendigvis ensbetydende med, at vi kan forvente færre frostskader på fx frisk beton og nyopført murværk.

For den friske beton er det specielt i områder med højporøs og svag beton, særligt kritisk i dæklag

til armeringen. På Institutet erfares årligt skader, der skyldes, at den friske beton har været udsat for frost. Dette har typisk været i forbindelse med særligt milde vintre med pludseligt opstået hård frost. I en fremtid med mere milde vintre og få, men ekstreme temperaturfald, er det sandsynligt, at der vil blive slækket på vinterforanstaltninger og at frostskaadet beton derfor – alt andet lige – kan blive en hyppigere forekommende skade. Det samme gør sig gældende for nyopført murværk, hvor disse frost/tø perioder, kombineret med øget nedbørsmængde kan medføre forhøjet fugtindhold i murværket med frysepunktpassager. Dette vil kunne resultere i frostskaadet murværk med fx forvitring af mørtelfuger.

For relativ nyopført murværk, hvor mørtlen endnu ikke er færdigkarboniseret, vil den forventede øgede nedbørsmængde øge risikoen for høje fugtindhold i murværksmaterialerne ved frysepunktpassagerne. Og det er netop kombinationen af fugtindhold og frost som giver risikoen for skader.

Der er i Figur 5 1 vist en borekerne, som er udtaget fra et in-situ støbt etagedæk på et nybyggeri, som har været udsat for frost under støbningen. Betonen er således blevet afdækket med vintermåtter for sent. Skaden resulterer i, at betondækkets bæreevne er nedsat, da betonen i trykzonen (den øverste del af betonen, venstre side af borekernen) ikke har en reel styrke. Såfremt der ikke foretages reparation, vil holdbarheden være nedsat, da dæklaget formindskes fra oversiden.



Figur 5.1 – Eksempel på en imprægneret (med fluorescerende epoxy) gennemskåret borekerne som har været udsat for frysning umiddelbart efter udstøbningen. Overfladen er til venstre i billedet og kerneanalysen viste følgende: De yderste 35 mm af betonen fremstår porøs og svag. I UV-lys ses nåleformede, revnelignende strukturer ("isnåle") orienteret vinkelret på betonoverfladen, til en dybde af 30 mm. Udover "isnåle" ses fine overfladeparallele revner til en dybde af 35 mm (målt fra overfladen). Isnålene skærer ikke de overfladeparallele revner, hvilket indikerer at isnålene er dannet først.



Figur 5.2 – 8 år gammelt hus, hvor manglende karbonatisering af mørtlen har været medvirkende årsag til misfarvninger og forvitring på murværksmaterialerne.

Nedbør

Kalkcementmørtler baserer sig på kombinationen af to bindemidler; kalk og cement. Som nævnt, kan kalkdelen kun karbonatisere, når fugtindholdet i mørtlen er mellem ca. ½-7 vægt-%. Det betyder, at i kraftigt opfugtede mørtler vil karbonatisering af kalken ikke finde sted, og da ikke-karboniseret kalk er vandopløseligt og basisk, vil der være en øget risiko for misfarvning af sten og fugeoverflader. Det er derfor væsentligt, at mørtlen karbonatiserer.

Ydermere vil en kraftig vandbelastning af mørtlen i forbindelse med opmuring eller i en periode umiddelbart derefter kunne "fange" mørtlen i en ond cirkel, så karbonatisering ikke finder sted, selvom murværket efterfølgende tørrer ud til et fugtindhold under 7 vægt-%. Dermed kan der opstå situationer, hvor mørtlen er meget lang tid om at karbonatisere.

Der ses tilsvarende udfordring med rene cementbaserede mørtler – dog i en mindre grad. Når cement udvikler styrke, er et af reaktionsprodukterne calciumhydroxid (Portlandit). For at opnå en stabil mørtel skal denne calciumhydroxid karbonatisere tilsvarende calciumhydroxid i kalkcementmørtler.

Figur 5.2 er et eksempel på et hus, hvor mørtlen 8 år efter opførelsen endnu ikke er karbonatiseret. Den manglende karbonatisering har medført markante misfarvninger på facader. Skaderne på denne sag har ingen konstruktiv betydning, men er alene kosmetisk og i overfladen af facaden. Alligevel har disse typer af skader omfattende samfundsøkonomiske konsekvenser, da udbedring af skaderne, som fx omfugning, afrensning eller ommuring af hele facader, er forbundet med høje

omkostninger.

I forbindelse med støbning af beton kan kraftig regn før og under støbning øge risikoen for vand og slam i støbeforme og for skred i jorden ved støbning af fundamenter i gravede render, hvilket kan resultere i lokale defekter, der potentielt har stor betydning for armeringens holdbarhed. Defekterne kan bl.a. ses ved, at betonen bliver "fortyndet" og får et højere lokalt v/c-tal (lavere styrke), pastaen kan vaskes ud, hvilket forårsager stenreder i betonen eller der iblandes jord fra de gravede render i betonen, hvilket kan svække styrken lokalt og nedbringe holdbarheden, hvis der er jordklumper i dæklaget.

Tørt og varmt udeklima

Perioder med højere temperatur og tør luft, vil øge risikoen for betonstøbninger med svindrevner. Ved svindrevner "åbner" betonens overflader sig med risiko for yderligere påvirkning af vand og salte. Denne skadestype kan meget ofte relateres til støbning i varmt og blæsende vejr, hvilket har været kendt i mange år. Teknologisk Institutt har dog ikke oplevet en signifikant stigning af denne type skader, men det er vigtigt, at branchen har et øget fokus på dette og tager sine forholdsregler for at mindske en evt. stigning i antallet af den type skader. Specielt selvkompakterende beton (SCC) udviser større risiko for tidligt svind (pga. højere fillerindhold). Da anvendelsen af SCC er blevet mere populært, specielt til gulve/terrændæk, og med de kommende ændringer i klimaet, er der en øget risiko for, at der vil blive udført gulve med flere svindrevner. Kombineret med, at der også forventes yderligere nedbør, er der behov for øget opmærksomhed på at minimere evt. skader.



Udover temperaturens indvirkning på støbning af beton, forventes det også, at en øget gennemsnitstemperatur har en indvirkning på en række af de kemiske processer, der nedbryder de eksisterende betonkonstruktioner, hvorfor disse skader må forventes at accelerere. Processerne er afhængige af flere andre faktorer, fx påvirkningen af fugt/vand, og det gør årsagssammenhænge komplekse og de er desværre ikke tilstrækkeligt belyst. Dog kan følgende nedbrydninger, som kan relateres til et varmere udeklima nævnes:

- Generel øget karbonatiseringshastighed, hvilket kan medføre tidligere rustudvikling for armeringsjern i beton
- Ændring i alkalisk reaktions forhold, herunder aktivering af hidtil ikke reaktivt materiale på grund af øgede temperaturer. Disse reaktioner sker under ekspansion og kan skabe en kraftig og ødelæggende revnedannelse i betonen
- Øgede korrosionshastigheder, dels for armering i karbonatiseret beton og dels i ukarboniseret men chloridpåvirket beton

I betonbyggeriet er der generelt sket en betydelig teknologisk udvikling, der påvirker betons kvalitet og betonkonstruktioners levetid. Da langt de fleste tilstandssager omhandler langsomt virkende nedbrydningsprocesser, kan man være bekymret for, at skader forårsaget af klimaforandringer kan blive overset som følge af nye betontyper, nye typer af overfladebehandling, ændringer i byggeskik mm. Dermed kan det blive vanskeligt at identificere og adskille, hvordan klimaforandringer indtil nu og fremadrettet kan påvirke betonkonstruktionerne.

Varmere vintre

Opmuring i vintre med temperaturer omkring 5 °C og meget regn øger risikoen for misfarvning og forvitring. Murværk må betragtes som værende ekstra sårbart overfor misfarvninger og forvitring, indtil mørtlen er færdigkarbonatiseret. Perioden indtil mørtlen er færdigkarbonatiseret, er meget afhængig af temperaturen. Dette vil betyde, at mørtlen er ekstra sårbar overfor store mængder nedbør, indtil den er karbonatiseret. Dermed vil opmuring i vintre med meget nedbør og temperaturer lige over frysepunktet kunne give udfordringer. Dette har Institutet erfaret ved en relativ stor gruppe af skadessager i forbindelse med vinteren 2019/20, som var mild og våd. Skaderne er som regel forvitring i fugeoverflader, saltudfældninger og misfarvninger på sten og mørtelfuger. Skaderne har generelt ingen konstruktiv betydning, men alene kosmetiske skader på - og i overflader. Efterfølgende vejrligsbelastning fra vind og regn vil accelerere skadesudviklingen, hvorfor skader ofte ses på de mest vejrligseksponerede facader mod syd og vest.

Tørkeperioder

I sommeren 2018 blev der, jf. Forsikring & Pension, anmeldt ca. 200 skadessager relateret til tørke. Skaderne opstod i forlængelse af en lang sommerperiode med rekordvarme og bemærkelsesværdigt lidt nedbør, (DMI, 2018). Før 2018 var tørkeskader på bygninger i Danmark ikke et specielt udbredt/kendt fænomen. Tørkeskader forekommer ved sætninger i jordlagene under og omkring bygningen, hvilket kan give anledning til deformationer, revnedannelser og i værste tilfælde nedstyrtning af bygninger eller bygningsdele.

I henhold til DS/EN 1997-1 (Dansk standard, 2007) skal der vurderes på intakte aflejringer. Dog skal fundamenter altid føres til frostfri dybde, hvilket for almindelige opvarmede bygninger er 0,9 m. Der skal desuden vurderes til svindfri dybde. Bestemmelse af svindfri dybde foretages på baggrund af lerets

plasticitetsindeks. Jo federe lerart des større er plasticitetsindekset og derved dybere svindfri dybde. For små huse på plastisk ler forøges funderingsdybden til minimum 1,2 m til 1,5 m under fremtidigt terræn. Fed ler defineres i SBI-anvisning 231 (Pedersen, 2011), som en jordart med meget finkornede mineraler, der medfører, at leret optræder med stor plasticitet. Som regel vil fed ler i naturlig tilstand optræde med et vandindhold større end 25-30 %. Fundering på denne lertype er derfor problematisk idet lerets volumen varierer med vandindholdet. Disse volumenændringer kan give anledning til bevægelser i fundamenter. Det vurderes, at den kraftige varme og tørke i 2018 sandsynligvis har givet anledning til stort svind i lerlagenes volumen i områder med fede lerarter.



OVERFLADEVAND

I henhold til DMI's klimaatlas-rapport fra 2020 (DMI, 2020), forventes der frem mod år 2100 20-150 % hyppigere skybrud, derudover forventes det, at 10-årshændelse for døgnnedbør vil stige med 4-39 % hyppigere mod år 2100. Begge scenarier er baseret på en RCP8.5. Dette kræver et øget fokus på håndtering af større mængder overfladevand, som i denne folder er opdelt i to grupper:

- Under terræn, det som håndteres i forbindelse med afløbs- og drænsystemer samt grundfugt
- På terræn, det som kommer i forbindelse med fx skybrud eller oversvømmelser

Fra projektet "Skybrudssikring af bygninger", (Teknologisk Institut, 2016) er en række løsninger i forhold til skybrudssikring beskrevet.

Under terræn

I forhold til at beskytte byggeriet mod vand/fugt i og på terræn, er det Instituttets vurdering, at følgende skal have den fremtidige opmærksomhed for at minimere skader:

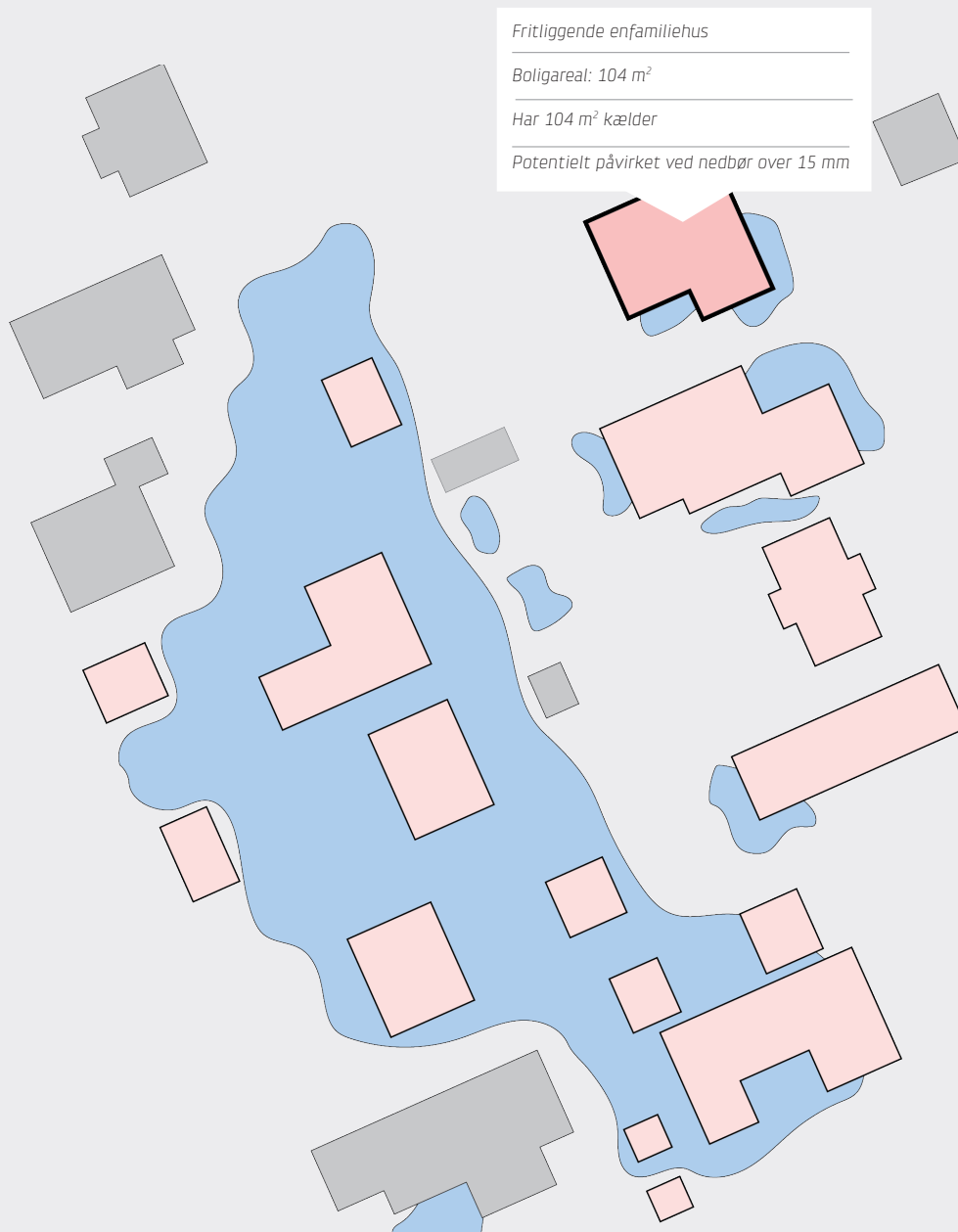
- Beskyttelse af afløbssystemet mod opstemning i hovedkloak
- Beskyttelse af drænanlæg omkring bygningen
- Sikring mod grundfugt

I forbindelse med større skybrud og oversvømmelser er der risiko for, at der sker et tilbageløb i afløbssystemer og ind i bygningerne. Der har dog siden det store skybrud tilbage i 2011 været høj opmærksomhed på dette problem, hvor der efterfølgende er blevet investeret i mange løsninger til håndtering af dette. Det

gælder både højvandslukke, pumpe- og bypassanlæg, og i nyere tid øget fokus på at tilbageholde vandet over terræn, hvorefter det kontrolleret kan bortledes.

Skader relateret til grundfugt ses ofte i ældre kældervægge, samt i ældre terrændæk, hvor det oprindelige kapillarbrydende lag måske lige har været tilstrækkelig til datidens grundfugt, og hvor det måske ikke er modstandsdygtigt over for den relativt højere grundfugt. Der er dog også eksisterende terrændæk, hvor det oprindelige kapillarbrydende lag, måske aldrig har været tilstrækkelig effektivt.

I størstedelen af de ældre ejendomme er kælderydervæggene udført i murværksmaterialer, og da disse naturligt indeholder vandopløselige bestanddele som fx salte, kalk og gips samt da murværket har en vis porøsitet, vil de vandopløselige bestanddele ved kraftig og vedvarende fugtpåvirkning opløses. Fugten medfører, at der sker en intern flytning af fx salt rundt i materialet, og når fugten fra overfladen efterfølgende fordamper, vil de opløste bestanddele som er transporteret med fugten udfældes på materialets overflade (saltudfældning mv.).



Figur 5.3 – Illustration som viser lavninger i terræn der vil fyldes med vand ved en døggnedbør på 75 mm, hvis der ikke er kloakering eller nedsivning. Det viste eksempel er et område hvor døggnedbøren for en 50-års hændelse er 97 mm for perioden 2011-2040, RCP 8.5 ifølge DMI's Klimaatlas.

På terræn

Større mængder af vinternedbør, skybrud og oversvømmelser medfører en øget risiko for direkte vandpåvirkning på vores konstruktioner og bygningsdele, og derfor er der behov for beskyttelse af disse. Det gælder primært:

- Kældernedgange
- Lyskasser
- Døre- og vinduesåbninger
- Gennembrydninger af fundament, fx ventilationsåbninger
- Installationer tæt på terræn
- Bygninger med niveaufri adgang

Her er det generelt vigtigt, at der er fokus på vandets strømningsveje tæt på bygningerne ved bl.a. at sikre, at vandet løber væk fra bygninger, hvor det er muligt og ellers sørge for anden afskærmning. På Miljøministeriet/ Miljøstyrelsen side, klimatilpasning.dk (Miljøministeriet/ Miljøstyrelsen, 2021), findes værktøjet "KAMP", der bl.a. kan anvendes til at vurdere strømningsveje, risiko for oversvømmelse mv. både for eksisterende forhold, men

også i forhold til kommende klimaændringer. Der er i Figur 5.3 vist et udvalgt område, hvor lavninger i terræn vil fyldes med vand ved en døggnedbør på 75 mm, hvis der ikke er kloakering eller nedsivning. Det konkrete eksempel er et område i Rudersdal Kommune, hvor der ifølge DMI's Klimaatlas er en døggnedbør på 97 mm ved en 50-års hændelse for perioden 2011-2040 ved en RCP 8,5.

Hyppigere perioder med øget nedbør og skybrudssituationer betyder, at det er vigtigt, at de eksisterende afvandringsforanstaltninger vurderes i forhold til, om de er tilstrækkelige, eller om der er behov for yderligere sikkerhedsforanstaltninger. Fx vil udvendige betonkonstruktionsdele være udsat for mere vand, end de måske er designet til at modstå. Hvis disse bliver vandskadede, vil udviklingen af skaden ofte foregå langsomt og være svær at opdage, og vanskelige at adskille fra normal betonedbrydning. Hvor det for andre byggematerialer hurtigere vil være muligt at vurdere potentielt skadesomfang og årsagen til skaden. Det gælder fx trækonstruktioner, der hurtigere viser en påvirkning efter opfugtning.



KONSTRUKTIVE SKADER OG BYGGEFEJL

Konstruktive skader og byggefejl er i denne folder defineret som følger:

- Revner
- Manglende sokkelhøjde
- Manglende fugtspærre
- Manglende/utæt vindspærre
- Manglende fugtsikring/-strategi
- Indbygning af fugtige materialer

Ens for disse skader/fejl er, at de ofte først udvikler sig til en reel skade, hvis der bliver tilført fugt i den ene eller anden form. Fx er revner i en muret facade (udover det statiske) først et problem, når der tilføres fugt som kunne være i form af regn/slagregn, der trænger ind i konstruktionen og som tidligere beskrevet, vil kunne medføre en transport af salte, der på sigt udfælder. Udover forvitring af fuger og misfarvninger, er der over det sidste stykke tid set en øget tendens til fugeslip af elastiske fuger i grænsefladen mellem fuger og murværk pga. saltudfældningerne i overfladen.

Ligeledes er det generelt ikke et problem med opførelse af bygninger i træ, så længe fugt/nedbør mv. håndteres korrekt, og der foreligger en detaljeret fugtstrategi, og man har for øje, at det er et organisk materiale

man bygger med, modsat fx porebeton. Derfor vurderes det ikke, at perioder med hyppigere nedbør nødvendigvis vil have betydning for bygninger udført i træ (som konstruktioner), hvis det generelle klima (gennemsnitligt) er uændret, da træets fugtindhold tilpasses over en vis tid. Derfor er kortvarige hændelser ikke kritiske. Ændres det gennemsnitlige fugtniveau (RF) derimod til et højere niveau, vil trækonstruktioner kunne komme under pres, da et forhøjet fugtniveau i træet vil kunne ændre træets mekaniske egenskaber til et ringere niveau.

Der ses ligeledes ofte skader i byggeriet, hvor de forskrevne ventilationsforhold i konstruktionerne ikke har været fulgt, fx for tagrum og lette facader samt for overdækkede (udendørs) konstruktioner. Specielt for disse konstruktioner er, at funktionen er afhængig af de ydre fugtforhold. Hvis disse ændres, er det derfor vigtigt, at få klarlagt om konstruktionerne - i deres nuværende form - har den nødvendige robusthed over for fremtidens udeklima.



Konklusion

På baggrund af information opnået gennem ovenstående arbejde med den afgrænsede dataindsamling, baseret på et udpluk af Institutets egen data samt data stillet til rådighed fra Byggeskadefonden, samt de forventede skadestyper forårsaget af de kommende klimaændringer, ser Institutet et behov for, at der fremadrettet er fokus på følgende emner:

- Fokus på klimarobuste, fugt-og temperaturbestandige byggematerialer
- Fokus på klimarobust byggeskik – tæthed, effektivitet og holdbarhed
- Fokus på klimasikring af nye bygninger, grønne områder og veje – regnafstrømning og klimatilpassede løsninger
- Fokus på konstruktionernes fugt tekniske robusthed – modellering af hygrotermisk performance i forhold til nuværende og fremtidigt klima
- Fokus på kystsikring

Som beskrevet i ovenstående for de forskellige klimaforandrings betydning på skadestyper sammenholdt med at det primært er ydervægge og tagkonstruktion, hvor der er registreret skader, og der ikke specifikt er kigget på de forskellige materialer. Der kan ikke udledes noget direkte fra dataindsamlingen for enkelte materialetyper, men som angivet i beskrivelsen af de forskellige skadestyper, er der risiko for skader på alle typer af materialer, dog på hver sin måde og omfang. Det forventes, at der med disse fokusområder fremadrettet kan skabes et grundlag for at udvikle

klimaresilient byggeri og anlæg for at udbedre og forebygge klimarelaterede skader.

Til det skal det nævnes, at omfanget af skader i byggeriet som udgangspunkt kan begrænses, hvis fugttilførslen ligeledes er begrænset. Derfor er det også alment kendt, at bygninger som udgangspunkt bør udformes efter de 6 V'ers principper fra SBI-Anvisning 224 – Fugt i bygninger: Vis Vand Væk – Vand Volder Vanskeligheder, (Brandt, m. fl., 2013). Her bliver der ligeledes gjort opmærksom på nedenstående, der både i nuværende byggeri og i fremtidens byggeri med kommende klimaændringer langt hen ad vejen kan minimere skader i byggeriet:

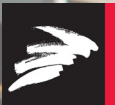
- Udhæng, som reducerer mængden af slagregn
- Sokkel, på mindst 150 mm som er tæt og reducerer opsprøjt på fugtfølsomme overflader
- Omfangsdræn, som fjerner nedsvivende vand
- Vandnæse, som sikrer at vandet drypper af uden for facaden
- To-trins klimaskærm med regnskærm yderst foran vindtæt lag bagved

Derudover anbefaler vi, at der i forbindelse med nybyggeri samt renovering af bygninger hvor der er risiko for fugtskader, udarbejdes en fugtstrategi uanset hvilke byggematerialer der anvendes. Fugtstrategien skal sikre, at mængden af fugtskadede byggematerialer, der skal udskiftes og mængden af energi, der skal bruges på udtørring af fugt, mindskes.

Litteratur

Følgende litteratur er blevet anvendt i tilblivelsen af denne folder:

- Brandt, m. fl. (2013). SBI-Anvisning 224 - Fugt i bygninger. Statens Byggerforskningsinstitut - Aalborg Universitet
- Dansk standard. (2007). DS/EN 1997-1 - Eurocode 7: Geoteknik - Del 1: Generelle regler. DS
- DMI. (3. september 2018). Vejret i Danmark – sommer 2018. Hentet fra https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Afrapportering/Saesonoversigter/sommer18.pdf
- DMI. (2020). Klimaatlas-rapport Danmark. Hentet fra https://www.dmi.dk/fileadmin/Klimaatlas/rapporter/DMI_Klimaatlas_Danmark_rapport_v2020a.pdf
- Knudsen, K. L., Houmark-Nielsen, M., & Noe-Nygaard, N. (2022). Sen Weichsel i Naturen i Danmark på lex.dk. Hentet fra https://naturenidanmark.lex.dk/Sen_Weichsel
- Landsbyggefonden. (februar 2021). Forvaltnings Klassifikation. Hentet fra <https://lbf.dk/media/1558345/tabeller-v-2-3-2-2021-02-23.pdf>
- Miljøministeriet/Miljøstyrelsen. (2021). KAMP - et klimatilpasning- og arealanvendelsesværktøj til miljø- og planmedarbejdere. Hentet fra <https://kamp.klimatilpasning.dk/>
- Miljøministeriet/Miljøstyrelsen. (15. 06 2022). Klimatilpasning. Hentet fra <https://www.klimatilpasning.dk/viden-om/fremtidens-klima/klimascenarier/>
- Pedersen, E. S. (2011). SBI-Anvisning 231 - Fundering af mindre bygninger. BUILD AAU
- Teknologisk Institut. (2016). Skybrudssikring af bygninger. Hentet fra <https://www.skybrudssikringafbygninger.dk/>



TEKNOLOGISK
INSTITUT

