



# Hvornår udløses en skade ved oversvømmelse?

---

## **Bygninger og befæstelsers sårbarhed**

Udarbejdet for Miljøstyrelsen

Dato: 23. december 2022

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Sammenfatning</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Indledning</b> .....	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Metode</b> .....	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Karakterisering af vandkilder</b> .....	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>Bygninger og sårbarhed</b> .....	<b>10</b>
5.1	Kategorisering af bygningstyper .....	11
5.1.1	Bygningskategori 1: Bindingsværkshuse frem til ca. 1900 & Landhuse og mindre byhuse frem til ca. 1920 .....	11
5.1.2	Bygningskategori 2: Patriciervillaer ca. 1860-1930; Murermesterhuse fra ca. 1900-1960; Funkisvillaer fra ca. 1925-1945; Bungalow ca. 1925-1945; Huse fra perioden ca. 1940-1960.....	12
5.1.3	Bygningskategori 3: Huse fra perioden ca. 1960-1975 .....	12
5.1.4	Bygningskategori 4: Huse fra perioden ca. 1975-2000 .....	13
5.1.5	Bygningskategori 5: Huse fra perioden 2000 og frem .....	13
5.2	Vurdering af bygningskategoriernes sårbarhed overfor vandindtrængning .....	13
5.3	Vurdering af materialesammensætning af bygningselementer .....	14
5.4	Priser for genopretning efter oversvømmelseskade .....	16
<b>6.</b>	<b>Befæstelser og sårbarhed</b> .....	<b>20</b>
6.1	Årsager til skader fra vand på en befæstelse .....	21
6.1.1	Bæreevnen af en befæstelse .....	21
6.1.2	Eksempel: Sårbarhed ved vand i en befæstelse .....	22
6.2	Oversvømmelseskilder til vand i befæstelse .....	23
6.2.1	Nedbør .....	23
6.2.2	Stormflod .....	23
6.2.3	Opstigende grundvand .....	24
6.2.4	Oversvømmelse fra vandløb, der er gået over sine bredder .....	24
6.3	Risiko for samt sårbarhed ved vand i en befæstelse .....	24
<b>7.</b>	<b>Beregningseksempel ved BEST Klimatilpasning</b> .....	<b>26</b>
7.1	Datagrundlag og forudsætninger .....	26
7.2	Resultater .....	28



## 1. Sammenfatning

Hovedformålet med opgaven er at opnå en større viden om, hvad der har betydning for skadesomkostningerne for oversvømmelser af bygninger (primært anvendt til beboelse) og veje fra de forskellige vandkilder (nedbør, hav, vandløb og terrænnært grundvand). I forhold til den gængse opdeling af skadestyper i direkte/indirekte og håndgribelig/ikke-håndgribelige skader har denne opgave fokus på de udløsende faktorer for direkte håndgribelige skader.

Der foretages indledningsvist en overordnet vurdering af de enkelte vandkilder i forhold til diverse oversvømmelseskarakteristika og dernæst kortlægges sårbarheden ved bygninger og veje. For bygninger fokuseres på både den "ydre" og "indre" sårbarhed, hvor den ydre repræsenterer sårbarheden overfor vandindtrængning, mens den indre repræsenterer sårbarheden overfor skade, når vandet er trængt ind i bygningen.

Det er oftest først, når vandet er trængt ind i bygningen, at de større skader sker, og skaderne ved vandindtræng i bygninger er derfor i fokus i denne opgave. For bygninger benyttes således en "bottom-up" analyse til at estimere sårbarhed og forventede enhedspriser for skade.

I opgaven er den overordnede karakter af oversvømmelseskilderne indledningsvist kortlagt, og det kan konkluderes, at det i skadesmodeller for bygninger og veje i høj grad er hensigtsmæssigt at skelne mellem oversvømmelseskilderne, dvs. om der er tale om oversvømmelse fra skybrud, vandløb, hav eller grundvand. Dette er med baggrund i, at oversvømmelseskilderne typisk varierer i varighed (fra timer-dage til uger-måneder), vandets indhold af salt og bakterier (ferskvand, saltvand, spildevand), dybden (centimeter-meter) samt de deraf følgende skadesproblematikker på bygninger og veje der opstår som konsekvens af oversvømmelsen.

Det kan i øvrigt konkluderes, at med hensyn til risikoen for vandindtrængen i bygninger ("ydre sårbarhed") er det på baggrund af erfaringsbaserede ekspertvurderinger anslået, at ældre bygninger i højere grad tillader vandindtrængen end bygninger af nyere dato. Dette er primært baseret på de væsentlige ændringer, der skete i Bygningsreglementet i 1972, hvorefter man i højere grad begyndte at fugtsikre bygningsfundamenter og kældre.

I forhold til bygningernes sårbarhed, når vandet er trængt igennem klimaskærmen ("indre sårbarhed"), er der baggrund for at forvente en vis variation i de typiske materialeopbygninger indenfor og imellem de definerede 5 bygningskategorier. Nyere bygninger har typisk betongulve med træ, ydermure med mursten, mineraluld og letbeton samt indervægge af letbeton. I ældre bygninger er der en større grad af variation i materialesammensætningerne, også fordi de ofte kan være renoverede efter mere moderne byggeskikke. Denne variation slår dog ikke umiddelbart igennem i de estimerede gennemsnitlige omkostninger til genopretning efter oversvømmelse, da der umiddelbart kun er identificeret en mindre forskel mellem de forskellige bygningskategorier (og opførelsessår), når de forskellige elementer sammenvægtes. Analysen giver derfor ikke umiddelbart grundlag for at differentiere i skadesomkostningerne ved oversvømmelse imellem bygningskategorier og dermed årstallet for opførelse. Dette er naturligvis under forudsætning af, at vandet er kommet ind gennem bygningens klimaskærm og kan forvolde skade (jf. ovenstående).

Bottom-up analysen anvendt i denne opgave medfører estimerede enhedspriser, der er væsentligt højere end de nationale enhedspriser, der normalt anvendes i skadesmodeller til værdi- og risikokortlægning ifm. oversvømmelse. De nationale enhedspriser er baseret på forsikringsdata, og for at undersøge konsekvensen af at anvende hhv. enhedspriser baseret på forsikringsdata og enhedspriserne estimeret i denne opgave, er der ud-

ført en analyse af et givet område i Aarhus. Resultatet af undersøgelsen viser – som forventet – at anvendes enhedspriser for skade fra nærværende opgave, medfører det, at klimatilpasning generelt bliver væsentligt mere rentabel, og at der kan retfærdiggøres et højere serviceniveau for vand på terræn end ved anvendelse af de nationale enhedspriser.

Med hensyn til veje afhænger sårbarheden ved vand i befæstelsen af følgende:

- Opbygning (lagtykkelse af de enkelte lag, materialer i de enkelte lag og vandfølsomhed af materialerne i form af reducere af E-værdi ved vandmætning) samt tilstand af befæstelse (eksempelvis reduceret bæreevne som følge af nedbrudt asfalt).
- Dimensioneringstrafik og -hastighed (jo lavere hastighed, jo lavere stivhed af asfalten og derved lavere bæreevne).
- Varighed (tid), hvor befæstelsen er helt eller delvist vandmættet, samt tidshorisont fra vandmætning indtil det naturlige vandindhold i befæstelsen er genoprettet.

Befæstelser er altså umiddelbart ikke følsomme overfor, om det er ferskvand, saltvand eller spildevand, der tegner sig for oversvømmelsen, og det er i højere grad karakteristika ved befæstelsen (opbygningen) samt anvendelsen af den (trafik og hastighed), der er styrende for evt. skader ved hel eller delvis vandmætning. Imidlertid bidrager også varigheden af vandmætningen til risikoen for skader, og her har terrænnært grundvand ofte en længere varighed end oversvømmelser fra nedbør, vandløb og havet. Skader på befæstelser kan dog også opstå pga. erosion som følge af strømmende vand på terræn, og her er det primært oversvømmelser fra hav og vandløb – og sekundært nedbør – der fører til erosion af befæstelser.

Implikationerne af ovenstående konklusioner er følgende:

#### **Databehov og -indsamling:**

- Analysen viser, at alder på bygninger – der er korreleret med bygningskategori – kan anvendes til en indledende 'bottom-up'-beregning af enhedspriser for omkostninger til genopretning efter opfugtning. Denne beregning ville kunne kvalificeres, hvis der var data til rådighed på især gulvmaterialer og materialer anvendt i indermure og -vægge.
- Opbygningen af befæstelser – herunder større og mindre veje – er i vidt omfang ikke kortlagt, og derfor er det vanskeligt at vurdere sårbarheden overfor vandmætning og oversvømmelse. Det vil alt andet lige være en fordel at kortlægge opbygningen af de mest anvendte veje, hvor den ikke er kendt.

#### **Værdisætning og skadesmodeller:**

- Potentielt kan der i skadesmodeller med fordel skelnes imellem bygninger opført før og efter 1973-75, da der umiddelbart vurderes at være større risiko for vandindtrængning og efterfølgende opfugtning i de ældre bygninger. BBR indeholder oplysninger om opførelsesåret.
- I opstillingen af værdikort kan der potentielt indarbejdes specifikke BBR-oplysninger omkring bygningsenhedernes anvendelse og om en kælder er godkendt til beboelse. Oplysningerne giver indirekte informationer omkring forventet materialeopbygning, idet fx kældre godkendt til beboelse forventes at bestå af dyrere materialeopbygning og løsøre, og dermed højere genopretningsomkostninger efter oversvømmelse, end ubeboede kældre.
- De nationale enhedspriser for skader ved oversvømmelser fra skybrud baseres på forsikringsdata og repræsenterer en "topdown"-tilgang til estimeringen af skaderne. Disse enhedspriser er væsentligt lavere end de estimerede enhedspriser i denne opgave, hvor en "bottom-up"-tilgang er anvendt. Da enhedspriser for skadesomkostninger er en meget afgørende faktor i beregningen af de samfundsøkonomiske nettogevinsten ved klimatilpasning, anbefales det at undersøge baggrunden for forskellene yderligere, så det

bliver muligt at komme tættere på enhedspriser, der afspejler de reelle skadesomkostninger så nøjagtigt som muligt.

## 2. Indledning

Skadesmodeller til værdi- og risikokortlægning ifm. oversvømmelse bygger på forskellige antagelser om, hvornår der udløses en skade på bygninger og veje. Miljøstyrelsen har igangsat denne opgave med henblik på at tilvejebringe ny viden om, hvilke forhold der skal være til stede, for at skaderne opstår. Det er hensigten, at resultaterne kan danne grundlag for at forbedre de skadesværdier og -modeller, der anvendes af kommuner, staten og andre aktører til værdi- og risikoberegning i forbindelse med klimatilpasning og sikring mod skader ved oversvømmelse.

Nærværende dokument udgør NIRAS' afrapportering af opgaven. I afsnit 1 sammenfattes rapporten, og i afsnit 3 præsenteres den overordnede tilgang til opgaveløsningen. Derefter følger i afsnit 4 en overordnet karakteristik af de enkelte oversvømmelseskilder, mens afsnit 5 og 6 beskriver sårbarheden af henholdsvis bygninger og veje. I afsnit 7 følger et beregningseksempel hvori enhedspriserne for skadesomkostningerne ved oversvømmelse varieres.

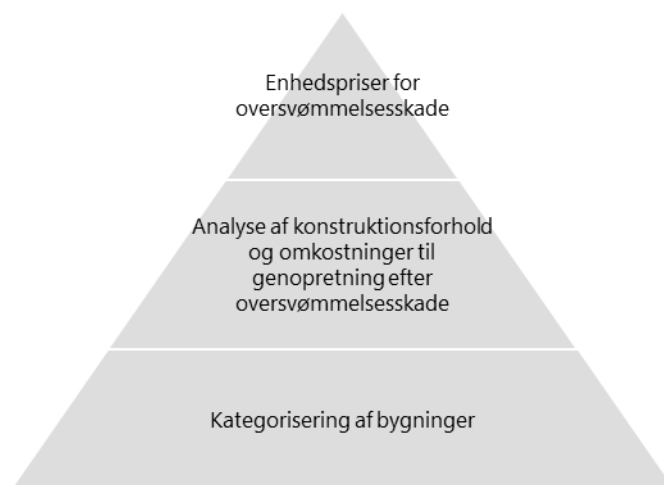
### 3. Metode

Hovedformålet med opgaven er få en større viden om, hvad der har betydning for skadesomkostningerne for oversvømmelser af bygninger (primært anvendt til beboelse) og veje fra de forskellige vandkilder (nedbør, hav, vandløb og terrænnært grundvand). I forhold til den gængse opdeling af skadestyper i direkte/indirekte og håndgribelig/ikke-håndgribelige skader har denne opgave fokus på de udløsende faktorer for direkte håndgribelige skader.

Der udføres indledningsvist en overordnet vurdering af de enkelte vandkilder i forhold til diverse oversvømmelseskaraktistika, som kan have konsekvens for den afledte skade under oversvømmelse.

Dernæst kortlægges sårbarheden ved bygninger og veje med angivelse af de primære udløsende årsager til oversvømmelseskade. For bygninger fokuseres på både den "ydre" og "indre" sårbarhed, hvor den ydre repræsenterer sårbarheden overfor vandindtrængning, mens den indre repræsenterer sårbarheden overfor skade, når vandet er trængt ind i bygningen.

Det er oftest først, når vandet er trængt ind i bygningen, at de større skader sker, og skaderne ved vandindtræng i bygninger er derfor i fokus i denne opgave. For bygninger benyttes således en "bottom-up" analyse til at estimere sårbarhed og forventede enhedspriser for skade på baggrund af en analyse af forventede konstruktionsforhold, materialeopbygninger og forventede omkostninger til genopretning efter skade inden for forskellige bygningskategorier, se *Figur 3.1*.



*Figur 3.1: Bottom-up analyse af enhedspriser for genoprettelse af materiel skade efter vandindtrængning i boliger*

De nye enhedspriser for skade implementeres i en samfundsøkonomiske analyse af klimatilpasning i et vandopland i den vestlige del af Aarhus med henblik på at evaluere betydningen for det beregnede serviceniveau for vand på terræn i henhold til Serviceniveaubekendtgørelsen. Beregningerne udføres ved BEST Klimatilpasning, som er NIRAS' værktøj til skadesmodellering og samfundsøkonomiske analyser i webGIS.

I opgaveløsningen er der fokus på at beskrive datagrundlaget for at vurdere oversvømmelsessårbarheden af bygninger og veje, både i forhold til eksisterende offentligt tilgængelige data og i forhold til ønsker til supplerende data.

## 4. Karakterisering af vandkilder

Et vigtigt udgangspunkt for at vurdere sårbarheden af bygninger og veje overfor oversvømmelse er viden om de overordnede karakteristika, som kan tilknyttes forskellige typer af oversvømmelser.

I Figur 4.1 er det forsøgt at inddele oversvømmelser ift. den udløsende hovedårsag, f. eks. skybrud, kraftig regn, storm og faldende bynær grundvandsoppumpning. Hver hovedårsag er vurderet i forhold til geografisk skala, oversvømmelsestype, vandtype, typisk vanddybde, hastighed (kinetisk energi) og overordnet skadesproblematik. Figuren skal tages som et groft bud på en inddeling og karakterisering af typiske danske oversvømmelser, hvilket grundlæggende er vanskeligt, idet der kan optræde endda betydelige overlap mellem de enkelte oversvømmelseskategorier og typiske karakteristika.

Hovedårsag	Geografisk område	Oversvømmelseskilde	Vandtype	Dybde	Energi	Skadesproblematik
Skybrud (pludselig og voldsom tilførelse af vand til kloakker og vandløb)	Lokalt	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Kloak</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Lavning/terræn</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Mindre vandløb</div>	Kloakvand Regnvand Ferskvand	< 0,5 m (lav)	Lille-stor	Vandindtrængning og opfugtning. Erosionsrender, erosion af bygningsfundamenter og infrastruktur
Kraftig regn (opstuvning af vand i åer, kloakker og grundvand). Snesmeltning	Opland Åmundinger Ådale	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Kloak</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Lavning/terræn</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Vandløb</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-top: 10px;">Terrænnært grundvand</div>	Kloakvand Regnvand  Ferskvand	< 0,5 m (lav)  -3-0 m	Lille-stor  Ingen	Vandindtrængning og opfugtning. Erosionsrender, erosion af bygningsfundamenter og infrastruktur  Vandindtrængning og/eller opfugtning
Storm (stormflod med forhøjet vandstand)	Kystzone Åmundinger	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Bølgeopslag, digebrud og overstrømning</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 2px;">Hav og fjord</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Vandløb</div>	Saltvand  Saltvand Brakvand	> 1 m (høj)  < 1 m (mellem)	Lille-stor  Lille-stor	Vandindtrængning og opfugtning. Erosionsrender, erosion af bygningsfundamenter og infrastruktur  Vandindtrængning og opfugtning
Faldende bynær grundvandsoppumpning. Kloaktætning. Manglende vedligehold af dræn	Lokalt - opland	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-top: 10px;">Terrænnært grundvand</div>	Ferskvand	-3-0 m	Ingen	Vandindtrængning og/eller opfugtning

Varighed →  
 minutter    timer    dage    uger-mdr

Figur 4.1: Karakteristik af oversvømmelser med udgangspunkt i den primære hovedårsag. Dækker de fleste oversvømmelsestyper i Danmark

Betragtes hovedårsagen "skybrud", med intens tilføjelse af nedbør inden for et mindre område, er den typiske konsekvens oversvømmelse fra kloak, direkte opstuvning og oversvømmelse på terræn eller oversvømmelse fra mindre vandløb. Oversvømmelserne optræder typisk i sommerhalvåret og har ofte relativ kort varighed (fra minutter til timer). Der kan være tale om forskellige vandtyper afhængig af oversvømmelsestypen og kloakering. Er der tale om et kloakeret byområde er der varierende risiko for regnvandsopblandet spildevand i bygninger og på terræn, og risikoen afhænger bl.a. af kloakeringstypen (fælles eller separat). Ved oversvømmelse fra mindre vandløb er der primært tale om ferskvand. Vanddybden for det afstrømmende vand ved skybrud er generel lav (<0,5 meter), mens energiniveauet for vandet kan variere betydeligt afhængig af terrænfald, hastighed og vanddybde (jo større vanddybde og hastighed, jo større kinetisk energi som kan forvolde erosion). Den typiske skadesproblematik er vandindtrængning, opfugtningsskader og tab af indbo og løsøre i bygninger samt omkostninger til oprydning af f.eks. veje. Ved voldsom strømning af vand på terræn kan der optræde erosionskader og efterfølgende behov for genoprettelse.



Sammenlignet med skybrud er kraftig regn ofte af mere lavintens og regional karakter (oplandsskala) og forbundet med længere varighed. Dette kan medføre, at øvre jordlag og sekundære grundvandsmagasiner fyldes op i oplandet, sådan at også større vandløbssystemer bliver overfyldte med mere regionale oversvømmelser til følge, typisk i ådale og ved åmundinger. Grundvandsstigninger og terrænnært grundvand kan også føre til f.eks. vandindtrængning i kældre med afledte skader til følge. Kraftig regn kan være særlig kritisk i våde perioder i vinterhalvåret, hvor vandsystemerne i forvejen er næsten fyldte. Pludselig snesmeltning er ligeledes et velkendt fænomen i Danmark, som mht. afledte konsekvenser ligner kraftig regn.

Storme kan medføre forhøjet vandstand med oversvømmelser til følge. Oversvømmelserne kan have meget forskellig karakter. Ved decideret digebrud kan vandstrømningen og oversvømmelsen have betydelig energi og vanddybde, som kan medføre voldsom ødelæggelse og potentielt bortskylle bygninger, veje, jernbaner og anden infrastruktur. Ellers er skaderne fra oversvømmelse generelt karakteriseret ved, at hav- eller fjordvandstanden overstiger lavtliggende områder, typisk havnenære områder i byerne. En mulig konsekvens af forhøjet vandstand i hav og fjorde er tilbagestuvning i vandløb, sådan at der også optræder oversvømmelse fra tilstødende lavtliggende vandløb. En væsentlig forskel i forhold til de ferske regnvandsafledte oversvømmelsestyper er, at vandet er mere eller mindre saltholdigt, hvilket kan medføre andre skadestyper end de nedbørsafledte oversvømmelser med ferskvand.

Ovennævnte hovedårsager og oversvømmelsestyper er betinget af nedbør og storme og forventes at optræde hyppigere og i voldsommere omfang i fremtiden som en konsekvens af de forventede klimaændringer. En anden hovedårsag til oversvømmelse er faldende grundvandsoppumpning, som i bynære områder kan medføre grundvandsstigninger og afledte skader. Denne problemstilling er velkendt, f.eks. i lavtliggende områder i Hovedstadsområdet, hvor den bynære grundvandsoppumpning er reduceret markant de seneste årtier. En anden årsag til grundvandsstigninger er sanering og tætning af nedslidte utætte afløbsledninger, der inden saneringen har fungeret som dræn for det terrænnære grundvand. Tætningen kan medføre, at grundvandet stiger med oversvømmelses- og opfugtnings-skader til følge. Dette kan også være en konsekvens af manglende vedligehold af dræn, f.eks. i sommerhusområder.

I den videre anvendelse af sårbarhed overfor oversvømmelse, er det ønskeligt at skelne mellem oversvømmelsens kilde, dvs. om der er tale om oversvømmelse fra skybrud, vandløb, hav eller grundvand. Som det er illustreret på Figur 4.1 kan disse oversvømmelser optræde af vidt forskellige årsager. For eksempel kan grundvandsstigninger være betingede af både nedbør og reduceret grundvandsoppumpning. På Figur 4.2 er de identificerede karakteristika opstillet for de enkelte oversvømmelseskilder.

Oversvømmelseskilde	Vandtype	Dybde	Energi	Skadesproblematik
Skybrud (og kraftig regn)	Kloakvand Regnvand Ferskvand	Lav	Lille-stor	Vandindtrængning og opfugtning. Erosionsrender, erosion af bygningfundamenter og infrastruktur
Vandløb	Ferskvand	Lav- mellem	Lille-stor	Vandindtrængning og opfugtning. Erosionsrender, erosion af bygningfundamenter og infrastruktur
Hav	Saltvand	Mellem- høj	Lille-stor	Vandindtrængning og opfugtning. Erosionsrender, erosion af bygningfundamenter og infrastruktur
Terrænnært grundvand	Ferskvand	Ingen	Ingen	Vandindtrængning og opfugtning

Varighed → minutter    timer    dage    uger-mdr

Figur 4.2: Karakteristik af oversvømmelser ift. kilden

## 5. Bygninger og sårbarhed

Bygningers sårbarhed overfor oversvømmelse og deraf følgende opfugtning er primært relateret til de *indre* dele af bygningen, der anvendes til beboelse og ophold og derfor ønskes tørre, opvarmede og frem for alt ikke sundhedsskadelige for mennesker at være i. Selvom bygninger er designet til at holde elementerne ude, kan der stadig være en række punkter i den ydre klimaskærm, der er sårbare ved oversvømmelse. Gennem alle gennembrydninger af tag (f.eks. udluftningshætter), gulv (f.eks. afløb) og ydervægge (f.eks. rørgennemføringer) kan vandet trænge ind, ligesom vandet oftest finder vej igennem døre og vinduer.

Det er oftest først, når vandet er trængt ind i bygningen, at de større skader sker, og skaderne ved vandindtrængen i bygninger er derfor i fokus i denne opgave. De relevante skader, der opstår ved oversvømmelse af en bygnings indre, er først og fremmest de skader, der gør bygningen uegnet til ophold og beboelse, selvom der naturligvis også kan være skader af funktionsmæssig eller æstetisk karakter. Sårbarhederne ved bygningers funktion som rum til menneskers ophold og beboelse efter oversvømmelse og opfugtning er her afgrænset til følgende tre:

- Sårbarhed overfor skimmelvækst og -angreb (efter opfugtning fra alle kilder til oversvømmelse) (sundhed)
- Sårbarhed overfor kontaminering med bakterier (fra spildevand efter skybrud) (sundhed)
- Sårbarhed overfor korrosion (fra salt- og brakvand efter stormflod) (funktion)

Hvor skimmelvækst og kontaminering med bakterier er u hensigtsmæssigt af hensyn til menneskers sundhed, er korrosion forårsaget af salt- eller brakvand primært uønsket, da det påvirker bygningens elinstallationer – og dermed i høj grad bygningens funktionsdygtighed for mennesker – og kan medføre risiko for overgang og kortslutninger i det elektriske system, med risiko for stød og brand efterfølgende.

I de følgende afsnit er udgangspunktet for vurderingerne de ovennævnte tre sårbarheder, der i vid udstrækning kan relateres til én eller flere oversvømmelseskilder: (1) Opfugtning af en bygning fra alle oversvømmelseskilder kan føre til skimmelvækst. (2) Kontaminering af en bygning med bakterier fra spildevand sker oftest ved skybrud og opstuvning af spildevand. (3) Opfugtning af en bygning med saltvand vil alene ske ved stormflod eller lignende, hvor saltholdigt havvand trænger ind. Se Figur 4.1 for en karakteristik af vandkilderne.

Med den teknologiske og økonomiske udvikling i byggeriet har byggeskikke og materialevalg i Danmark ændret sig gennem tiderne. Det er derfor i forbindelse med denne opgave nærliggende at undersøge følgende:

- Er der forskel på sårbarhederne i forskellige bygningskategorier?
- Hvilke typiske materialeopbygninger er anvendt i de forskellige bygningskategorier?
- Har forskellige materialevalg betydning for omkostningerne til genopretning efter opfugtning forårsaget af oversvømmelse?
- Er der forskel på de gennemsnitlige forventede omkostninger til genopretning efter opfugtning forårsaget af oversvømmelse for de forskellige bygningskategorier (og opførelsessår)?

I de følgende afsnit kategoriseres de gængse bygningstyper, hvorefter materialesammensætningen i de enkelte bygningselementer undersøges sammen med sårbarheden overfor oversvømmelse. Endeligt estimeres omkostningerne til genopretning efter opfugtning forårsaget af oversvømmelse med henblik på at identificere evt. forskelle mellem bygningstyperne og i forhold til eksisterende nationale enhedspriser baseret på forsikringsdata.

## 5.1 Kategorisering af bygningstyper

Bygningstyperne er blevet opdelt i fem forskellige kategorier som er udvalgt på baggrund af 15 af Sikkerhedsstyrelsens hustypebeskrivelser af primært enfamiliehuse<sup>1</sup>. Sammenfatningen i de fem kategorier er dels foretaget for overskueligheds skyld, dels ud fra en vurdering af at der inden for de sammenlagte hustyper er en række fællestræk. Desuden muliggør sammenfatningen, at de fem kategorier kan identificeres ved hjælp af data for opførelsesåret og ydervægsmaterialet i BBR-registret.

De fem bygningskategorier er:

- Bygningskategori 1: Bindingsværkshuse frem til ca. 1900; Landhuse og mindre byhuse frem til ca. 1920
- Bygningskategori 2: Patriciervillaer ca. 1860-1930; Muremesterhuse fra ca. 1900-1960; Funkisvillaer fra ca. 1925-1945; Bungalow ca. 1925-1945; Huse fra perioden ca. 1940-1960:
- Bygningskategori 3: Huse fra perioden ca. 1960-1975.
- Bygningskategori 4: Huse fra perioden ca. 1975-2000.
- Bygningskategori 5: Huse fra perioden 2000 og frem.

Der er i de enkelte bygningskategorier inddraget beskrivelser af f.eks. træhuse, gasbetonhuse, sommerhuse, rækkehuse m.v. Følgende oplysninger ift. bygningskategorierne kan findes i BBR-registret:

- Opførelsesår
- Bebygget areal, samlet andet areal - typisk garage og udhus – dette areal skal så trækkes fra, så vi har boligens areal - i stueetagen, der er det relevante areal i nærværende undersøgelse.
- Eventuel kælder

### 5.1.1 Bygningskategori 1<sup>2</sup>: Bindingsværkshuse frem til ca. 1900 & Landhuse og mindre byhuse frem til ca. 1920

Bindingsværkshuse er normalt med fundament af syldsten – større sten lagt direkte på jord. Ydermurene er med et træskelet, hvor felterne imellem træet er fyldt ud med murværk. I nuværende bindingsværkshuse kan syldstenene helt eller delvist være skiftet ud med beton. Ydermurene er oprindeligt uisolerede, men er sandsynligvis senere efterisoleret indvendigt – typisk med mineraluld og gips.

Indvendigt vil skillevægge typisk være i bindingsværk.

Gulve vil oprindeligt være trægulve lagt direkte på jord, men er typisk udskiftet med et betondæk med gulvbelægning i træ.

Bindingsværkshuse har kun yderst sjældent kældre.

Landhuse og byhuse frem til ca. 1920 har fundament af syldsten, muret fundament eller (senere) betonfundamenter.

Yder- og indermure er normalt murede. Ydermur kan eventuelt være dobbelt, massiv eller med hulmur. Ydermurene kan være efterisoleret indvendigt med mineraluld og gips, eller med mineraluld og gasbeton.

<sup>1</sup> Se evt. [Sikkerhedsstyrelsens hustypebeskrivelse](#).

<sup>2</sup> Hustypebeskrivelse 1+2 i Sikkerhedsstyrelsens inddeling

Gulvene har oprindeligt typisk haft trægulve med en opklodsning direkte på jord. Det kan forventes, at der nu er betondæk med gulvbelægning af træ. Der har eventuelt været en krybekælder, der kan være nedlagt i forbindelse med efterisolering eller etablering af terrændæk.

Denne hustype har yderst sjældent kælder – her kan dog være viktualiekælder.

### **5.1.2 Bygningskategori 2<sup>3</sup>: Patriciervillaer ca. 1860-1930; Murermesterhuse fra ca. 1900-1960; Funkisvillaer fra ca. 1925-1945; Bungalow ca. 1925-1945; Huse fra perioden ca. 1940-1960**

Denne bygningskategori er meget ofte med kælder, og med kældergulv i beton og kælderydermure i beton eller muret. Kælderens mure og gulv er ikke sikret mod grundfugt. Indervægge er murede eller i beton. I bungalows er denne kælder ofte høj, så etagedæk over kælder ligger relativt højt over terræn.

Etageadskillelse over kælder er i beton eller træ med pudset loft. På oversiden er der oftest trægulv.

Er der ikke kælder, vil fundament og terrændæk være i beton men yderst sjældent være sikret mod grundfugt. Her er oftest trægulv – ofte på strøer med et tyndt lag isolering i form af mineraluld.

Her kan være krybekælder, eventuelt kombineret almindelig kælder.

Ydermure vil være murede og massive eller med hulmur. Ofte er disse efterisoleret indvendig med mineraluld/gips.

Indermure er ofte murede eller bræddeskillevægge med puds.

Der er i denne periode opført en del kæde- og rækkehuse i tidstypiske materialer.

Der er i denne periode også opført en del sommerhuse i træ. De er i perioden ofte med punktfundamenter, så gulvet er hævet over terrænet og ventileret på undersiden. Typisk er indvendige skillevægge også i træ. Op imod 1960 bliver flere sommerhuse bygget med traditionelt fundament og terrændæk.

### **5.1.3 Bygningskategori 3<sup>4</sup>: Huse fra perioden ca. 1960-1975**

I 1960 kom det første landsdækkende bygningsreglement, og der fulgte hermed mere ensartede regler for bl.a. isolering og konstruktioner.

Der er meget sjældent kældre i boliger fra denne periode.

I de tidligste boliger fra perioden kan der være krybekælder.

Gulvkonstruktionen er med støbt terrændæk, typisk med isolering liggende i strøkonstruktion på terrændækket, sjældnere under betondækket.

Ydermure er ofte murede, med partier af træ.

<sup>3</sup> Hustypebeskrivelse 3-7 i Sikkerhedsstyrelsens inddeling

<sup>4</sup> Hustypebeskrivelse 8 i Sikkerhedsstyrelsens inddeling

Indvendige vægge kan være af mursten med puds eller letbeton, men der kan også være lette vægge af gips eller anden beklædning.

#### **5.1.4 Bygningskategori 4<sup>5</sup>: Huse fra perioden ca. 1975-2000**

Der er meget sjældent kældre i huse fra denne periode.

Der er med Bygningsreglementet i 1972 krav om kapillarbrydende lag under terrændæk, hvilket gør disse bygninger mere modstandsdygtige mod eksempelvis stigende grundvand.

Ydermure er typisk opført med mursten yderst, mineraluld i hulmur og letbeton i bagmuren. Der kan være sektioner af ydermuren med træbeklædning.

Indvendige skillevægge er typisk af letbeton, med tapet eller malet glasfilt.

Gulvene er med et fugtsikret og isoleret betondæk. Der kan på dette være trægulv på strøer, med isolering imellem, trægulv direkte på beton, eller der kan være tæpper eller klinker.

#### **5.1.5 Bygningskategori 5<sup>6</sup>: Huse fra perioden 2000 og frem**

Der er meget sjældent kældre i huse fra denne periode. Hvis der er kælder, er den fugtsikret og isoleret udvendigt.

Ydermure er typisk med bagmure i letbeton og formur i mursten. Der er dog også bagmure i træ og formure i træ, puds på isolering eller andet.

Skillevægge er typisk i letbeton.

Egentlige træhuse fra perioden er opført med ydermurens formur, bagmur og bærende konstruktioner i træ. Indvendige skillevægge er typisk i træ med pladebeklædning af gips eller fibergips. Gulvkonstruktion er opbygget med terrændæk støbt i beton på et fugtsikret og isoleret underlag. Der kan være forskellige gulvbelægninger. Der kan være trægulv på strøer med isolering imellem, svømmende gulve, tæpper eller klinker lagt direkte på betonen.

## **5.2 Vurdering af bygningskategoriernes sårbarhed overfor vandindtrængning**

Som tidligere nævnt er bygninger som udgangspunkt designet til at holde elementerne ude, men der kan være en række punkter i den ydre klimaskærm der er sårbare ved oversvømmelse. Overordnet set kan vandet trænge ind gennem alle gennembrydninger af tag (f.eks. udluftningshætter), gulv (f.eks. afløb) og ydervægge (f.eks. rørgennemføringer), ligesom vandet oftest finder vej igennem døre og vinduer, hvis vandet står op i den højde.

På baggrund af erfaringsbaserede ekspertvurderinger vurderes det endvidere at ældre bygninger (Bygningskategori 1-3) i højere grad tillader vandindtrængen end bygninger af nyere dato (Bygningskategori 4-5). Dette er med baggrund i følgende:

---

<sup>5</sup> Hustypebeskrivelse 9 i Sikkerhedsstyrelsens inddeling

<sup>6</sup> Hustypebeskrivelse 10-11 i Sikkerhedsstyrelsens inddeling

- Bygningsreglementet fra 1972, kap. 7 indeholder en række bestemmelser, der reducerer risikoen for fugtindtrængning i bygninger – både ved opstigende grundfugt og ved vandtryk på bygninger fra f.eks. vand på terræn under oversvømmelser<sup>7</sup>:
  - *Stk. 7.4.1: Terrændæk må kun anlægges på fast og tør jordbund, og hvor terrænet ikke er udsat for oversvømmelser. Al muld og anden løs jord skal afgraves.*
  - *Stk. 7.4.2: Der skal udlægges et mindst 15 cm. tykt komprimeret kapillarbrydende lag af uorganisk materiale. Hvor jordbunden ikke er tilstrækkeligt selvdrænende, og hvor gulvoverfladen samtidig ligger mindre end 30 cm. over terræn, skal der udføres omfangsdræn.*
  - *Stk. 7.2.1: Vægge og gulve i kældre skal konstrueres og udføres på en sådan måde, at vand og fugt ikke trænger ind.*
  - *Stk. 7.2.2: Ved kældre skal der udføres dræn, medmindre jordbunden består af selvdrænende materialer, eller andre forhold gør det unødvendigt.*
  - *Stk. 7.2.3: Under kældergulve skal udlægges et mindst 15 cm. tykt kapillarbrydende lag af uorganisk materiale.*
  - *Stk. 7.2.4 Ved støbning af kældergulve kan sikring mod fugt (vanddamp) fra grunden udføres som en fugtspærre af f.eks. et lag 0,15 mm. Polyethylenfolie.*
  - *Stk. 7.2.5: Kælderydervægge mod jord skal udføres på en sådan måde, at det sikres, at fugt ikke opsuges i væggen. Udvendig beskyttelse kan udføres ved asfaltering med påfølgende udkastning med kalkcementmørtel KC 50/50.*
- Nyere og mere moderne typer beton er mere vandtætte end beton anvendt tidligere.
- Under etableringen af bygninger af nyere dato har der i højere grad end tidligere været fokus på at sikre:
  - *Korrekt terrænfald væk fra bygningen*
  - *Etablering af dræn og render ved indgangspartier med niveaufri adgang*

Så overordnet er det vurderingen, at nyere huse har en lavere ydre sårbarhed end ældre huse, men det vil naturligvis afhænge af hvilke renoveringer eller terræændringer, der er gennemført over tid.

### 5.3 Vurdering af materialesammensætning af bygningselementer

For hver af de ovennævnte fem bygningskategorier er sandsynligheden for en række materialesammensætninger i de enkelte kategoriers bygningselementer vurderet. Vurderingerne er erfaringsbaserede ekspertvurderinger, og materialesammensætningerne undersøges da de kan have forskellige sårbarheder ift. opfugtning og følgevirkningerne af skimmelvækst, kontaminering med bakterier fra spildevand og korrosion forårsaget af opfugtning med saltholdigt vand.

Nedenstående tabeller viser et grafisk output fra det regneark, hvori bygningselementerne og deres sårbarhed overfor vand fremgår. Udgangspunktet for vurderingerne har været sårbarheden overfor opfugtning fra fersk overfladevand, og til denne vurderede sårbarhed er tilføjet bygningselementernes yderligere sårbarhed overfor hhv. salt og bakterier i vandet (se i øvrigt afsnit 5.4 for de vurderede yderligere sårbarheder overfor hhv. saltvand og spildevand).

Sandsynligheden for at finde mest gængse materialesammensætninger i de enkelte bygningselementer er i regnearket angivet som et heltal mellem 0 og 100, for Bygningskategori 1-5 og for hhv. stueplan og kælder. Sandsynlighederne er erfaringsbaserede ekspertvurderinger, da der ikke er statistikker til rådighed i BBR-registret eller andre datakilder der belyser materialesammensætningen af bygningselementerne.

<sup>7</sup> Se rapporten om [Skader ved højstående grundvand på hjemmesiden Klimatilpasning.dk](#).

Tabel 5.1: Sandsynlig materialesammensætning af gulv, ydermur og indervæg for de fem bygningskategorier (stueplan)

Bygnings-element	Materialesammensætning	Bygningskategori 1: Opført før 1920. (Bindingsværk, landhuse, byhuse) Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 2: 1920-1960. Patricier, muremester, Funkis, bungalow, mm. Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 3: 1960-1975: "Parcelhuse" mm. Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 4: Parcelhus, rækkehus mm. 1975-2000. Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 5: Parcelhus rækkehus mm. 2000 og fremerfter. Sandsynlighed: 0-100
Gulv	Træ	20	10	5	5	5
	Beton/træ	20	20	20	40	65
	Beton/mineraluld/træ	40	45	55	35	10
	Beton/linoleum	10	15	10	10	10
	Beton	10	10	10	10	10
Ydermur	Mursten	20	60	40	20	20
	Mursten/træ	10	5	10	10	10
	Mursten/træ/mineraluld/gips	30	10	10	10	10
	Mursten/mineraluld/letbeton	20	5	25	45	45
	Letbeton	10	5	5	5	5
	Træ/mineraluld/gips	10	5	5	5	5
	Beton	0	10	5	5	5
Indervægge	Mursten	30	70	50	15	15
	Mursten/træ	40	5	5	5	5
	Letbeton	10	5	25	60	60
	Træ/pudset	10	10	10	5	5
	Træ/gips	10	10	10	15	15

Som det fremgår af figurene, er der baggrund for at forvente en vis variation i de typiske materialeopbygninger indenfor og imellem de fem bygningskategorier. Nyere bygninger har typisk betongulve med træ, ydermure med mursten, mineraluld og letbeton samt indervægge af letbeton. I ældre bygninger er der en større grad af variation i materialesammensætningerne, også fordi de kan være renoverede efter mere moderne byggeskikke.

Tabel 5.2: Sandsynlig materialesammensætning af gulv, ydermur og indervæg for de fem bygningskategorier (kælder)

Bygnings-element	Materialesammensætning	Bygningskategori 1: Opført før 1920. (Bindingsværk, landhuse, byhuse) Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 2: 1920-1960. Patricier, muremester, Funkis, bungalow, mm. Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 3: 1960-1975: "Parcelhuse" mm. Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 4: Parcelhus, rækkehus mm. 1975-2000. Sandsynlighed: 0-100	Bygningskategori 5: Parcelhus rækkehus mm. 2000 og fremerfter. Sandsynlighed: 0-100
Gulv	Træ	5	5	5	5	5
	Beton/træ	5	15	10	15	15
	Beton/mineraluld/træ	5	5	5	5	5
	Beton/linoleum	35	25	30	30	30
	Beton	50	50	50	45	45
Ydermur	Mursten	50	40	5	5	5
	Mursten/træ	5	5	0	0	0
	Mursten/træ/mineraluld/gips	5	5	5	5	5
	Mursten/mineraluld/letbeton	5	5	5	5	5
	Letbeton	5	5	5	5	5
	Træ/mineraluld/gips	5	5	5	5	5
	Beton	25	35	75	75	75
Indervægge	Mursten	50	50	30	20	20
	Mursten/træ	30	30	10	5	5
	Letbeton	5	5	45	65	65
	Træ/pudset	10	10	10	5	5
	Træ/gips	5	5	5	5	5

## 5.4 Priser for genopretning efter oversvømmelseskade

Det er efterfølgende estimeret for de enkelte bygningskategorier, hvad renovering af det enkelte bygningselements materialesammensætning vil koste. Det er i beregningen af estimatet antaget, at det enkelte bygnings-element med den givne materialesammensætning skal udtørres og renoveres, og der er anvendt Molio Prisdata for renovering af én kvadratmeter, hvis der i alt renoveres 50 kvadratmeter<sup>8</sup>.

Der er beregnet priser for genopretning af bygningselementer i bygninger uden kælder – samt for en kategori "kælder" for hver bygningstype – idet det af BBR fremgår, om der er kælder i en given bygning.

Der er umiddelbart ganske stor forskel på, hvad det koster at udbedre de forskellige sammensatte typer af bygningsdele, afhængig af sammensætningen. Et "rent" betongulv er f.eks. meget billigere at tørre ud og afrense, end det samme gulv, hvis der er isolering og trægulv på, da såvel isolering som trægulv ved kraftig opfugtning ofte skal udskiftes med nye materialer. Tilsvarende er det meget dyrere at udbedre en indervæg med træ og rørpuds, end hvis den samme væg havde været muret. Endelig er det dyrere at affugte en tyk mur end en tynd mur. For eksempel vil det ofte bedre kunne betale sig at suge isolering ud af en hulmur og affugte den inde fra hulumuren med varm tør luft, end det kan betale sig at affugte bagmur, isolering og formur, fra den ene eller begge sider. Men i nye huse er isoleringen ofte i faste bats, og så er dette ikke en mulighed, hvorfor bagmur, isolering og formur nødvendigvis så må affugtes fra den ene eller begge sider.

Som det forstås, er udtørring og afrensning af indervægge og ydermure en betydelig del af omkostningen ved udbedringen af skader fra opfugtning efter oversvømmelse. Det fremgår imidlertid ikke af BBR-meddelelsen, hvor mange meter ydermur eller hvor mange meter rumadskillende indermur, der er i bygninger. Det er derfor anslået, efter opmåling på et antal plantegninger, at der er ca. 0,5 meter ydermur pr. kvadratmeter hus ("bebygget areal minus garage og udhus"), samt 0,5 meter rumadskillende indermur pr. kvadratmeter bebygget areal. Der er som nævnt regnet med, at vandet har stået i 10 cm's højde i bygningen. Hvis murværk skal udtørres, skal det naturligvis udtørres i sin fulde højde. Hvis der er tale om gipsvægge, rørpudsede vægge eller tilsvarende er der regnet med, at de skal udskiftes/repareres op til en halv meter fra gulv da skimmelsvampe normalt kun breder sig i den nederste opfugtede del af væggen - hvis ellers der gribes ind hurtigt nok.

Der er i øvrigt anvendt følgende beregningsforudsætninger og -antagelser:

- Priser er angivet uden moms.
- Udskiftning af løvsøre antages at være 1.000 kr./m<sup>2</sup> (som i rapporten "Skader ved højtstående grundvand" NIRAS, 28. december 2021<sup>9</sup>).
- Elpris på 4 kr./kWh.
- Det er på baggrund af erfaringsbaserede ekspertvurderinger antaget, at renovering efter oversvømmelse med kloakvand er 20 % dyrere end oversvømmelse med overfladevand.
- Det er på baggrund af erfaringsbaserede ekspertvurderinger antaget, at renovering efter oversvømmelse med saltvand er 5 % dyrere end oversvømmelse med overfladevand.
- Der er regnet med 2.000 kr./m<sup>2</sup> til udskiftning eller reparation af elinstallationer.
- Der er regnet med en oversvømmelse på 10 cm over gulvhøjde.
- Der er ikke inkluderet omkostninger til genhusning af boligens beboere.

<sup>8</sup> Se [Molio prisdata, digitalt værktøj til priskalkulation](#).

<sup>9</sup> Se NIRAS rapporten '[Skader ved højtstående grundvand](#)'.



På baggrund af ovenstående og det bebyggede areal, samt vurdering af sandsynligheden for hvordan bygningen er sammensat, kan man anslå hvad udtørring, afrensning og øvrig udbedring vil koste, beregnet ud fra BBR meddelelsens oplysning om bebygget areal minus udhus og garage.

Tabel 5.3: Enhedspriser for genoprettelse efter skader fra opfugtning efter oversvømmelse (pris ekskl. moms)

Bygnings-element	Materialeopbygning	Enhedspris for genoprettelse [kr./m <sup>2</sup> ]
Gulv	Træ	2322
	Beton/træ	2222
	Beton/mineraluld/træ	2322
	Beton/linoleum	2022
	Beton	854
Ydermur	Mursten	1700
	Mursten/træ	1500
	Mursten/træ/mineraluld/gips	2000
	Mursten/mineraluld/letbeton	2000
	Letbeton	1400
	Træ/mineraluld/gips	1300
	Beton	2300
Inder-vægge	Mursten	600
	Mursten/træ	600
	Letbeton	600
	Træ/pudset	3600
	Træ/gips	2900

De estimerede enhedspriser for genopretning i tabellen herover indikerer, at forskelle i materialesammensætningen har stor betydning for omkostningerne til genopretning efter opfugtning forårsaget af oversvømmelse. Det gør sig især gældende for gulv og indervægge, hvor nogle materialeopbygninger er forbundet med – i nogle tilfælde væsentligt – højere omkostninger end andre. For gulv er der således næsten en faktor 3 i forskel mellem mindste og største pris, mens samme sammenligning for indervægge er en faktor 6.

Ved at kombinere vurderingerne i Tabel 5.1 og Tabel 5.2 med de estimerede enhedspriser i Tabel 5.3 fås de vægtede enhedspriser, der fremgår af Tabel 5.4 og Tabel 5.5. Farveskalaen i tabellerne indikerer som i Tabel 5.3 omkostningsniveauet, dvs. at jo højere omkostningen er, jo mere gul/orange/rød er enhedsprisen markeret, hvorimod de laveste enhedspriser er markeret grønne. Denne farvekodning giver et visuelt overblik over, hvor de potentielt mest omkostningstunge poster vil være at finde.

Når de vægtede enhedspriser summeres, fås en samlet pris for genopretning efter oversvømmelsesskader, hvilket fremgår af Tabel 5.6.

Tabel 5.4: Vægtet enhedspris for genoprettelse efter oversvømmelsesskade fundet ved at kombinere sandsynligheden for en given materialesammensætning (Tabel 5.1) med enhedsprisen (Tabel 5.3). Stueplan.

Bygnings-element	Materialesammensætning	Bygningskategori 1:	Bygningskategori 2:	Bygningskategori 3:	Bygningskategori 4:	Bygningskategori 5:
		Opført før 1920. (Bindingsværk, landhuse, byhuse)	1920-1960. Patricier, murermester, Funkis, bungalow, mm.	1960-1975: "Parcelhuse" mm.	Parcelhus, rækkehus mm. 1975-2000	Parcelhus rækkehus mm. 2000 og fremente
		[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]
Gulv	Træ	464	232	116	116	116
	Beton/træ	444	444	444	889	1444
	Beton/mineraluld/træ	929	1045	1277	813	232
	Beton/liinoleum	202	303	202	202	202
	Beton	85	85	85	85	85
Ydermur	Mursten	340	1020	680	340	340
	Mursten/træ	150	75	150	150	150
	Mursten/træ/mineraluld/gips	600	200	200	200	200
	Mursten/mineraluld/letbeton	400	100	500	900	900
	Letbeton	140	70	70	70	70
	Træ/mineraluld/gips	130	65	65	65	65
	Beton	0	230	115	115	115
Inder-vægge	Mursten	180	420	300	90	90
	Mursten/træ	240	30	30	30	30
	Letbeton	60	30	150	360	360
	Træ/pudset	360	360	360	180	180
	Træ/gips	290	290	290	435	435

Tabel 5.5: Vægtet enhedspris for genoprettelse efter oversvømmelsesskade fundet ved at kombinere sandsynligheden for en given materialesammensætning (Tabel 5.2) med enhedsprisen (Tabel 5.3). Kælder.

Bygnings-element	Materialesammensætning	Bygningskategori 1:	Bygningskategori 2:	Bygningskategori 3:	Bygningskategori 4:	Bygningskategori 5:
		Opført før 1920. (Bindingsværk, landhuse, byhuse)	1920-1960. Patricier, murermester, Funkis, bungalow, mm.	1960-1975: "Parcelhuse" mm.	Parcelhus, rækkehus mm. 1975-2000	Parcelhus rækkehus mm. 2000 og fremente
		[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]	[kr./m <sup>2</sup> ]
Gulv	Træ	116	116	116	116	116
	Beton/træ	111	333	222	333	333
	Beton/mineraluld/træ	116	116	116	116	116
	Beton/liinoleum	708	506	607	607	607
	Beton	427	427	427	384	384
Ydermur	Mursten	850	680	85	85	85
	Mursten/træ	75	75	0	0	0
	Mursten/træ/mineraluld/gips	100	100	100	100	100
	Mursten/mineraluld/letbeton	100	100	100	100	100
	Letbeton	70	70	70	70	70
	Træ/mineraluld/gips	65	65	65	65	65
	Beton	575	805	1725	1725	1725
Inder-vægge	Mursten	300	300	180	120	120
	Mursten/træ	180	180	60	30	30
	Letbeton	30	30	270	390	390
	Træ/pudset	360	360	360	180	180
	Træ/gips	145	145	145	145	145

Tabel 5.6: Samlet enhedspris for genoprettelse efter oversvømmelseskade

Stue/ kælder	Komponent	Bygningskategori 1: Opført før 1920. (Bindingsværk, landhuse, byhuse) [kr./m <sup>2</sup> ]	Bygningskategori 2: Opført 1920-1960. Patricier, murerme- ster, Funkis, bunga- low, mm. [kr./m <sup>2</sup> ]	Bygningskategori 3: Opført 1960-1975: "Parcelhuse" mm. [kr./m <sup>2</sup> ]	Bygningskategori 4: Opført 1975-2000: Parcelhus, række- hus mm. [kr./m <sup>2</sup> ]	Bygningskategori 5: Opført fra 2000: Parcelhus rækkehus mm. [kr./m <sup>2</sup> ]
Stueetage	Materialer	5.015	5.000	5.035	5.040	5.015
Stueetage	Rep./udskiftn. af installationer	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
<b>Stueetage</b>	<b>Sum</b>	<b>7.015</b>	<b>7.000</b>	<b>7.035</b>	<b>7.040</b>	<b>7.015</b>
Kælder	Materialer	4.328	4.408	4.648	4.566	4.566
Kælder	Rep./udskiftn. af installationer	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
<b>Kælder</b>	<b>Sum</b>	<b>6.328</b>	<b>6.408</b>	<b>6.648</b>	<b>6.566</b>	<b>6.566</b>

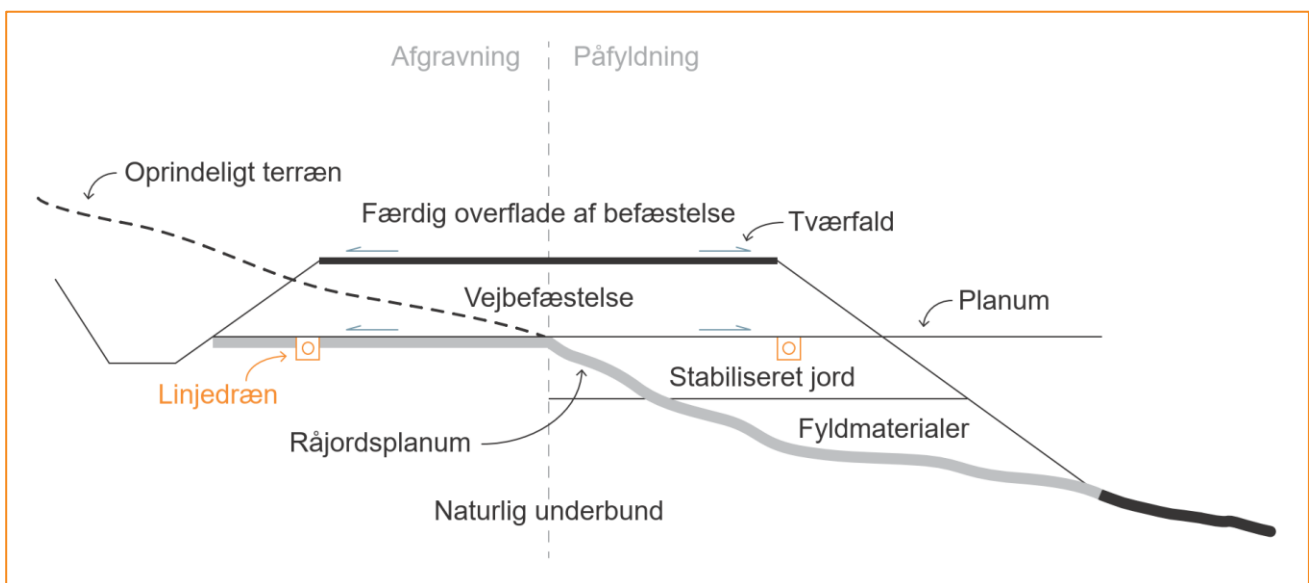
På baggrund af Tabel 5.6, herover konkluderes det, at der umiddelbart kun er en mindre forskel i de gennemsnitlige forventede omkostninger til genopretning efter opfugtning forårsaget af oversvømmelse mellem de forskellige bygningskategorier (og opførelsessår). Der er altså ikke umiddelbart baggrund for at differentiere i skadesomkostningerne ved oversvømmelse imellem bygningskategorier og dermed årstallet for opførelse. Dette er naturligvis under forudsætning af at vandet er kommet ind gennem bygningens klimaskærm og kan forvolde skade. Se i øvrigt afsnit 5.2 omhandlende 'Vurdering af bygningskategoriernes sårbarhed overfor vandindtrængning'.

## 6. Befæstelser og sårbarhed

En befæstelses hovedfunktion er at kunne fungere som færdselsåre for den trafik, der benytter den. Mængden af trafik, som en befæstelse kan klare, uden at der opstår skader på befæstelsen, afhænger blandt andet af befæstelsens bæreevne. Generelt forringes en befæstelses bæreevne, hvis der kommer vand i befæstelsen.

Derfor er det god praksis at sørge for, at der ikke er vand i befæstelsen, så befæstelsens bæreevne bevares, og det sikres, at der ikke opstår skader på befæstelsen som følge af opfrysning af vand i befæstelsen.

Ved anlæg af nye befæstelser til veje og pladser foretages enten afgravning, påfyldning eller en kombination af afgravning og påfyldning, se Figur 6.1:



Figur 6.1 Principtværsnit af vejbefæstelse ved afgravning (venstre side) og påfyldning (højre side)

I Figur 6.1 er vist principtværsnit af en vejbefæstelse, hvor overfladens tværfald skal sikre, at vand fra nedbør ledes ud til kanten af befæstelsen og bort. Alternativt (eksempelvis i byer) ledes vand mod kantsten og hen til nedløbsriste, hvorfra vandet ledes bort.

Ligesom overfladen/slidlaget har fald ud mod kanten af befæstelsen for at lede vand fra nedbør bort, har overside af underbunden/planum også fald ud mod siden af befæstelsen. Dette skal sikre, at vand, som måtte trænge ind i befæstelsen (enten gennem revner i overfladen/slidlaget, fra opstigende grundvand eller gennem siden af befæstelsen), bliver ledt bort.

Som følge af gentagne belastninger fra den trafik, som anvender befæstelsen, vil befæstelsen over tid blive nedbrudt. Denne nedbrydning af befæstelsen kan ses på overfladen i form af forskellig skader - eksempelvis revner (diskrete revner), krakeleringer (sammenhængende revner) og/eller afskalninger/slaghuller (fordybninger hvor materialer er borte). Når omfanget af disse skader er tilstrækkeligt udbredte, anses befæstelsens teoretiske levetid som opbrugt, og der er brug for en gennemgribende reovering af befæstelsen.

For at en befæstelse har den teoretiske levetid, som den er dimensioneret til, forudsættes følgende:

- At vedligehold udføres periodisk og i nødvendigt omfang.
- At befæstelsens afvandingsystem er tilstrækkelig og fungerer til enhver tid.

Vedligehold omfatter forsegling af revner samt udbedring af afskalninger/slaghuller, når de opstår, så det undgås, at skaden udvikler sig, og at der trænger vand ned i befæstelsen.

Befæstelsens afvandingsystem (kantsten og nedløbsbrønde, linjedræn, grøfter med mere) sikrer, at der ikke er vand i befæstelsen. Afvandingsystemet fungerer i kombination med befæstelsens opbygning, hvor overfladevand ledes ud til afvandingsystemet på oversiden af befæstelsen, mens vand, som måtte trænge ind nedefra eller fra siden, ledes ud til det langsgående linjedræn, da det nederste lag i en befæstelse (bundsikringslaget) er drænende.

## 6.1 Årsager til skader fra vand på en befæstelse

### 6.1.1 Bæreevnen af en befæstelse

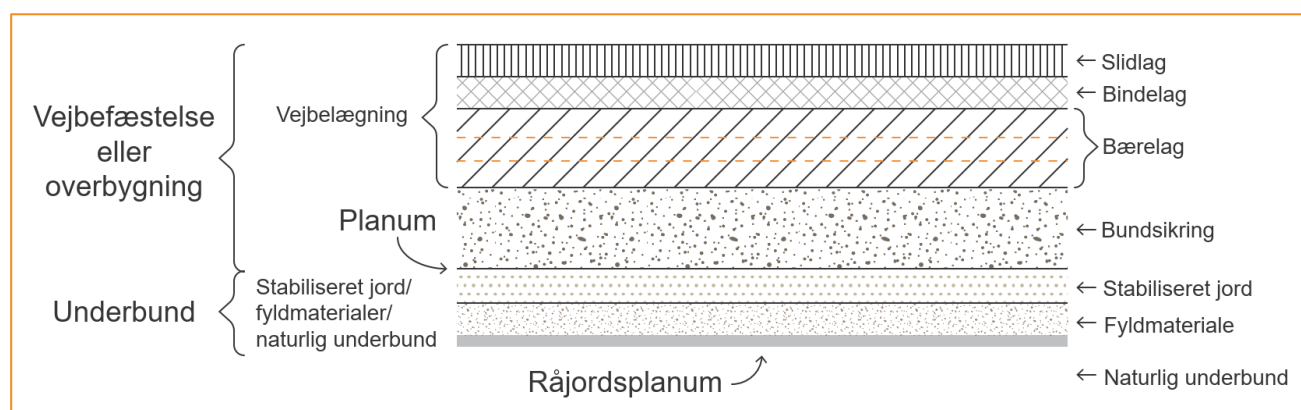
Størrelsen af den nødvendige bæreevne af en befæstelse afhænger hovedsageligt af følgende parametre:

- Stivhed af underbunden; jo lavere stivhed, jo større bæreevne er nødvendig.
- Størrelse af aksellaster; jo tungere aksellaster, jo større bæreevne er nødvendig.
- Antal af belastninger; jo flere belastninger, jo større bæreevne er nødvendig.

Størrelse af aksellaster samt antal belastninger betegnes ofte under ét som dimensioneringstrafikken.

Kombinationen af en given befæstelses bæreevne og underbundens stivhed svarer til en tilladelig dimensioneringstrafik, før befæstelsens teoretiske levetid er opbrugt. Såfremt denne tilladelige dimensioneringstrafik er højere end den aktuelle trafikbelastning, har den givne befæstelse den nødvendige bæreevne.

Selve befæstelsen består traditionelt af følgende lag, se Figur 6.2 nedenfor:



Figur 6.2 Betegnelse for elementer i opbygningen af befæstelse (baseret på Figur 1.1 i Vejdirektoratets 'Håndbog - Projektering af vejbefæstelser', dateret september 2018).

Bæreevnen af en befæstelse udgøres af stivhed og tykkelse af de enkelte lag af vejbygningsmaterialer i befæstelsen. Overordnet set medfører tykkere lag og/eller større stivhed af de enkelte lag en højere bæreevne af befæstelsen.

Overordnet set består en befæstelse traditionelt af følgende typer vejbygningsmaterialer:

- Bundne lag, såsom slidlag, eventuelt bindelag og bærelag (ofte asfalt).
- Ubundet bærelag (ofte grus).
- Ubundet bundsikringslag (ofte sand/grus).

Almindeligvis anlægges en befæstelse med et afvandingsystem, der sikrer, at befæstelsen holdes fri for vand.

Såfremt der på trods af afvandingsystemet alligevel kommer vand i befæstelsen, er der risiko for, at stivheden af de ubundne lag (bærelag og bundsikringslag) forringes. Herved reduceres hele befæstelsens bæreevne, hvilket igen medfører en nedsat teoretisk levetid.

### 6.1.2 Eksempel: Sårbarhed ved vand i en befæstelse

Vejdirektoratet har defineret en række trafikklasser (T0-T7). For en vejbefæstelse med den nødvendige bæreevne til eksempelvis trafikklasse T3 og T5 er indvirkningen på den teoretiske levetid beregnet under følgende antagelser:

- Nødvendig bæreevne er baseret på forskellige stivheder af underbunden (40 MPa, 20 MPa og 10 MPa).
- Den nødvendige opbygning af vejbefæstelsen er dimensioneret på almindelig vis, som antager, at vejbefæstelsen holdes fri for vand.
- Indvirkningen på den teoretiske levetid er beregnet under antagelse af, at vejbefæstelsen hele tiden reelt er 100 % vandmættet.
- Det antages, at E-værdien af de ubundne lag er reduceret med 50 % som følge af 100 % vandmætning.

Indvirkningen på den teoretiske levetid fremgår af Tabel 6.1 herunder:

Tabel 6.1: Indvirkning på teoretisk levetid ved 100 % vandmætning af vejbefæstelse

Trafikklasse:	T3	T3	T3	T5	T5	T5
Tunge køretøjer/døgn:	65-120	65-120	65-120	560-1.200	560-1.200	560-1.200
Æ10/år:	18.300	18.300	18.300	180.000	180.000	180.000
Dimensioneringsperiode:	20 år	20 år	20 år	20 år	20 år	20 år
Stivhed af underbund:	40 MPa	20 MPa	10 MPa	40 MPa	20 MPa	10 MPa
Lag	Tykkelse [mm]	Tykkelse [mm]	Tykkelse [mm]	Tykkelse [mm]	Tykkelse [mm]	Tykkelse [mm]
Asfaltslidlag	25	25	25	30	30	30
Asfaltbindelag	40	40	40	50	50	50
Asfaltbærelag	70	70	70	85	90	90
Ubundet bærelag	170	180	190	250	240	250
Bundsikringslag	295	470	650	350	600	830
<b>Koblingshøjde:</b>	<b>600</b>	<b>785</b>	<b>975</b>	<b>765</b>	<b>1.010</b>	<b>1.250</b>
	Teoretisk levetid [%]	Teoretisk levetid [%]	Teoretisk levetid [%]	Teoretisk levetid [%]	Teoretisk levetid [%]	Teoretisk levetid [%]
Vejbefæstelse tør	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Vejbefæstelse vandmættet	7,6 %	10,2 %	10,8 %	9,0 %	11,6 %	13,2 %

Som det kan ses af Tabel 6.1, reduceres den teoretiske levetid til cirka 10 % (7,6 % - 13,2 %) af den oprindelige værdi, såfremt befæstelsen er 100 % vandmættet hele tiden, OG de ubundne lags bæreevne er reduceret med 50 % - en teoretisk levetid på 20 år reduceres således til kun cirka 2 år.

Således er der en faktor 10 ( $20 \text{ år} / 2 \text{ år} = 10$ ) mellem en tilstrækkeligt afvandet befæstelse og en vandmættet befæstelse under de antagelser, som ligger til grund for beregningerne i Tabel 6.1.

Der er naturligvis et uendeligt antal kombinationsmuligheder af vandmætning af en given befæstelse, men afhængigt af hvor vandet i befæstelsen kommer fra, kan der være situationer, hvor enten kun en del af befæstelsen er vandmættet, eller hvor bæreevnen af de enkelte lag ikke er reduceret helt så meget.

Dog gælder, at for den periode, hvor vejbefæstelsen er 100 % vandmættet, OG de ubundne lags bæreevne er reduceret med 50 %, er der cirka en faktor 10 til forskel i befæstelsens bæreevne/teoretiske levetid- således vil én passage af ét tungt køretøj, når befæstelsen er vandmættet, nedbrydningsmæssigt svare til cirka 10 passager, når befæstelsen er tilstrækkeligt afvandet.

Som regneeksempel kan betragtes en befæstelse, der er dimensioneret ud fra en dimensioneringstrafik på 1.000 passager/måned af et tungt køretøj i en 20-års periode. Dette svarer til en tilladelig dimensioneringstrafik på 12.000 passager/år af et tungt køretøj ( $1.000 \text{ passager/måned} \times 12 \text{ måneder/år} = 12.000 \text{ passager/år}$ ).

For en 20-års periode svarer dette til en samlet, tilladelig dimensioneringstrafik på 240.000 passager af et tungt køretøj ( $12.000 \text{ passager/år} \times 20 \text{ år} = 240.000 \text{ passager}$ ).

Såfremt denne befæstelse er vandmættet i gennemsnit én måned/år vil den samlede dimensioneringstrafik svare til 21.000 passager/år af et tungt køretøj ( $1.000 \text{ passager/måned} \times 11 \text{ måneder/år} + 10 \times 1.000 \text{ passager/måned} \times 1 \text{ måned/år} = 21.000 \text{ passager/år}$ ).

Således vil den teoretiske levetid være reduceret fra 20 år til cirka 11,4 år ( $240.000 \text{ passager} / 21.000 \text{ passager/år} = 11,4 \text{ år}$ ), såfremt befæstelsen i gennemsnit er vandmættet én måned/år.

## 6.2 Oversvømmelseskilder til vand i befæstelse

I denne rapport undersøges følgende oversvømmelsestyper, som kan føre til vand i befæstelsen:

- Nedbør
- Stormflod
- Opstigende grundvand
- Oversvømmelse fra vandløb, der er gået over sine bredder

Disse oversvømmelsestyper og potentielle skadevirkninger på befæstelser beskrives i det følgende:

### 6.2.1 Nedbør

For befæstelser, hvor vedligehold udføres periodisk og i nødvendigt omfang, samt hvor afvanding er tilstrækkelig og fungerer til enhver tid, vil nedbør almindeligvis ikke medføre skader på befæstelsen.

I tilfælde med ekstrem nedbør kan afvandingssystemet blive overbelastet, hvilket kan medføre vand i befæstelsen i kortere eller længere tid.

### 6.2.2 Stormflod

Ved stormflod er der risiko for, at en befæstelses afvandingssystem overbelastes, hvilket kan medføre vand i befæstelsen, mens stormfloden varer samt et stykke tid efter, indtil det naturlige vandindhold i befæstelsen er genoprettet.

Endvidere kan en stormflod oversvømme en vejbefæstelse i påfyldning. Dette vil medføre, at vandet stiger på den ene side af vejbefæstelsen, indtil det når højt nok op til at kunne ledes over på den anden side af befæstelsen. Grundet den store vandmængde, som stormfloden udgøres af, medfører dette kraftige strømninger, når vandet ledes over befæstelsen. Disse kraftige strømninger kan medføre borterodning af befæstelsen, og i værste fald kan hele befæstelsen på en strækning blive skyllet bort.

### **6.2.3 Opstigende grundvand**

Ved opstigende grundvand kan det ske, at overside af grundvandsspejlet kommer til at ligge over underside af befæstelsen, så en del af eller endda hele befæstelsen potentielt set kan blive vandmættet.

Almindeligvis er befæstelsens planum afrettet, så det har fald mod afvandingssystemet (eksempelvis langsgående dræn i underside af en vejbefæstelse, jf. Figur 6.1). Da befæstelsens nederste lag (bundsikringslaget) består af drænende materialer, vil det opstigende grundvand således ledes til befæstelsens afvandingssystem. Såfremt befæstelsens afvandingssystem har tilstrækkelig kapacitet, vil opstigende grundvand således ikke medføre vand i befæstelsen.

Hvor befæstelsens afvandingssystem ikke har tilstrækkelig kapacitet, kan opstigende grundvand medføre en permanent tilstand med vand i en del eller i hele befæstelsen. Dette vil være ved indtil grundvandet enten sænkes, eller kapaciteten af afvandingssystemet øges tilstrækkeligt.

Endvidere kan nedtrængende frost medføre skader som følge af frosthævninger, hvis grundvandsspejlet er tilstrækkeligt tæt på overside af befæstelsen.

### **6.2.4 Oversvømmelse fra vandløb, der er gået over sine bredder**

Oversvømmelse fra vandløb kan belaste en befæstelsens afvandingssystem. Hvor befæstelsens afvandingssystem ikke har tilstrækkelig kapacitet, kan dette medføre vand i befæstelsen i kortere eller længere tid.

Ligesom ved stormflod kan oversvømmelse fra vandløb medføre, at store vandmængder ledes hen over toppen af en befæstelse i påfyldning. Ved store strømningshastigheder og/eller ved store vandmængder kan dette medføre borterodning af befæstelsen og i ekstreme tilfælde bortskylning af befæstelsen.

## **6.3 Risiko for samt sårbarhed ved vand i en befæstelse**

Som beskrevet indledningsvis i dette afsnit fungerer en befæstelsens afvandingssystem i kombination med befæstelsens opbygning og skal sikre, at befæstelsen holdes fri for vand.

Vejnettet i Danmark er blevet opbygget over århundreder og er med tiden blevet ændret, udbygget og fornyet.

Formålet med vejnettet er at facilitere bevægelse af mennesker, materialer og varer. Når der opstår et behov for transport fra A til B, benyttes enten det eksisterende vejnet, en ny vejstrækning anlægges eller andre transportformer anvendes (eksempelvis tog, skib eller fly). I det følgende fokuseres kun på vejtransport.

Erfaringen med hensigtsmæssig opbygning af en vejbefæstelse er blevet opbygget over generationer, men ny viden medfører ikke, at eksisterende vejbefæstelser ombygges for at inkorporere denne nye viden. Således er der vejbefæstelser, som eksempelvis ikke har et tilstrækkeligt afvandingssystem og/eller ikke har et bundsikringslag til at sikre, at vejbefæstelsen holde fri for vand. Disse vejbefæstelser vil således være ekstra sårbare overfor vand fra de forskellige oversvømmelseskilder, som indgår i dette projekt.



For at kunne vurdere risici for vand i en befæstelse er det nødvendigt at have kendskab til følgende:

- Opbygning (permeable og impermeable lag) samt tilstand af befæstelse (eksempelvis om der er tætte lag, som er revnet og derved blevet utætte).
- Niveau af grundvandsspejl samt dybde under underside af befæstelse/overside af planum.
- Udformning samt kapacitet af afvandingssystem.
- Forventet krav til kapacitet af afvandingssystem i fremtiden.
- Risiko for stormflod og oversvømmelse fra vandløb, som kan medføre belastning af afvandingssystemet og eventuelt vand i befæstelsen.

Denne risiko for vand i befæstelsen skal kobles med sårbarheden ved vand i befæstelsen, og denne sårbarhed afhænger af følgende:

- Opbygning (lagtykkelse af de enkelte lag, materialer i de enkelte lag og vandfølsomhed af materialerne i form af reducere af E-værdi ved vandmætning) samt tilstand af befæstelse (eksempelvis reduceret bæreevne som følge af nedbrudt asfalt).
- Dimensioneringstrafik og -hastighed (jo lavere hastighed, jo lavere stivhed af asfaltlagene og derved jo lavere bæreevne).
- Tid, hvor befæstelsen er helt eller delvist vandmættet, samt tidshorisont fra vandmætning indtil det naturlige vandindhold i befæstelsen er genoprettet.

Størstedelen af vejnettet i Danmark bestyres af enten staten (gennem Vejdirektoratet) eller af kommunerne - henholdsvis cirka 3.800 km og 71.000 km. En mindre del af vejnettet udgøres af lavere klassificerede vejstrækninger, som er private fællesveje (cirka 15.000 km) og er uden væsentlige mængder tung trafik.

Der findes forskellige typer databaser, som anvendes til vejvedligehold - eksempelvis BelMan og RoSy. Disse databaser indeholder dog ikke alle parametre oplyst ovenfor, som kunne afdække såvel risiko for vand i en given befæstelse som sårbarhed ved vand i den pågældende befæstelse.

## 7. Beregningseksempel ved BEST Klimatilpasning

Den udførte "bottom-up" analyse af forventede omkostninger til genopretning af materielle skader efter oversvømmelse i bygninger suppleres i det følgende af et regne-eksempel ved hjælp af BEST Klimatilpasning, som er NIRAS' værktøj til skadesmodellering, samfundsøkonomiske analyser og fastsættelse af serviceniveau for vand på terræn i webGIS. Værktøjet er bl.a. sat op for Aarhus Kommune, hvor ét vandopland er udvalgt som udgangspunkt for at demonstrere konsekvensen for det beregnede serviceniveau ved at anvende de estimerede skadesværdier i nærværende opgave i stedet for nationale enhedspriser.

### 7.1 Datagrundlag og forudsætninger

Det udvalgte vandopland i Aarhus Kommune er vist på oversigtskortet Figur 7.1. To tredjedele af bebyggelsen består af boliger med/uden kælder (primært en-families huse), mens resten består af erhverv og offentlig service. Aarhus Kommune har udarbejdet sandsynlighedskort for oversvømmelse til regnhændelser med gentagelsesperiode 5, 10, 20, 50 og 100 år for status og nuværende klima. Oversvømmelseskortene er vist på Figur 7.1 i form af vandudbredelse større end 10 cm dybde.

BEST Klimatilpasning er anvendt til at beregne serviceniveauet for vand på terræn på screeningsniveau i henhold til de seks trin i den samfundsøkonomiske metode, jf. Bilag 1 i Serviceniveaubekendtgørelsen. Der er udført to serviceniveau-beregninger med udgangspunkt i:

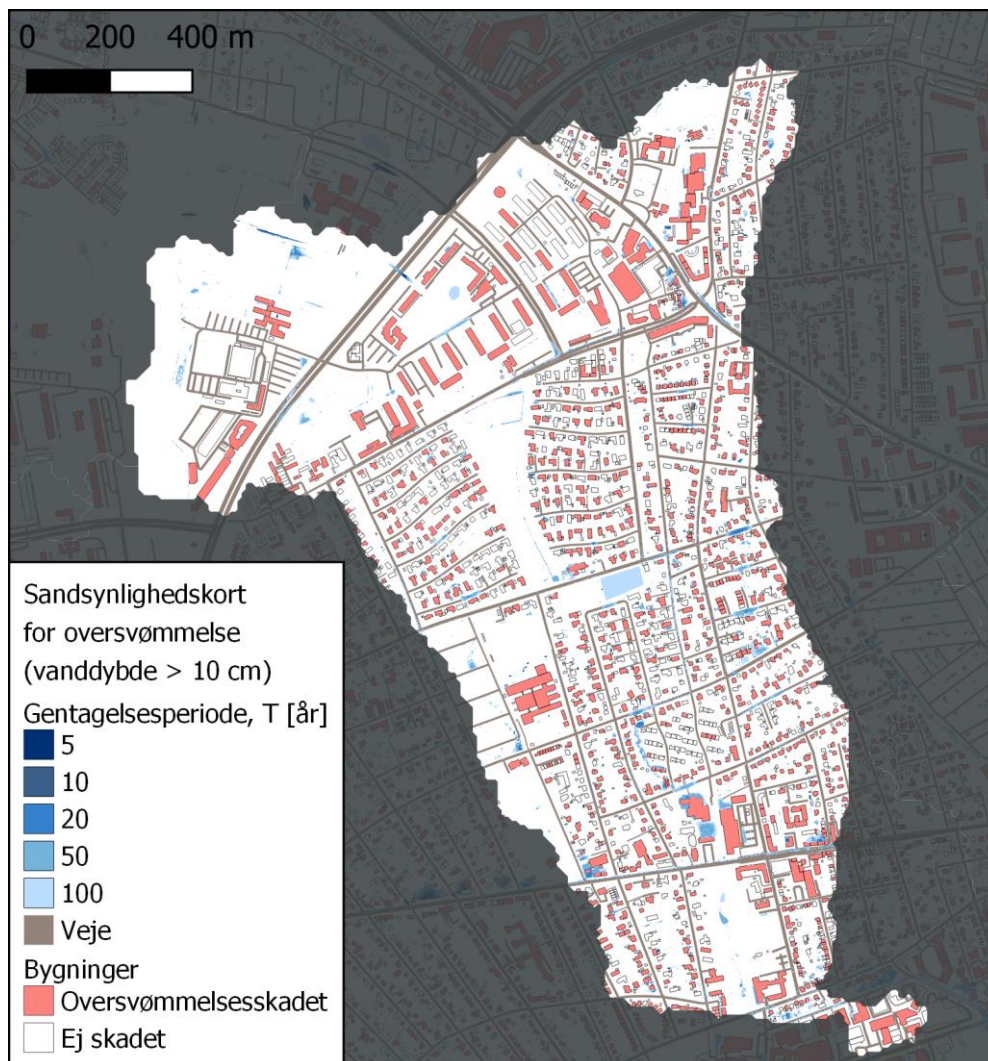
1. Nationale enhedspriser for genoprettelse af skader (beregning 1) og
2. Enhedspriser for boliger fra denne undersøgelse tillagt 1.000 kr./m<sup>2</sup> for at afspejle værdi af løsøre (beregning 2).

Ved at sammenholde de beregnede serviceniveauer for beregning 1 og 2 kan konsekvensen af de nye enhedspriser for skader evalueres. Input er de nævnte oversvømmelseskort for status samt et værdikort med bebyggelse og veje. Tabel 7.1 viser den anvendte kategorisering af bygninger og arealer med anvendte enhedspriser for skade svarende til beregning 1 og 2. Endvidere estimeres investeringsomkostningerne i klimatilpasning for sikring til forskellige serviceniveauer på baggrund af grove ha-priser som er vist i Tabel 7.2.

BEST følger de seks trin i den samfundsøkonomiske metode i Serviceniveaubekendtgørelsen. I Trin 5 anvendes dog en approksimation, idet skadesreduktionsgevinsten til analyserede serviceniveauer ikke beregnes i en hydrodynamisk model, som påkrævet i Serviceniveaubekendtgørelsen, men estimeres ved at parallelforskyde skadestrukturen for status. Approksimationen vurderes generelt at være en rimelig tilnærmelse, og det er i anden forbindelse eftervist, at BEST Klimatilpasning estimerer det samme serviceniveau som er afrapporteret for Eksempel 2 i Vejledningen til Serviceniveaubekendtgørelsen (case Vesterbro Torv i Aarhus).

Der benyttes forudsætninger for den samfundsøkonomiske analyse som vist i tekstboksen nedenfor:

- Analyseperiode på 100 år med start i år 2023 (år 0).
- Anlæg forudsættes etableret i år 0 med effekt i år +1.
- Tidslig varierende diskonteringsrente: 3,5% (år 0-35); 2,5% (år 36-70) og 1,5% (år 71-100).
- Nettoafgiftsfaktor og skatteforvridningsfaktor: Indregnes ikke.



Figur 7.1: Kort over vandoplandet, 220 ha, med bygninger, veje og sandsynlighedskort for oversvømmelse

Tabel 7.1: Opgørelse af skadesværdityper og enhedspriser for genoprettelse af skader efter oversvømmelse i vandoplandet

Kategori	Underkategori	Antal	Areal (ha)	National enhedspris [kr./m <sup>2</sup> ] (beregning 1)	Enhedspris denne opgave [kr./m <sup>2</sup> ] (beregning 2)
Bebyggelse	Boliger - stueetage	411 (30%)	6,5 (21%)	1.306	8.021*
Bebyggelse	Boliger - kældre	834 (60%)	14,2 (46%)	601	7.503*
Bebyggelse	Erhverv og offentlig (lokal værdi)	71 (5%)	4,5 (14%)	2360	2360
Bebyggelse	Erhverv og offentlig - kælder	66 (5%)	5,9 (19%)	601	601
<b>Bebyggelse</b>	<b>Sum</b>	<b>1.382 (100%)</b>	<b>31,1 (100%)</b>		
Arealer	Vej (oprydning)	-	23,2 (100%)	4	4
<b>Arealer</b>	<b>Sum</b>	-	<b>23,2 (100%)</b>		

\*Der anvendes enhedspriser svarende til gennemsnittet for betragtede bygningstyper i Tabel 5.6 tillagt 1.000 kr./m<sup>2</sup> for at afspejle værdi af løsøre.

Tabel 7.2: Grove enhedspriser for omkostningerne forbundet med sikring til forskellige serviceniveauer

Serviceniveau [år]	5	10	20	50	100
Investeringsomkostning* [Mio. kr./reducerede ha]	0	0,04	0,09	0,35	1,59

\*Årlige omkostninger til drift og vedligehold estimeres som 0,5 % af investeringsomkostningen. Der indregnes én reinvestering på 100 % efter 50 år. Bemærk at der udelukkende betragtes meromkostninger for sikring større end en 5 års hændelse.

## 7.2 Resultater

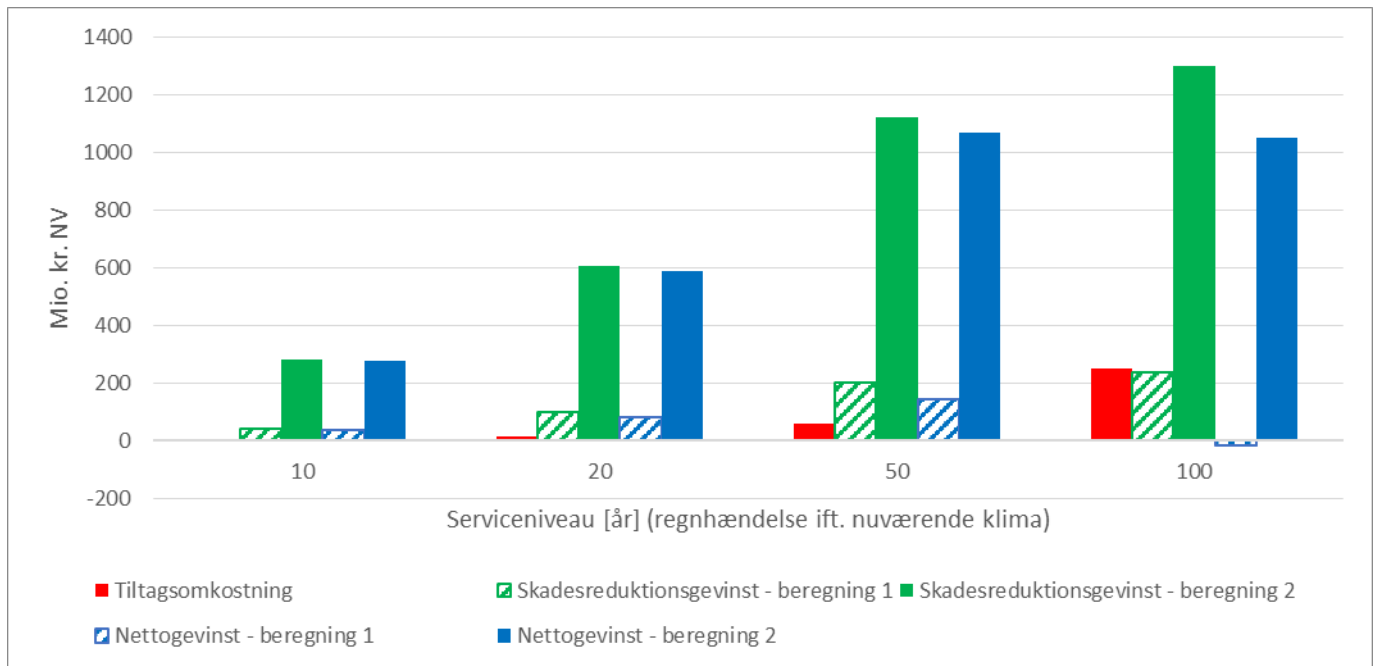
Resultatet for beregning 1 og 2 er vist på Figur 7.2 i form af cost-benefit analyser til serviceniveauer 10, 20, 50 og 100 år.

Der benyttes som nævnt samme tiltagsomkostninger for beregning 1 og 2. For både beregning 1 og 2 ses samme tendens for stigningstakten i skadesreduktionsgevinsten; de største stigninger optræder frem til S=50 år, hvorefter stigningstakten reduceres kraftigt frem til 100 år. Der er stor forskel mellem niveauerne af skadesreduktionsgevinsten for beregning 1 og 2. Niveauet er cirka 6 gange større ved anvendelse af de nye enhedspriser for skade fra nærværende undersøgelse i beregning 2 end niveauet ved anvendelse af nationale enhedspriser i beregning 1.

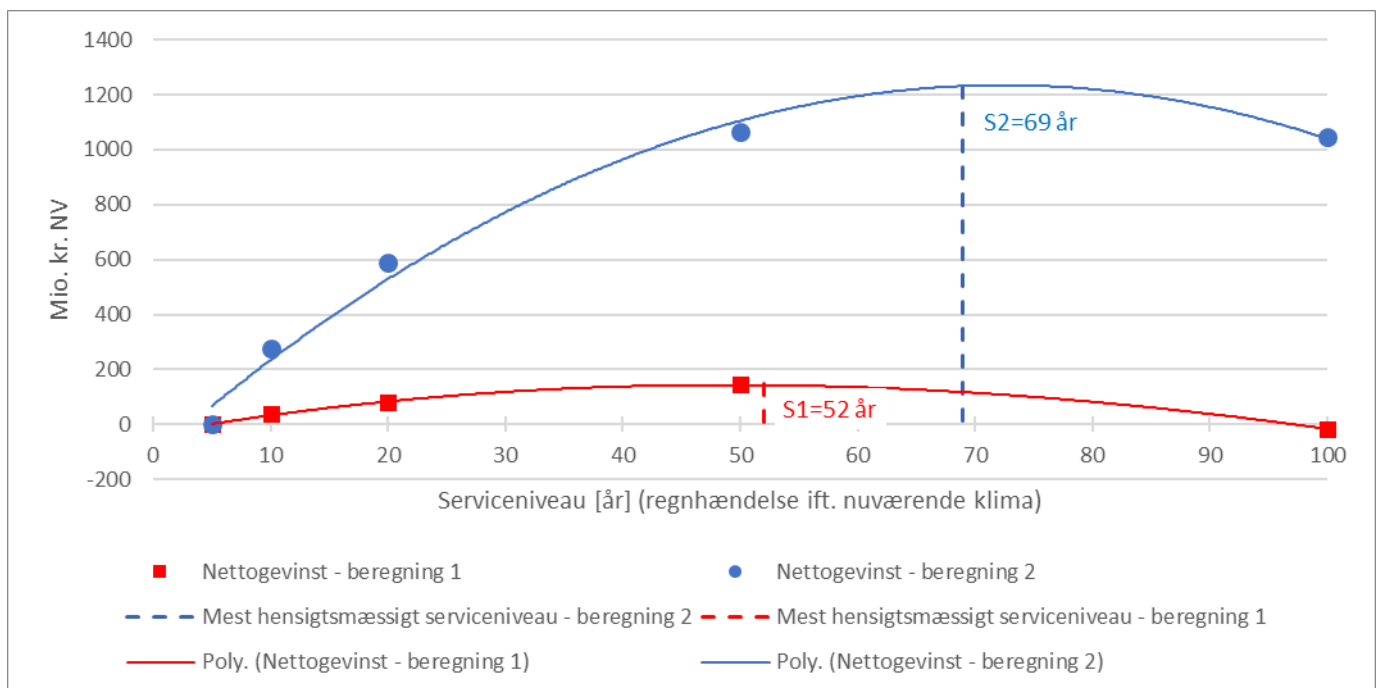
Nettogeinsten repræsenterer forskellen mellem geinsten og omkostningen. For beregning 1 ses nettogeinsten at vokse fra 10 års hændelsen til 50 års hændelsen, hvor den er maksimal. Til 100 års hændelsen er der ikke nettogeinst for beregning 1. Som følge af den meget større geinst i beregning 2, opnås ligeledes meget større nettogeinst i beregning 2 end i beregning 1. For beregning 2 er stigningen i geinst fra 50 til 100 års hændelsen på niveau med stigningen i omkostningen, hvorfor nettogeinsten ligger i samme niveau ved 50 og 100 års hændelsen.

Figur 7.2 viser, at nettogeinsten i beregning 2 er maksimal ved et højere serviceniveau end i beregning 1. Dette er tydeliggjort på Figur 7.3, hvor der er anvendt kurvefit til at estimere nettogeinsten mellem de analyserede serviceniveauer. Med udgangspunkt i de anvendte kurve-fit ses det mest hensigtsmæssige serviceniveau for beregning 1 at være 52 år, mens det mest hensigtsmæssige serviceniveau for beregning 2 er 69 år.

Så samlet set vil højere enhedspriser for skadesomkostninger fra nærværende undersøgelse gøre klimatilpasning væsentlig mere rentabel, og samtidig vil nye enhedspriser medføre et højere serviceniveau for vand på terræn end ved anvendelse af de nationale enhedspriser.



Figur 7.2: Samfundskonomisk cost-benefit analyse til serviceniveauer for beregning 1 og 2. Vandopland i den vestlige del af Aarhus



Figur 7.3: Nettogevinst for beregning 1 og 2 med angivelse af mest hensigtsmæssige serviceniveauer. Vandopland i den vestlige del af Aarhus