



Skader ved højtstående grundvand

Metoder til estimering af omkostninger til genopretning

Dato: 28. december 2021

Indhold

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Sammenfatning | 4 |
| 2 | Opgavebeskrivelse | 6 |
| 2.1 | Leverance..... | 6 |
| 3 | Bygninger og højtstående grundvand | 6 |
| 3.1 | Afgrænsning | 6 |
| 3.2 | Bygninger anvendt til beboelse | 7 |
| 3.2.1 | Relevante bygningskarakteristika..... | 7 |
| 3.2.1.1 | Kældre i bygninger anvendt til beboelse | 7 |
| 3.2.1.1.1 | Bygningsreglementet fra 1961..... | 7 |
| 3.2.1.1.2 | Bygningsreglementet fra 1972..... | 8 |
| 3.2.1.2 | Bygninger anvendt til beboelse uden kældre..... | 8 |
| 3.2.2 | Andre betydende bygningskarakteristika..... | 9 |
| 3.2.3 | Sammenfatning..... | 9 |
| 3.3 | Grundvand og skader på bygninger anvendt til beboelse..... | 10 |
| 3.3.1 | Omkostninger til genopretning i kældre i bygninger anvendt til beboelse | 10 |
| 3.3.2 | Omkostninger til genopretning af stueetage i bygninger anvendt til beboelse | 10 |
| 3.3.3 | Estimerede omkostninger | 11 |
| 3.3.3.1 | Kælder, etableret før 1973 (ubeboet) | 11 |
| 3.3.3.2 | Stueetage eller beboet kælder, etableret før 1973..... | 12 |
| 3.3.3.3 | Kælder, etableret efter 1973 (ubeboet)..... | 13 |
| 3.3.3.4 | Stueetage eller beboet kælder, etableret efter 1973 | 13 |
| 4 | Sammenligning med enhedspriser for skybrud..... | 14 |
| 5 | Infrastruktur og højtstående grundvand | 16 |
| 5.1 | Veje og højtstående grundvand | 16 |
| 5.2 | Jernbaner og højtstående grundvand | 18 |
| 5.2.1 | Screening af potentielle risikopunkter..... | 18 |
| 5.2.2 | Omkostninger til genopretning..... | 19 |
| 6 | Metodevalg ved bestemmelse af skadesomkostninger | 20 |
| 6.1 | Skadeskategorier | 20 |
| 6.2 | Generel metode for diskrete hændelser | 20 |
| 6.3 | Estimering af omkostninger ved permanent højtstående grundvand | 23 |

Bilag 1..... 25

1 Sammenfatning

Højtstående grundvand har en række konsekvenser, og en konsekvens kan bl.a. være skader på bygninger anvendt til beboelse. Det er i tidligere analyser¹ forsøgt at prissætte bygningskaderne vha. enhedspriser fra PLASK, men det er problematisk af to årsager. For det første har skaderne på bygninger forårsaget af højtstående grundvand en helt anden karakter end de skader fra skybrud, som enhedspriserne i PLASK afspejler. For det andet kan skaderne på bygninger fra højtstående grundvand både optræde som diskrete hændelser som man ser ved skybrud men skaderne kan også udvikle sig over en længere periode i takt med at grundvandet stiger uden at det er en hændelse på et bestemt tidspunkt der forårsager skaderne.

For at få et mere retvisende billede af hvor stor en indsats det er samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at gennemføre for at begrænse skaderne fra højtstående grundvand, er der behov for mere præcise opgørelser af skadesomkostningerne. Udgangspunktet for opgørelserne kan være de allerede kendte og nogenlunde veletablerede konsekvenser af højtstående grundvand på bygninger herunder opfugtning af terrændæk, fundament, etageadskillelse og evt. murværk, indervægge mv. Hvor konsekvenserne er nogenlunde kendte og veletablerede, er det mere usikkert hvad der primært har betydning for at en bygning skades – eller undgår skade – ved højtstående grundvand. Samtidig er det heller ikke etableret hvordan grundvandet i sig selv påvirker skadesbilledet – for eksempel hvordan niveauet for grundvandet, varigheden af grundvandspåvirkningen og hastigheden for stigningen i grundvandsniveauet har betydning for skaden på forskellige bygninger og bygningstyper.

I den første del af dette notat præsenteres skadesbilledet forårsaget af højtstående grundvand for bygninger anvendt til beboelse, veje og jernbaner. Dette for at afdække hvilke bygningskarakteristika der generelt set vurderes at have betydning for hvor skadet bygninger bliver ved højtstående grundvand, samt hvad der primært er bestemmende for vejes og jernbaners sårbarhed overfor højtstående grundvand. For bygninger anvendt til beboelse er det desuden i notatet estimeret hvilke aktiviteter der typisk skal igangsættes for at genoprette henholdsvis stueetage og kælder efter skaderne forårsaget af højtstående grundvand. Aktiviteterne er prissat ud fra en vurdering af det nødvendige omfang af deres gennemførelse, repræsentative enhedspriser, og endeligt er omkostningerne til genopretning for to fiktive cases beregnet. Disse omkostninger er sammenlignet med skadesomkostninger beregnet på baggrund af enhedspriserne fra PLASK med henblik på at få en indikation af om de beregnede omkostninger er på samme niveau, eller om der er en væsentlig forskel.

I den anden del af notatet er retningen for en generel metode til bestemmelse af skadesomkostningerne ved højtstående grundvand skitseret. Metoden er baseret på en litteratursøgning og -gennemgang og indeholder forslag til, i hvilken retning metoden med fordel kan videreudvikles. Disse forslag er suppleret af overvejelser og betragtninger i forhold til estimering af skadesomkostninger, hvor en stigning i grundvand er af mere permanent karakter, hvilket fører til at bygninger, vejkasser og jernbaneopbygninger mere permanent er opfugtede.

Med udgangspunkt i notatet konkluderes og anbefales følgende:

- Bygninger anvendt til beboelse bygget efter 1973 er generelt set bedre sikrede mod højtstående grundvand end tilsvarende bygninger bygget før 1973. Baggrunden for denne forskel er at bygninger etableret efter 1973 bl.a. skulle have kapillarbrydende lag og fugtspærrende materiale, hvilket ikke tidligere var formulerede krav i bygningsreglementerne.
- Andre ændringer bl.a. i byggeskikken bidrog også til at bygninger etableret efter 1973 er mindre følsomme overfor grundvandspåvirkning, herunder overgangen til støbte frem for murede fundamenter.
- Ved højtstående grundvand og deraf følgende opfugtning af kælder etableret før 1973 er der typisk følgende aktiviteter til genopretning:

¹ Kuono og Realise (2020): Samfundsøkonomiske cost-benefit analyser for håndtering af terrænnært grundvand. Udarbejdet for DANVA og KL.

- Udtørring af gulv, væg- og loftsflader (underside af etageadskillelse)
- Fjernelse af skimmelangreb (skimmelsanering)
- Bortpumpning af indtrængt vand
- Fjernelse og erstatning af løvsøre udsat for skimmelangreb
- Tilsvarende er der for stueetage etableret før 1973 typisk disse aktiviteter til genopretning:
 - Udtørring af gulv, væg- og loftsflader (underside af etageadskillelse)
 - Fjernelse af skimmelangreb (skimmelsanering) og faste installationer mv. med skader
 - Nedrivning og erstatning af bygning
 - Fjernelse og erstatning af løvsøre udsat for skimmelangreb
- For terrændæk etableret før 1973 er der fra et grundvandsniveau på 30-40 cm under kælder- eller stuegulvsniveau risiko for skader.
- For terrændæk etableret efter 1973 er der fra et grundvandsniveau på mindre end 30-40 cm under kælder- eller stuegulvsniveau risiko for skader. Er grundvandet i gulvniveau må der også for bygninger etableret efter 1973 forventes at ske kraftig opfugtning og evt. stå blankt vand på gulvet, da der trods fugtspærrende materialer vil være utætheder i støbeskel, omkring rør mv.
- I to fiktive cases er omkostningerne til genopretning efter højtstående grundvand estimeret. I den første case for en kælder er de estimerede omkostninger mere end dobbelt så høje når enhedspriserne fra notatet anvendes sammenlignet med enhedspriserne fra PLASK. I den anden case for stueetage er omkostningerne næsten 3,5 gange højere når enhedspriserne fra notatet anvendes sammenlignet med enhedspriserne fra PLASK. Disse forskelle indikerer en potentiel risiko for en væsentlig underestimering af skadesomkostningerne hvis enhedspriserne fra PLASK anvendes.
- For veje og jernbaner er det umiddelbart vanskeligt på det nuværende grundlag at bestemme gennemsnitligt forventede omkostninger til genopretning efter højtstående grundvand. For veje vanskeliggøres bestemmelsen af at nok kan omkostningerne til genopretning af vejens bæreevne bestemmes, men sker genopretningen ved tilførsel af asfalt kan det nødvendiggøre at fortove, kantsten og forbundne veje og indkørsler hæves tilsvarende. For jernbaner vanskeliggøres bestemmelsen af at genopretningen af afvandingen af baneopbygningen kan ske ved flere og potentielt kombinerede aktiviteter, som ofte varierer på en given banestrækning.
- Ved opgørelse af skadesomkostninger til genopretningsaktiviteter ved højtstående grundvand over tid kan de samme metoder anvendes som er kendte fra beregning af skader fra oversvømmelse på terræn, men kun så længe at der er tale om diskrete hændelser.
- Er der ikke tale om (midlertidige) diskrete hændelser, kan et 'permanent skade-domæne' med fordel introduceres i opgørelsen af skadesomkostninger ved højtstående grundvand over tid. Her er grundvandet mere eller mindre permanent højt, og derfor optræder skaderne så hyppigt at genopretning ikke er samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt, og en kælder eller stueetage må potentielt opgives.
- Metoden til bestemmelse af skadesomkostninger efter højtstående grundvand anbefales videreudviklet, således at der udvikles skadesfunktioner som er repræsentative for danske forhold. I den forbindelse bør det overvejes at inddrage flere parametre end dybden til grundvandsspejlet, idet også varigheden af højtstående grundvand i en hændelse samt den terrænnære hydrogeologi er styrende for størrelsen af en skade.
- Datagrundlaget til udvikling af skadesfunktionerne er umiddelbart til stede på et overordnet landsdækkende niveau i HIP-kortlægningen af det terrænnære grundvandsspejl. Disse data bør i konkrete projekter suppleres med evt. yderligere lokal viden om de hydrogeologiske forhold.

Med de ovenstående konklusioner og anbefalinger i mente skal det understreges at den i notatet skitserede metode ikke er færdigudviklet, og derfor kan den ikke umiddelbart anvendes til bestemmelse af skadesomkostningerne ved højtstående grundvand. Det samme er gældende for de præsenterede skadesfunktioner og estimerede enhedsomkostninger, der ligeledes ikke uden videre kan anvendes til bestemmelse af skadesomkostningerne ved højtstående grundvand – uden mere udviklede skadesfunktioner. For at metoden kan færdigudvikles skal mulighederne i

datagrundlaget i grundvandskortlægningen bl.a. afdækkes og analyseres, da der heri kan ligge flere og potentielt nye muligheder for kombineret med andre datatyper.

2 Opgavebeskrivelse

For at konkretisere konsekvenserne af højtstående grundvand og værdisætte skader på bygninger er det nødvendigt at sammensætte et tværfagligt team af eksperter med viden om grundvand og grundvandsstigninger, viden om og konkret erfaring med bygninger og konsekvenserne for bygninger ved påvirkning fra grundvand. Den samlede viden og erfaring skal tolkes og videreudvikles i samarbejde med samfundsøkonomer med henblik på at opnå en prissætning af skaderne. Det er nødvendigt at basere konkretiseringen og prissætningen på eksperterens viden og erfaringer, da der ikke på nuværende tidspunkt foreligger skadesdata f.eks. i form af erstatningsudbetalinger fra forsikringsselskaberne, da skader forårsaget af højtstående grundvand typisk ikke dækkes af husforsikringerne.

En konkretisering af konsekvenserne af højtstående grundvand samt prissætning af skader på bygninger og infrastruktur vil kunne afdække:

- Hvilke karakteristika ved en bygning har betydning for om den skades midlertidigt og varigt af højtstående grundvand?
 - o Hvilke tilgængelige datakilder indeholder oplysninger om disse karakteristika?
 - o Hvilke forhold for grundvandsniveauets udvikling har primært betydning for skaderne på bygninger?
- Hvilke metodevalg kan anbefales på baggrund af svarene på ovenstående spørgsmål – hvad kan med fordel indgå i en værdisætning af skaderne på bygninger ved højtstående grundvand, og hvad kan der umiddelbart ses bort fra?
- Hvordan opgøres den forventede skade over tid, når der netop ikke er tale om diskrete hændelser?
- Hvilke datakilder med oplysninger om bygninger, grundvand og grundvandsstigninger er tilgængelige, og hvilken yderligere dataindsamling og -behandling kan være relevant?

Ovenstående afdækning kan potentielt være et forprojekt for udvikling af en metode, en manual eller en tilgang til screeninger for skadesomkostninger for bygninger ved højtstående grundvand, der på sigt vil kunne anvendes til at belyse de samfundsøkonomiske omkostninger ved højtstående grundvand.

2.1 Leverance

Dette notat opsummerer afdækningen af hvilke bygningskarakteristika der erfaringsmæssigt har betydning for bygningernes sårbarhed overfor påvirkninger fra højtstående grundvand. Notatet indeholder også overvejelser omkring hvilke metodevalg der kan anbefales til værdisætning af skader på baggrund af sårbarhedsvurderingerne for bygninger. Derudover er der overvejelser omkring hvordan værdisatte skader opgøres over tid. Endeligt indgår der i notatet en sammenligning af notatets konklusioner ift. skadesomkostninger og anvendelsen af PLASK-data og -opgørelsesmetoder til vurdering af samfundsøkonomiske konsekvenser af højtstående grundvand.

3 Bygninger og højtstående grundvand

3.1 Afgrænsning

Dette afsnit omfatter beskrivelser af forhold gældende for bygninger anvendt til beboelse. Der vil derfor være en række forhold som alene er gældende for industri og landbrug som ikke behandles. Et eksempel på et forhold der ikke behandles, er at stigende grundvand kan medføre at nedgravede tanke skydes op efter, hvorved rør rives over eller bliver utætte som følge af forskydningen mellem tank og rør. For bygninger anvendt til beboelse er dette

primært olietanke, septiktanke m.v. mens det i landbruget ofte vil være nedgravede tanke til gylle, ajle, møddingsvand m.v. I industrien vil det være meget forskelligartede, primært flydende, materialer der opbevares i nedgravede tanke. For såvel beboelsesområder som omkring landbrug og i industriområder vil forurening fra utætheder kunne medføre betydelige omkostninger til oprydning. Disse omkostninger behandles dog ikke yderligere i det følgende.

Stigende grundvand vil endvidere kunne medføre, at utætte kloakrør i højere grad fungerer som dræn, og grundvandet derved føres til renseanlæg, der belastes af de større tilførte vandmængder. Omkostningerne det medfører vil ligeledes ikke blive behandlet yderligere i det følgende.

3.2 Bygninger anvendt til beboelse

I det følgende afdækkes skader fra højtstående grundvand på bygninger anvendt til beboelse. Stigende grundvand medfører, at bygninger opført til at stå på tør grund er i risiko for påvirkning af vand på væskeform nedefra. Bygningen er herved placeret på et mere flydende underlag, og der kan opstå risiko for sætningsskader, hvis underlagets stabilitet ændres – eller skylles væk ved at der føres materiale væk via utætte kloakrør e.l. Risikoen for denne type skader vurderes at være afhængig af husets alder, og jo ældre huset er, jo større er risikoen. Det vurderes imidlertid, at fugtindtrængning og ikke sætningsskader er det mest sandsynlige konsekvens af stigende grundvand, hvorfor der fokuseres på fugtindtrængning i det følgende.

3.2.1 Relevante bygningskarakteristika

Bygninger med kældre vil alt andet lige være i størst risiko for at blive påvirket af fugtindtrængning fra stigende grundvand. Om en bygning anvendt til beboelse har kælder eller ej vurderes derfor at være den mest afgørende faktor for, om bygningen påvirkes af fugtindtrængning fra stigende grundvand.

Den næstmest afgørende faktor i forhold til risiko for påvirkning af fugtindtrængning fra stigende grundvand er bygningens alder. Alderen har nemlig betydning for, hvordan huset er opført, og hvilke tiltag der er gjort for at afværge opstigende grundfugt i forbindelse med bygningens design og konstruktion. Jo ældre bygningen er, jo større er risikoen for, at stigende grundvand vil øge fugtindtrængning og derigennem påvirke bygningen – alt andet lige.

3.2.1.1 Kældre i bygninger anvendt til beboelse

3.2.1.1.1 Bygningsreglementet fra 1961

Kældergulve opført inden 1961 må regnes for meget følsomme overfor stigende grundvand.

Kældergulve er i de tidligste bygningsreglementet (1961) Kap. 5.3.2 beskrevet som:

Stk. 1: Kældergulve skal udføres på en sådan måde, at der i kælderen ikke opstår generende fugt fra grunden

Stk 2: kældergulve skal normalt udføres i mindst 10 cm's tykkelse incl. slidlag".

Denne beskrivelse ændres først med Bygningsreglementet i 1972. Dette betyder i praksis, at bygninger opført inden 1972 er udført uden kapillarbrydende lag under kældergulvet. Da terrændækket erfaringsmæssigt har meget forskelligartet kvalitet (ofte meget ringe betonkvalitet), vil grundvand der stiger op til kældrens gulvkote i de fleste tilfælde umiddelbart trænge ind i kælderen. En stigning i grundvandet til underkant betondæk, eller tæt på dette, vil endvidere medføre, at den kapillære opslugning af vand øges, og der vil være en væskeophobning i betondækket. Dette medfører først og fremmest en afkøling af kælderdækket, hvilket yderligere medfører, at der om sommeren vil være kondensdannelse på betondækket. Den højere fugtighed medfører at der oftere er en relativ fugtighed i overfladerne på mere end 75 %. Dette øger risikoen for vækst af skimmelsvampe, hvilket er uønsket pga. svampesporernes potentielle helbredsmæssige konsekvenser for beboerne i bygningen. Ejendomme uden beton på terrændækket vil også opleve fugtopstigning og generelt forøget fugtighed i kælderrummet – og der vil oftere være en relativ fugtighed i overfladerne på over 75 %.

Kælderydermurene ændredes igennem årene gradvist fra at være murede til at være støbte. Kælderydermure i teglsten (mursten) er kapillarsugende og stærkt påvirkede af grundvandets højde, hvorved de ofte vil være opfugtede i en betydelig højde. Der kan være tilfælde, hvor den kapillære op sugning er så stor, at den når op til træbjælkelaget over kælderen (etageadskillelsen). Bjælkerne bliver herved opfugtede, og der er risiko for angreb af trænedbrydende svampe, eksempelvis Ægte Hussvamp eller Gul Tømmersvamp. Konsekvensen af sådanne angreb er potentielt en omfattende renovering eller evt. nedrivning af bygningen, hvis angrebet er omfattende og spreder sig til andre dele af bygningens trækonstruktioner

Hvis der er toilet eller afløbsriste i kælderen vil disse også være udsatte, da utætheder i afløbsrør kan medføre, at der trænger grundvand ind i kælderen via afløb eller toilet.

3.2.1.1.2 Bygningsreglementet fra 1972

Den umiddelbart største ændring i forhold til højststående grundvand og bygninger anvendt til beboelse skete med Bygningsreglementet i 1972, her beskrives i Kap. 7:

Stk 1: Vægge og gulve i kældere skal konstrueres og udføres på en sådan måde, at vand og fugt ikke trænger ind.

Stk. 2: Ved kældre skal der udføres dræn, medmindre jordbunden består af selvdrænende materialer, eller andre forhold gør det unødvendigt.

Stk. 3: Under kældergulve skal udlægges et mindst 15 cm. tykt kapillarbrydende lag af uorganisk materiale

Stk. 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. 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

Denne præcisering af fugtsikringen af kældre er så betydende, at 1. januar 1973 må bestragtes som relativt skelsættende for risikoen for skader forårsaget af fugtindtrængning i kældre ved stigende grundvand.

Det skal dog bemærkes at der trods ændringerne i bygningsreglementet gældende fra 1. januar 1973 er betydelig risiko for fugtindtrængning i kældre, selv om bygningen er opført efter 1973. Baggrunden for denne risiko er at det kapillarbrydende lag ingen effekt har, hvis der er vand på væskeform op imod betondækket på kældergulvet. Beton kan kapillært suge fugt op, og et lag af "0,15 mm. polyethylenfolie" har næppe effekt over længere tid med vandpåvirkning, da vandet vil trænge gennem samlinger m.v. Yderligere vil støbeskel, f.eks. mellem betondæk og ydermur, ofte være utætte, hvis der er vand på væskeform på ydersiden. Også gennemføringer til rør og øvrige installationer vil ofte være utætte. Også i kældre opført efter 1973 vil toiletter og afløbsriste gøre kælderen ekstra udsat for fugtindtrængning, da utætheder i afløbsrør kan medføre, at der trænger vand ind i kælderen via afløb eller toilet.

3.2.1.2 Bygninger anvendt til beboelse uden kælder

Også for bygninger anvendt til beboelse opført uden kælder er det relevant at skelne mellem bygninger opført før januar 1973 og bygninger opført efter januar 1973. Bygningsreglementet blev fra 1. januar 1973 ændret til at et kapillarbrydende lag på mindst 15 cm under terrændækket altid skulle etableres. Og hvis jordbunden ikke var selvdrænende og gulvoverfladen mindre end 30 cm over terræn skulle der desuden anlægges omfangsdræn. Konkret hedder det i BR72 Kap. 7:

Stk. 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. 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.

3.2.2 Andre betydende bygningskarakteristika

Bygningens alder som et karakteristika af betydning for bygningens sårbarhed overfor fugtindtrængning ved højtstående eller stigende grundvand er i de ovenstående afsnit angivet som "opført før/efter 1973". Dette er naturligvis en forenkling og generalisering af betydende karakteristika for en lang række forskellige bygninger anvendt til beboelse med forskellige udformninger, byggematerialer og design.

Der er samtidig andre ændringer i byggeskikken og -loven som har betydning for bygningens sårbarhed overfor fugtindtrængning ved højtstående eller stigende grundvand. Disse ændringer varierer i forhold til om det er bygninger på landet eller i byen, og f.eks. murede fundamenter (med stor risiko for kapillær fugtopsugning ved stigende grundvand) er der mange af i København. Disse fundamenter blev fra omkring år 1900 ændret til støbte fundamenter, der ofte også har en kvalitet så vandindtrængen og kapillær fugtopsugning forekommer.

På landet er bygningerne ofte opført på et fundament af marksten (syldsten), uden bindemiddel. Bygninger med syldstensfundament er ofte uden støbt terrændæk med kapillarbrydende lag, og vil være meget følsomme overfor stigende grundvand.

3.2.3 Sammenfatning

Bygninger anvendt til beboelse kan i forhold til deres sårbarhed overfor højtstående eller stigende indeles i følgende kategorier:

- 1: Bygninger med kælder, opført før 1973
- 2: Bygninger med kælder, opført efter 1973
- 3: Bygninger uden kælder, opført før 1973
- 4: Bygninger uden kælder, opført efter 1973

Oplysninger om hvorvidt der er kælder i bygningen og om bygningen er opført inden 1. januar 1973 kan findes i BBR-registret, hvor de umiddelbart mest relevante informationer på bygningsniveau er²:

- Bygningens anvendelse
- Opførelsesår
- Samlet bygningsareal
- Samlet boligareal
- Samlet kælderareal
- Samlet kælderareal godkendt til beboelse

² Kilde: <https://teknik.bbr.dk/kodelister>

3.3 Grundvand og skader på bygninger anvendt til beboelse

3.3.1 Omkostninger til genopretning i kældre i bygninger anvendt til beboelse

Omkostninger til udbedring og genopretning efter vandindtrængen og opfugtning i kældre vil være meget afhængig af brugen af kælderen. Hvis kælderen bruges til beboelse, vil omkostningerne være større end hvis kælderen alene anvendes til opbevaring³. I BBR-registret er det oplyst om hele eller dele af kælderen er godkendt til beboelse.

Omkostningerne til udbedring og genopretning efter vandindtrængen og opfugtning i kældre afhænger ydermere af, om vandpåvirkningen har stået på gennem kortere eller længere tid. Baggrunden for dette er at det vil tage længere tid at tørre gulve og murværk ud efter længere tids opfugtning, ligesom større og langvarige opfugtninger kan medføre skimmelangreb ikke blot i kælderen, men også højere oppe i bygningens etageadskillelse, indervægge, ydermure mv. pga. den højere relative fugtighed i materialerne.

Endeligt afhænger omkostningerne af, om man i forbindelse med en hændelse med indtrængende vand alene vælger at udbedre og genoprette efter skaderne, eller man ønsker at forebygge og afværge nye indtrængningshændelser. Genopretningen består typisk af affugte og evt. afrensning for skimmelsvamp, imens forebyggelse og afværgetiltag f.eks. kan omfatte etablering af omfangsdræn, fugtsikring af fundament og terrændæk etc.

3.3.2 Omkostninger til genopretning af stueetage i bygninger anvendt til beboelse

Ligesom for kældre vil omkostningerne til udbedring og genopretning efter vandindtrængen i stueetagen i bygninger anvendt til beboelse være meget afhængige af brugen af de rum der er udsat for fugtpåvirkning, men sammenlignet med kælderen vil værdien af løsøre i stueetagen typisk være betydeligt højere.

I stueetagen er der sammenlignet med kælderen ofte flere og mere sårbare elinstallationer, gulve af organiske materialer, faste installationer (skabe m.v.), beklædninger (tapet mv.), yder- og indermure samt lette indervægge med isolering. Den høje forekomst af fugtophobende og -følsomme materialer gør at omkostningerne til udbedring og genopretning efter vandindtrængen i stueetagen i bygninger anvendt til beboelse ofte vil være høje, da den større mængde fugtfølsomme materialer, såsom gips mv. hurtigt påvirkes alvorligt af fugt. Påvirkningen øges hvis der er et højt saltindhold i det forhøjede grundvand, da det bl.a. vil påvirke bygningens installationer mere end ferskvand.

Ud over brugen af rummene der er udsat for fugtpåvirkning, afhænger omkostningerne til udbedring og genopretning efter vandindtrængen ligesom for kældre af, om vandpåvirkningen har stået på gennem kortere eller længere tid. Ligesom for kældre gælder det i stueetager at det vil tage forholdsvis længere tid at tørre gulve og murværk ud jo længere vandpåvirkningen har fundet sted. Samtidig kan større og langvarige opfugtninger medføre skimmelangreb – også længere oppe i bygningen i loft og tagkonstruktioner, hvis der er tale om en tilstrækkelig høj relativ fugtighed.

Og endeligt, ligesom for kælderen, afhænger omkostningerne af, om man i forbindelse med en hændelse med indtrængende vand vælger blot at affugte og afrensning for skimmelsvamp, eller man ønsker at forebygge nye indtrængningshændelser.

³ Hvis der opbevares industrielt udstyr eller eksempelvis servere i kælderen vil omkostningerne være endnu højere, men det antages ikke at være tilfældet i bygninger anvendt til beboelse.

3.3.3 Estimerede omkostninger

I de følgende tabeller er der oversigter over skader, genopretningstiltag og estimerede omkostninger til genopretning ved højtstående grundvand. De angivne skader i form af skimmelangreb sker typisk ved en relativ fugtighed på 75%, og skimmelen udvikler sig her indenfor kort tid – erfaringsmæssigt rundt regnet indenfor en uge. Hvor hurtigt en relativ fugtighed på 75% er nået afhænger af bl.a. materialer, opvarmning og udluftning samt naturligvis hvor massiv fugtpåvirkningen i det pågældende rum er. Opfugtning af gulv og vægge kan dog allerede begynde, når grundvandet er 30-40 cm under gulvniveau i kældre og stueetager, så er grundvandet på det niveau er der risiko for skader.

3.3.3.1 Kælder, etableret før 1973 (ubeboet)

Tabel 1: Estimerede omkostninger ved højtstående grundvand i ubeboede kældre etableret før 1973.

| Potentielle skader v. højtstående grundvand | Genopretningstiltag | Omkostning t. genopretning | Estimerede omkostninger |
|--|---|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> Opfugtning af gulv og vægge (<i>Kan allerede begynde fra grundvandet er omkring 30-40 cm under kældergulvniveau</i>) Skimmelangreb på indvendige vægflader og loftsflader (underside af etageadskillelse) Evt. vandindtrængning på gulv (<i>Når grundvandet kældergulvniveau kan der stå blankt vand</i>) Skimmelangreb på løsøre | <ol style="list-style-type: none"> Udtørring af gulv, væg- og loftsflader (underside af etageadskillelse) Fjernelse af skimmelangreb (skimmelsanering) Bortpumpning af indtrængt vand Fjernelse og erstatning af løsøre udsat for skimmelangreb | <ol style="list-style-type: none"> Affugtning: Leje af affugter, omkostninger til elforbrug Skimmelsanering: Omkostning til professionel sanering Omkostning til leje af dyk-/kælderpumpe, omkostninger til elforbrug Erstatning af tabt løsøre | <ol style="list-style-type: none"> Affugtning i f.eks. 2 måneder (60 dage). Effektbehov på 2KW pr. 20m² = 0,1 KW/m² = 2,4 kWh/m²/døgn. I 60 dage = 144 kWh/m². Dagsleje af affugter ca. 350 kr./døgn (inkl. moms)⁴ Afrensning af skimmel-svamp estimeret til 220 kr./m² overflade. Samlet overfladeareal antages at være 2 x grundareal. Dagsleje af pumpe til pumpning af vand ca. 250 kr./døgn (inkl. moms)⁵. Effekt 370W, 240 l/min. Ved 10 cm vand på gulv = 100 l/m² beregnes energiforbruget til at være 0,003 kWh/m². Værdi af fugtfølsomt løsøre i ubeboet kælder varierer. Antaget værdi: 100-500 kr./m² Tidsforbrug til opstilling af affugter og dykpumpe samt oprydning og bortkørsel af løsøre anslåes til 40 timer pr. hændelse. Tidsværdien |

⁴ Priseksempler fra udlejer af affugtere: <https://www.gsv.dk/>

⁵ Priseksempler fra udlejer af affugtere: <https://www.gsv.dk/>

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | for forsinkelsestid er 355 kr./time ⁶ . |
|--|--|--|--|

3.3.3.2 Stueetage eller beboet kælder, etableret før 1973

Tabel 2: Estimerede omkostninger ved højtstående grundvand i stueetage eller beboede kældre etableret før 1973

| Potentielle skader v. højtstående grundvand | Genopretningstiltag | Omkostning t. genopretning | Estimerede omkostninger |
|---|--|--|--|
| 1. Opfugtning af gulv og vægge (<i>Kan allerede begynde fra grundvandet er omkring 30-40 cm under stuegulvsniveau</i>) 2. Skimmelangreb på indvendige vægflader og loftsflader 3. Evt. vandindtrængning på gulv (<i>Når grundvandet stuegulvniveau, må huset antages så skadet at det er ubeboeligt</i>) 4. Skimmelangreb på løseøer | 1. Udtørring af gulv, væg- og loftsflader (underside af etageadskillelse) 2. Fjernelse af skimmelangreb (skimmelsanering) og faste installationer mv. med skader 3. Nedrivning og erstatning af hus 4. Fjernelse og erstatning af løseøer udsat for skimmelangreb | 1. Affugtning: Leje af affugter, omkostninger til elforbrug 2. Skimmelsanering: Omkostning til professionel sanering. Faste installationer mv.: Omkostninger til udskiftning af gulv, installationer, inder- og skillevægge mv. 3. Omkostninger til nedrivning og erstatning af hus 4. Erstatning af tabt løseøer | 1. Affugtning i f.eks. 2 måneder (60 dage). Effektbehov på 2KW pr. 20m ² = 0,1 KW/m ² = 2,4 kWh/m ² /døgn. I 60 dage = 144 kWh/m ² . Dagsleje af affugter ca. 350 kr./døgn (inkl. moms) ⁷ 2. Afrensning af skimmel-svamp estimeret til 220 kr./m ² overflade. Samlet overfladeareal antages at være 2 x grundareal. Udskiftning af faste installationer mv. med skader estimeres til 3000 kr./m ² . 3. Omkostninger til nedrivning antages at være 100-300.000 kr./enfamiliehus. M ² -prisen til køb af anden bolig varierer mellem anslået 10-70.000 kr./m ² . 4. Værdi af fugtfølsomt løseøer varierer. Antaget værdi: 1000 kr./m ² |

⁶ Transportøkonomiske Enhedspriser, vægtet snit, 2020-priser, <https://www.cta.man.dtu.dk/modelbibliotek/teresa/transportoekonomiske-enhedspriser>

⁷ Priseksempler fra udlejer af affugtere: <https://www.gsv.dk/>

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | 5. Eventuel genhusning under genopretning anslået til 10-35.000 kr./måned. |
|--|--|--|--|

3.3.3.3 Kælder, etableret efter 1973 (ubeboet)

Som det fremgår af afsnit 3.2.1.1.2 er der trods ændringerne i bygningsreglementet gældende fra 1. januar 1973 stadig betydelig risiko for fugtindtrængning i kældre, selv om bygningen er opført efter 1973. Så selvom sårbarheden er lavere sammenlignet med kældre opført før 1973, kan vand på væskeform op imod betondækket på kældergulvet trænge igennem samlinger, støbeskel, gennemføringer til rør og øvrige installationer samt toiletter og afløbsriste. På den baggrund vurderes værdierne angivet i Tabel 1 at være retvisende for kældre etableret efter 1973 med den ændring at opfugtningen forsinkes og almindeligvis sker ved end højere grundvandsstand end 30-40 cm under kældergulvsniveau som angivet i Tabel 1.

3.3.3.4 Stueetage eller beboet kælder, etableret efter 1973

Ligesom for bygninger med kælder er det i afsnit 3.2.1.2 angivet at for bygninger anvendt til beboelse uden kælder er det relevant at skelne mellem bygninger opført før januar 1973 og bygninger opført efter januar 1973. Fra 1973 var der krav om et kapillarbrydende lag på mindst 15 cm under terrændæk og evt. etablering af omfangsdræn, hvilket reducerede risikoen for fugtindtrængning i bygningens stueetage. Igen ligesom for kældre etableret efter 1973 vurderes det dog at vand på væskeform op imod betondækket på stuegulvet kan trænge igennem samlinger, støbeskel, gennemføringer til rør og øvrige installationer samt toiletter og afløbsriste. På den baggrund vurderes værdierne angivet i Tabel 2 at være retvisende for stueetage etableret efter 1973 med den ændring at opfugtningen forsinkes og mestendels sker ved end højere grundvandsstand end 30-40 cm under stuegulvsniveau som angivet i Tabel 2. Ligesom for beboelsesbygninger uden kælder etableret før 1973 må det antages at såfremt grundvandet når stuegulvniveau, må huset antages at blive så skadet at det i praksis derefter er ubeboeligt.

4 Sammenligning med enhedspriser for skybrud

I tidligere analyser er skadesomkostningerne fra højtstående grundvand estimeret ved hjælp af enhedspriser for skybrud fra beregningsværktøjet PLASK⁸. Dette er tilfældet i KL og DANVAs rapport "Samfundsøkonomisk analyse af indsats mod højtstående grundvand"⁹.

I det følgende sammenlignes de estimerede skadesomkostninger i to fiktive cases. I den første case estimeres skadesomkostningerne for 100m² kælder og i den anden case for 140 m² stueetage ved hjælp af henholdsvis enhedspriserne fra PLASK og enhedspriserne præsenteret i afsnit 3.3.3

Tabel 3: Sammenligning af enhedspriserne fra PLASK og enhedspriserne præsenteret i afsnit 3.3.3

| | PLASK enhedspriser | Enhedspriser jf. afsnit 3.3.3 |
|------------------------------|--|--|
| 100 m ² kælder | 578 kr./m ² , 100 m ² x 578 kr./m ² = 57.800 kr. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Elforbrug, Affugtning: 100 m² x 144 kWh/m² =14.400 kWh á 2,16 kr./kWh = 31.100 kr. 2. Leje af affugter: 60 dage á 350 kr./døgn = 21.000 kr. 3. Afrensning af skimmelsvamp: 100 m² x 2 x 220 kr./m² = 44.000 kr. 4. Elforbrug, Pumpe: Negligérbart 5. Leje af pumpe: 1 døgn á 250 kr. = 250 kr. 6. Erstatning af løvsøre: 100 m² á 100 kr./m² =10.000 kr. 7. Tidsforbrug til oprydning mv.: 40 timer á 355 kr./time =14.200 kr. <p>I alt: ~120.600 kr.</p> |
| 140 m ² stueetage | 1257 kr./m ² , 140 m ² x 1257 kr./m ² = 176.000 kr. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Elforbrug, Affugtning: 140 m² x 144 kWh/m² =14.400 kWh á 2,16 kr./kWh = 43.500 kr. 2. Leje af affugter: 60 dage á 350 kr./døgn = 21.000 kr. 3. Afrensning af skimmelsvamp: 140 m² x 2 x 220 kr./m² = 61.600 kr. 4. Udsiftning af faste installationer mv.: 140 m² á 3000 kr./m² = 420.000 kr. 5. Erstatning af løvsøre: 140 m² á 1000 kr./m² =140.000 kr. 6. Genhusning i 2 måneder: 2 x 20.000 kr. = 40.000 kr. <p>I alt: ~600.000 kr.</p> |

Som det fremgår af Tabel 3 er omkostningerne forårsaget af højtstående grundvand estimeret i den første fiktive case for en kælder mere end dobbelt så høje når enhedspriserne fra afsnit 3.3.3 anvendes sammenlignet med enhedspriserne fra PLASK.

I den anden case er omkostningerne estimeret for stueetage næsten 3,5 gange højere når enhedspriserne fra afsnit 3.3.3 anvendes sammenlignet med enhedspriserne fra PLASK.

Baggrunden for forskellen i de estimerede omkostninger kan bl.a. være:

1. Enhedspriserne fra PLASK er baseret på forsikringsudbetalingerne efter skybrudshændelserne i årene 2006 til 2012¹⁰, hvorimod enhedspriserne i afsnit 3.3.3 er estimerede på baggrund af det forventede skadesbillede ved højtstående grundvand. Der er dermed tale om henholdsvis observerede og beregnede enhedspriser.

⁸ Se <https://www.klimatilpasning.dk/vaerktoejer/plask/>

⁹ Se https://www.danva.dk/media/7504/samfundsoekonomisk-analyser-af-terraennaert-grundvand_endelig_.pdf

¹⁰ Forsikring & Pension, 2014, Enhedsomkostninger ved oversvømmelseskader fra skybrud – udredning.

2. Opfugtningen ved skybrud opstår pludseligt hvorimod den typisk er længerevarende ved stigende grundvand. Dermed kan opfugtningen fra grundvand være mere omfattende, og skaderne tage længere tid at genoprette end ved skybrudshændelser.

5 Infrastruktur og højtstående grundvand

5.1 Veje og højtstående grundvand

Hvordan den teoretiske levetid af vejopbygninger vil blive påvirket af højtstående grundvandsspejl er tæt forbundet med vejens geometri og afvanding:

- Hvor vejopbygningen selv ved højtstående grundvand ikke bliver vandmættet, bør den teoretiske levetid ikke blive påvirket.
- Hvor vejgeometrien eller afvandingen gør, at højtstående grundvand kan afhjælpes med eksempelvis dybere grøfter, så vejopbygningen ikke bliver vandmættet, bør den teoretiske levetid ikke blive påvirket.
- Hvor vejopbygningen helt eller delvist vil blive vandmættet, vil dette medføre en reduktion af bæreevnen af de ubundne vejbygningsmaterialer, hvilket medfører en reduktion af den teoretiske levetid.

Geometri og afvandingsforhold varierer meget fra vej til vej. For at illustrere konsekvensen af højtstående grundvand kunne en meget simpel betragtning være baseret på følgende:

- Vejen var oprindeligt dimensioneret til at have 20 års teoretisk levetid på baggrund af en vandmættet underbund
- Vejen er dimensioneret ud fra kataloget i Tabel 13 i Vejregel - Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, der er baseret på følgende forudsætninger:
 - o Stivhed af underbunden er minimum 40 MPa
 - o Underbundens frostfølsomhed er minimum frosttvivlsom
 - o Dimensioneringshastigheden er minimum 60 km/h
- De ubundne vejbygningsmaterialer (stabilt grus og bundsikring, henholdsvis SG og BL) er konstant fuldstændigt vandmættet, og disse materials bæreevne (elasticitetsmodul, E-modul) bliver reduceret med 50 %:
 - o $SG_{tør}$: 300 MPa
 - o $SG_{vandmættet}$: 150 MPa
 - o $BL_{tør}$: 100 MPa
 - o $BL_{vandmættet}$: 50 MPa
- Den manglende bæreevne kompenseres ved ekstra asfalt, så 20 års teoretisk levetid bibeholdes
- Pris for asfalt er cirka 4.000 kr./m²

Ved dimensionering af veje i Danmark er der defineret en række trafikklasser, og for standard katalogbefæstelser for disse trafikklasser er konsekvensen af en konstant vandmættet vejkasse illustreret i Tabel 4 nedenfor:

Tabel 4: Teoretiske levetider samt nødvendig tykkelse af ekstra asfalt ved konstant vandmættet vejkasse.

| Trafikklasse ¹⁾ | Oprindelig teoretisk levetid ²⁾ | Teoretisk levetid ved højtstående grundvand ²⁾ | Ekstra asfalt for at bibeholde 20 års teoretisk levetid ³⁾ | Cirka pris for ekstra asfalt |
|---|--|---|---|------------------------------|
| Trafikklasse T1 (op til 1 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 400 mm) | 81,6 år | 5,9 år | 53 mm | 210 kr./m ² |
| Trafikklasse T2 (1-65 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 535 mm) | 20,4 år | 1,4 år | 81 mm | 325 kr./m ² |
| Trafikklasse T3 (65-120 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 600 mm) | 19,7 år | 1,5 år | 86 mm | 345 kr./m ² |
| Trafikklasse T4 (120-560 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 700 mm) | 20,8 år | 1,6 år | 98 mm | 390 kr./m ² |
| Trafikklasse T5 (560-1.200 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 765 mm) | 20,1 år | 1,8 år | 102 mm | 410 kr./m ² |
| Trafikklasse T6 (1.200-1.500 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 814 mm) | 20,1 år | 1,8 år | 108 mm | 430 kr./m ² |
| Trafikklasse T7 (mere end 1.500 tunge køretøjer/dag; tykkelse af vejkasse = 864 mm) | 20,1 år | 1,8 år | 114 mm | 455 kr./m ² |

¹⁾ Trafikklasser med standard dimensioneringstrafik i henhold til Tabel 1 Vejregel - Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, september 2017.

²⁾ Teoretisk levetid beregnet i dimensioneringssoftwaret MMOPP baseret på katalogbefæstelser i henhold til Tabel 13 Vejregel - Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, september 2017; den lange oprindelige teoretiske levetid for trafikklasse T1 skyldes, at lagtykkelser i katalogbefæstelser er baseret på minimumslagtykkelser for flere af lagene; opbygninger for trafikklasse T6 og T7 er dimensioneret med dimensioneringssoftwaret MMOPP.

³⁾ Mængden af ekstra asfalt er beregnet i dimensioneringssoftwaret MMOPP baseret på standard E-modul for asfalten (3.000 MPa for de øverste 100 mm; 5.000 MPa for asfalt mere end 100 mm under overfladen).

Såfremt vejlassen ikke er konstant vandmættet, vil nødvendigheden for ekstra asfalt være mindre.

Beregning af nødvendig ekstra asfalt i Tabel 4 ovenfor er baseret på en række antagelser, som ikke vil være gældende for alle vejstrækninger og kan være anderledes end forudsat:

- Dimensioneringstrafik, dimensioneringshastighed samt underbundens stivhed og frostfølsomhed
- Reduktion af bæreevnen af de ubundne vejbygningsmaterialer

Endvidere er der slet ikke taget højde for, om det er muligt at øge koten af vejoversiden. Der vil være mange tilfælde, hvor der er bindinger til eksempelvis naboarealer, så det slet ikke er muligt at udlægge den nødvendige mængde ekstra asfalt for at bevare den teoretiske levetid.

Ligeledes er der problemstillinger såsom eksempelvis frosthævninger ved højtstående grundvand, som slet ikke er belyst i ovenstående.

Således vil det være nødvendigt at lave en analyse for hver enkelt vejstrækning, der kan blive berørt af højtstående grundvand. Dette kan indledningsvis gøres på en række vejstrækninger, hvor mulige løsningsforslag beskrives og

prissættes. Disse løsningsforslag kan efterfølgende samles i et katalog, som kan bruges til at vurdere de økonomiske omkostninger for det øvrige vejnet.

5.2 Jernbaner og højtstående grundvand

Ved højtstående grund og et generelt stigende grundvandsspejl kan der for jernbaner især forventes udfordringer i forbindelse med ekstremregn og manglende afvanding.

1. Ekstremregn

Hvis grundvandet står højt, vil jordlagene over grundvandsspejlet være mindre, og de kan dermed absorbere mindre regnvand.

Dette vil medføre en større sårbarhed i forbindelse med hændelser med ekstremregn. Dette er ikke ensbetydende med, at et højere niveau for grundvand medfører skred eller udvaskning omkring underføringer for vandløb, men et højere grundvandsspejl vil, alt andet lige, øge sandsynligheden for udfordringer ved ekstremregn, herunder også nogle af de kraftige og potentielt risikobehæftede skred som er set tidligere.

En kombination af et højere niveau for grundvand, kombineret med en forventet højere frekvens og styrke af ekstremregnhændelser, kan dermed udgøre en fare for jernbaneinfrastrukturen. Faren er vanskelig at kvantificere, da afhænger af sandsynligheden for enkelthændelser af ekstremregn sammenfaldende med høj grundvandsstand.

2. Afvanding

Langs stort set alle banestrækninger er der enten grøfter, eller en form for dræn til afvanding.

Et højere grundvandsspejl medfører en reduceret mulighed for naturlig nedsivning. Dette vil specielt blive en udfordring, hvis grundvandsspejlet nærmer sig nederste niveau i grøften eller drænet. Hvor der er dræn af god kvalitet, er dette næppe et problem. Men for mange grøfter kan det medføre, at der vil være en markant stigende mængde af vand, der ikke siver ned, og derfor skal afledes gennem grøften. Dette kan, specielt i sandede områder, resultere i en stigende erosion i grøfterne. Dette kan potentielt medføre en undergravning af den egentlige banedæmning, og dermed potentielt udgøre en risiko for skred og sammenstyrtninger.

5.2.1 Screening af potentielle risikopunkter

Generelt er det det vanskeligt at sige noget om udfordringerne for en specifik jernbane i forhold til grundvandsstigninger, og der er flere forhold, der bør undersøges nærmere, hvis der lokalt konstateres væsentlige grundvandsstigninger. I de fleste tilfælde vil svagheder i underbygningen af banen vise sig ved 'uroeligt spor', der nødvendiggør og medfører hastighedsrestriktioner. Ud over dette forvarsel kan man dog i en screening for potentielle risikopunkter fokusere på flere væsentlige forhold der erfaringsmæssigt øger risikoen for skader på jernbaner ved højt grundvandsniveau:

1. Etablerings- eller fornyelsesår

Den del af jernbanen der er relevant i forhold til grundvandsstigninger, er den jord der bærer skinner, sveller, ballast, signaler osv., da disse kun indirekte berøres, i den udstrækning der sker svigt i de underliggende og bærende jordlag. For de strækninger der er nybyggede eller gennemgribende fornyede må jordarbejdet antages udført efter normer, der forhindrer problemer med højtstående og stigende grundvand. Men der er væsentlige dele af både Banedanmarks og lokalbanernes infrastruktur, der er af ældre dato og som derfor ikke lever op til nugældende normsæt. Disse strækninger af ældre dato må forventes at kunne imødesee problemer ved højtstående og stigende grundvand.

2. Nuværende grundvandsspejl og dårlige jordbundsforhold

Væsentligst er det nuværende grundvandsniveau i området. Hvis grundvandsspejlet ligger i 4 – 5 meter dybde eller mere, er der ikke grund til yderligere overvejelser, og dermed frasorteres forventeligt store områder. Særligt i områder med blødbund vil der typisk være en kombination af et relativt højtliggende grundvandsspejl og udfordrende jordbundsforhold. Jordartskort kan derfor give en indikation af de problematiske områder. Hvis grundvandsspejlet er på 1 meter eller mindre under bunden af drængrøfter, er der behov for at se nærmere på eventuelle banestrækninger i en indledende screening.

3. Udfordringer i infrastruktur

Der er tre infrastrukturelle faktorer, der med fordel kan indgå i en screening af potentielle risikopunkter.

- a. Dæmninger med stor højde
- b. Dæmninger med stejle sider
- c. Underføringer for vandløb, som ligger tæt på grundvandsspejlet.

Alle tre forhold er typisk dokumenteret, både hos Banedanmark og hos lokalbanerne, således at det bør være muligt at identificere et begrænset antal lokationer, som der skal kigges nærmere på.

5.2.2 Omkostninger til genopretning

Der er primært tre typer skader på jernbaner der kan medføre omkostninger ved højtstående eller stigende grundvand:

1. Skred

De egentlige skred medfører meget ofte væsentlige forstyrrelser af togdriften og hertil kommer naturligvis omkostningerne til genopretning af jernbanen. Som nævnt under 'Ekstremregn' i afsnit 5.2 kommer skred normalt, når flere faktorer spiller sammen, så det er typisk ikke en grundvandsstigning alene, der er årsag. Skred, som dem set ved Taulov og på Sønderborgbanen, har beløbet sig til millionklassen alene i omkostningerne til udbedring og genopretning.

2. Vedligehold

De forhold der er nævnt under 'Afvanding' i afsnit 5.2, kan medføre behov for en styrkelse af tilsyn og vedligehold af drængrøfter. Dette er ikke en indsats, der er meget omkostningstung, men en funktion der med fordel kan styrkes.

3. Nybygning eller fornyelse

Såfremt de underliggende og bærende jordlag ikke er tilstrækkelige til længere at bære belastningen fra skinner, sveller, ballast, signaler, togmateriel mv. må jernbanen fornyes i væsentlig grad eller etableres på en anden lokation. I andre analyser¹¹ er omkostningerne til skinnerbrud forårsaget af oversvømmelse estimeret til 3000 kr./m².

¹¹ Rambøll, 2020, Stormflodssikring af Kalveboderne – Oversvømmelser og Skadesomkostninger, <https://realdania.dk/-/media/realdaniadk/projekter/naar-vandet-kommer---kalveboderne/c8906f17-b3c0-457d-8a8d-776426114b9a-bilag-6.pdf>

6 Metodevalg ved bestemmelse af skadesomkostninger

6.1 Skadeskategorier

En beregning af de forventede samfundsøkonomiske tab (skader) som følge af højtstående grundvand er en grundlæggende forudsætning for at kunne evaluere den samfundsøkonomiske fordel i at investere i forebyggende tiltag.

De samfundsøkonomiske skader bør evalueres over en given analyseperiode som omfatter den forventede levetid af de værdier (fx bygninger og veje) som beskyttes og tiltag som evt. implementeres.

Jævnfør 'fast track-projektet'¹² kan de samfundsøkonomiske tab inddeles i fire overordnede kategorier:

1. Direkte markedsomsatte skader (fx skader på bygninger og infrastruktur)
2. Indirekte markedsomsatte skader (fx midlertidig genhusning, forstyrrelse af transport, udgifter forbundet med håndtering af uvedkommende vand)
3. Direkte ikke-markedsomsatte skader (fx udgifter forbundet med sygdom som følge af fugt/forværret indeklima, skader på kulturarv)
4. Indirekte ikke-markedsomsatte skader (fx stressbelastning)

I et byområde forventes de dominerende skader typisk at være relateret til direkte markedsomsatte skader på bygninger, nedgravet infrastruktur og løsøre. Endvidere forventes afledte sundhedsudgifter relateret til sygdom som følge af forhøjede fugtniveauer i fx kældre. Skadernes omfang er afhængig af, hvor længe og hvor ofte grundvandet står højt og er i kontakt med fx et bygningsfundament. Endvidere bør typen af jordart (fx leret eller sandet jordbund) og typen af grundvandsspejl (primært eller sekundært) inddrages i karakteriseringen af en skade.

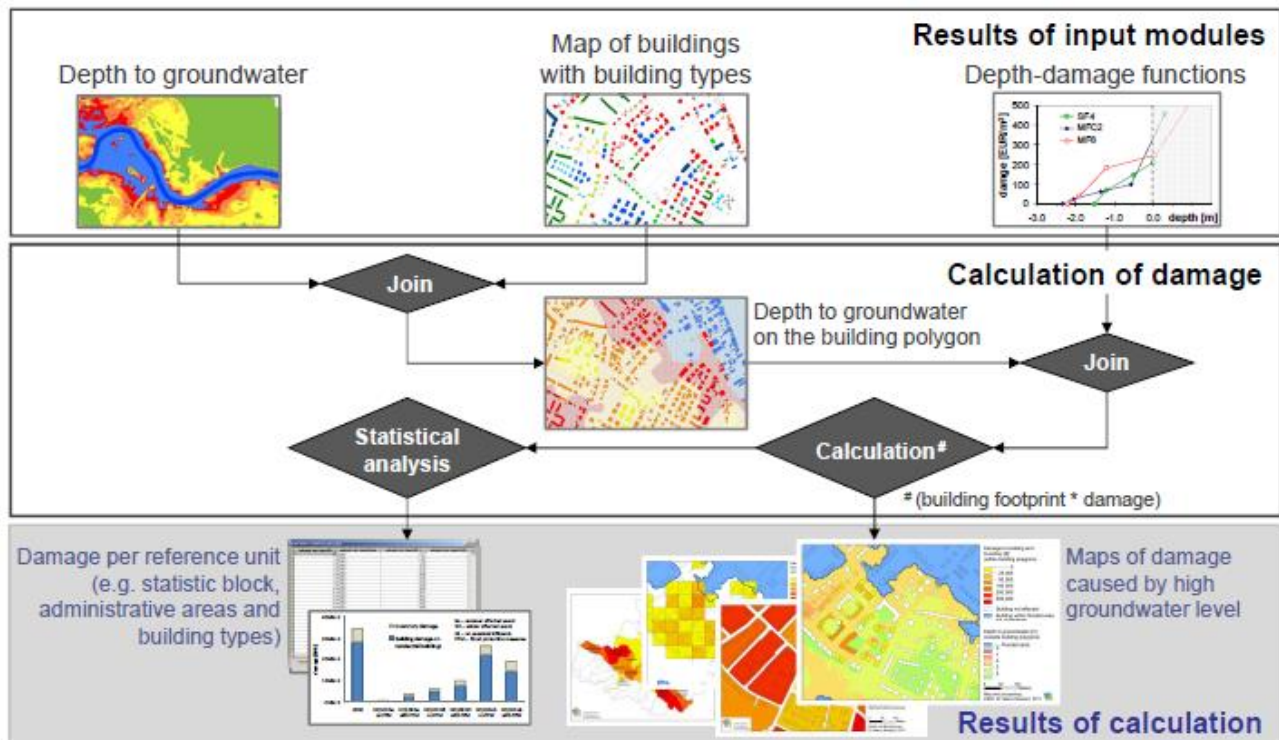
6.2 Generel metode for diskrete hændelser

Mens der på både nationalt og internationalt niveau foreligger betydelig viden omkring metoder til beregning af skader som følge af oversvømmelse på terræn, hvor der er tale om diskrete hændelser, foreligger der kun sporadisk forskning omkring metoder til opgørelse af skader som følge af højtstående grundvand, hvor der dels kan være tale om diskrete hændelser og dels permanente ændringer i niveauet for grundvandsspejlet.

Efterfølgende de store flodoversvømmelser i Tyskland i 00'erne er der lavet specifikke undersøgelser af bygnings-skader forårsaget alene af et midlertidigt hævet grundvandsspejl som følge af ekstremvandstand i floder. Det mest gennemarbejdede studie omfatter udviklingen af et GIS-baseret model "GRUWAD" som er anvendt til beregning af skadesomkostninger som følge af højtstående grundvand i et case-studie for Dresden¹³. Figur 6-1 viser den anvendte metode i GRUWAD.

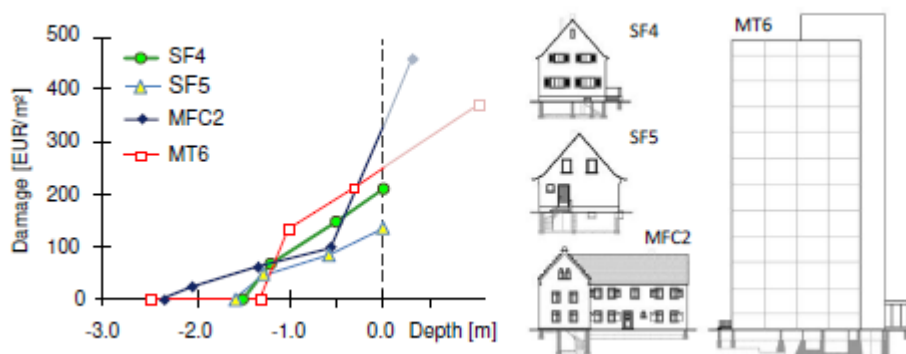
¹² Afrapportering fra fast track-projekt om højtstående grundvand i byområder. Miljøministeriet. Juni 2021.

¹³ Schinke et al. (2012): Damage estimation of subterranean building constructions due to groundwater inundation - The GIS-based model approach GRUWAD. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2865–2877, 2012.



Figur 6-1: Eksempel på metode for beregning af grundvandsafledte oversvømmelsesskade i modellen GRUWAD¹³.

Med metoden beregnes skaderne på bygningsniveau ved at kombinere et detaljeret kort over grundvandsspejlet med bygnings-specifik viden og syntetiske dybde-afhængige skadesfunktioner. Anvendelsen af metoden i case-studiet for Dresden indebar en detaljeret klassifikation af bygningsmassen med fokus på kældre, som blev udført på baggrund af både interviews og anvendelse af diverse geodata. Hver kælder blev således klassificeret i forhold til type og forventet sårbarhed ift. både konstruktionsforhold og løsrøre, se Figur 6-2 for et eksempel.



Figur 6-2: Eksempel på udvikling af bygnings-specifikke syntetiske dybde-afhængige skadesfunktioner¹³.

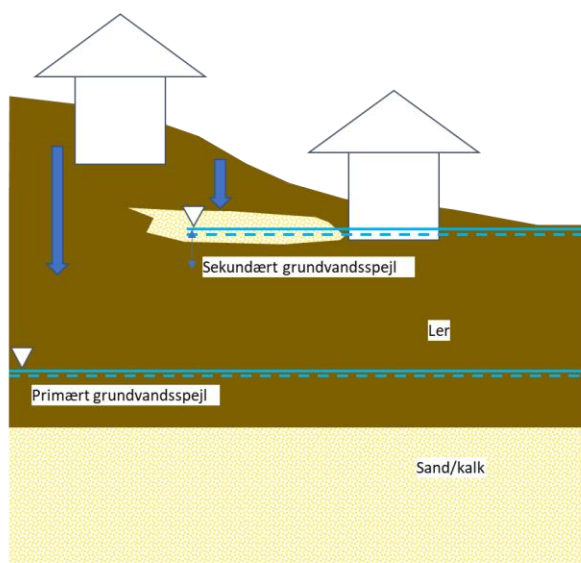
Den principielle metode anvendt i GRUWAD, Figur 6-1, kan med fordel overføres og tilrettes ift. danske forhold. Det foreslås således, at metoden udvides til også at inkludere bygninger uden kældre såvel som veje og jernbaner, hvilket forudsætter, at der udvikles repræsentative skadesfunktioner for disse typer af værdier. En væsentlig udfordring for overførslen af metoden til danske forhold er, at der grundlæggende mangler data fra forsikringsbranchen på erstatningsudbetalinger som følge af bygnings-skader fra højtstående grundvand. Det anbefales derfor at skele til tyske og

internationale erfaringspriser og skadesfunktioner i opsætningen af en dansk metode, der i øvrigt potentielt kan baseres på de estimerede omkostninger for bygninger anvendt til beboelse skitseret i afsnit 3.3.3.

I udviklingen af skadesfunktioner som er repræsentative for danske forhold, bør det overvejes at inddrage flere parametre end dybden til grundvandsspejlet, idet også varigheden af højtstående grundvand i en hændelse samt den terrænnære hydrogeologi er styrende for størrelsen af en skade. En hovedsagelig leret undergrund med et hængende/sekundært grundvandsspejl i kælderniveau må således generelt formodes at foranledige en mindre skade, end hvis der var tale om en sandet undergrund med et primært grundvandsspejl. Dette er forsøgt skitseret på Figur 6-3.

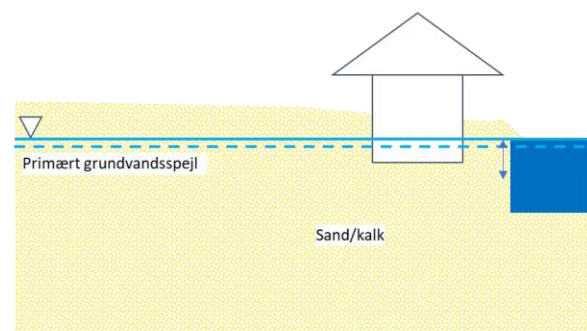
Datagrundlaget er umiddelbart til stede for en karakterisering af disse styrende parametre på overordnet landsdækkende niveau i form af den landsdækkende HIP-kortlægning af det terrænnære grundvandsspejl. Generelt bør der i egentlige projektfaser suppleres mere yderligere lokal viden om de hydrogeologiske forhold.

1: På bakken



Mindre problem

2: Ved åen / kysten



Større problem

Figur 6-3: To hydrogeologiske type-situationer: 1: På bakken, hvor der kan dannes et sekundært grundvandsspejl i våde perioder og 2: Ved åen / kysten, hvor det primære grundvandsspejl ofte står højt og generelt udgør et større problem end situation 1. Hvis vandet på sin vej ned fra overfladen møder et sandlag, som er afgrænset nedadtil af et lerlag, vil den nedadrettede strømning blive bremsset op og der kan dannes et sekundært grundvandsspejl, se figuren til venstre. I lavtliggende områder står det primære grundvandsspejl typisk højt af længere varighed, fx i forbindelse med høj vandstand i åen, fjorden eller havet, se figuren til højre. Mange af de større danske bycentre er typisk beliggende lavt svarende til situation 2, hvor det primære grundvandsspejl ofte står højt.

Med en i fremtiden udviklet metode vil det være muligt at beregne genopretningsskader i diskrete hændelser med højtstående grundvand på lokalt niveau (fx bygnings- eller vejstykkenniveau) som kan opskaleres til oplande/byniveau. Ved at anvende kort over grundvandsspejlets beliggenhed i hændelser med forskellig sandsynlighed for både nutid og fremtid er det efterfølgende muligt at beregne EAD på årlig basis for en analyseperiode på fx 100 år. Derved kan de akkumulerede årlige skadesomkostninger beregnes efter samme grundprincip som anvendt i den samfundsøkonomiske metode tilknyttet serviceniveau-bekendtgørelsen¹⁴.

¹⁴ Miljøministeriet (2020): Bekendtgørelse om fastsættelse af serviceniveau m.v. for håndtering af tag- og overfladevand. BEK nr. 2276 af 29/12/2020.

Ovenstående metode er dog kun gældende for diskrete hændelser for højtstående grundvand. Er problemet med højtstående grundvand af mere permanent karakter er den beskrevne metode ikke gældende, og dette beskrives nærmere i det følgende afsnit.

6.3 Estimering af omkostninger ved permanent højtstående grundvand

Den foreslåede metode i afsnit 6.2 til beregning af genopretningsskader som følge af højtstående grundvand er kun gældende for diskrete hændelser, hvor man genopretter efter skader forårsaget af højtstående grundvand. Er stigningen i grundvandsspejlet mere eller mindre permanent er det ofte ikke samfundsøkonomisk hensigtsmæssigt at genoprette skaden, fordi skaden med stor sandsynlighed snart vil forekomme igen. I de tilfælde er det derfor mere retvisende at indregne et permanent tab som følge af, at fx udnyttelsen af kælderen må opgives¹⁵.

På baggrund af ovenstående overvejelser foreslås det således at anlægge to forskellige domæne-betragtninger for beregningen af skader forårsaget af højtstående grundvand:

1. I 'hændelses-domænet' betragtes diskrete hændelser med højtstående grundvand og de deraf afledte skader (se omtale af diskrete hændelser ovenfor). De forventede skadesomkostninger beregnes som omkostningerne forbundet med genopretning efter skaderne efter metoden beskrevet i afsnit 6.2. De samlede skadesomkostninger for en analyseperiode kan beregnes som summen af de forventede gennemsnitlige årlige skadesomkostninger - EAD (Estimated Annual Damage).
2. I 'permanent skade-domænet' er grundvandet mere eller mindre permanent højt, hvorfor det ikke i praksis giver mening at genoprette efter skaderne. I stedet indregnes et permanent tab svarende til at en kælder eller ultimativt en ejendom må opgives. Det permanente tab kan eventuelt beregnes ud fra en andel af ejendomsvurderingen.¹⁶

Betragtes den nuværende situation for byområderne i Danmark forventes det generelt, at skaderne som følge af højtstående grundvand kan beskrives på baggrund af enkeltstående våde perioder / hændelser for højtstående grundvand (domæne 1). I nogle byområder optræder der dog allerede i dag mere eller mindre permanente problemer med højtstående grundvand (domæne 2), hvor det i nogle tilfælde er opgivet at anvende kældrene (se fx cases beskrevet i en undersøgelse af DANVA og KL¹⁷).

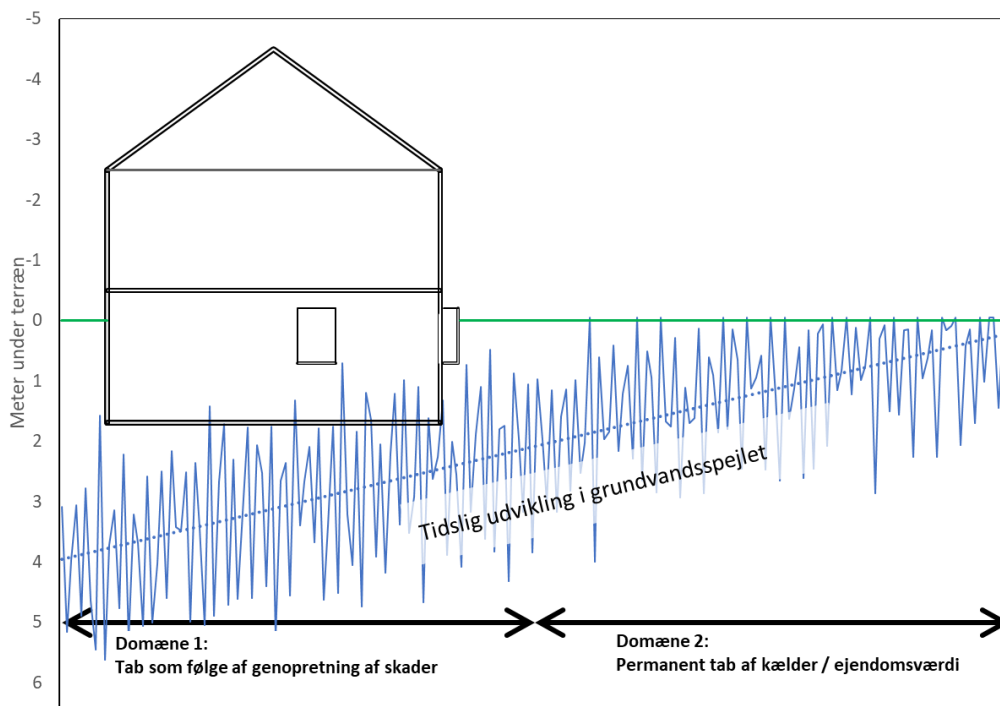
Som en konsekvens af fremtidige klimaændringer forventes en betragtelig del af de danske byområder at overgå fra domæne 1 til 2, og det vil sige at bygninger og infrastruktur med tiden bliver mere eller mindre permanent udfordrede af højtstående grundvand. I beregningen af den akkumulerede skadesomkostning over en given analyseperiode skal der således rettes opmærksomhed på, om/hvornår et givet område overgår fra 'hændelses-domænet' til 'permanent skade-domænet'. Hvis gentagelsesperioden for højtstående grundvand bliver mindre end fx $T=1$ år er det plausibelt, at det ikke er rentabelt at genoprette skaden, fordi skaden statistisk set snart vil optræde igen (den nøjagtige tærskel for gentagelsesperiode skal fastsættes efter nærmere overvejelser end givet her). Figur 6-4 illustrerer en fiktiv case for skadesberegninger for et område, som skifter fra domæne 1 til 2¹⁸.

¹⁵ I de tilfælde hvor stigningen i grundvandsspejlet er permanent, vil det være nærliggende at undersøge om der er afværgetiltag der modsat genopretningstiltag vil kunne forhindre at skaderne forekommer igen.

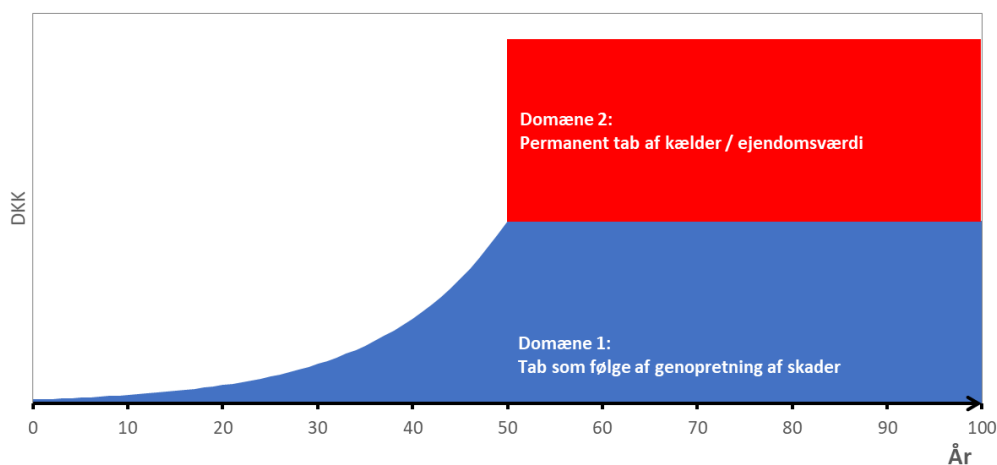
¹⁶ I tilfælde af at der er relevante og omkostningseffektive afværgetiltag som kan sikre en tilpasning til det permanent højere grundvandsspejl vil det være relevant at undersøge disse. Herved går man dog fra en 'do-nothing'-analyse og opgørelse af omkostninger til genopretning til en 'do-something'-analyse, hvor omkostningerne til genopretning i en cost-benefit-analyse sammenlignes med omkostningerne til afværgeforanstaltninger og tilpasning til det højere grundvandsspejl.

¹⁷ Kuono og Realise (2020): Samfundsøkonomiske cost-benefit analyser for håndtering af terrænnært grundvand. Udarbejdet for DANVA og KL.

¹⁸ Hvorvidt de årlige omkostninger stiger vertikalt efter 50 år som illustreret i figuren, eller om de i højere grad følger den mere eksponentielle udvikling fra år 0 til år 50 vil variere. Er der tale om relativt beskedne årlige omkostninger til genopretning i Domæne 1 frem til år 50 og samtidig en høj kvadratmeterpris i det pågældende område, kan forudsætningerne for en vertikal stigning være til stede.



Akkumulerede årlige skadesomkostninger



Figur 6-4: Illustration af en bygning med kælder og det tidlige forløb af dybden til grundvandsspejlet samt princippet for beregningen af de akkumulerede årlige skadesomkostninger. For de første 50 år beregnes EAD (Expected Annual Damage) for den forventede gennemsnitlige årlige udgift forbundet med genopretning af oversvømmelsesskaden i hændelser med højtstående grundvand. Efter 50 år er grundvandsspejlet permanent højt og det opgives at genoprette skaderne og anvende kælderen. Her indregnes et øjeblikkeligt permanent tab svarende til værdien af kælderen.

Bilag 1

Priser på elektricitet

Priser på elektricitet for husholdningskunder efter energienhed, prisdefinition, årsforbrug og tid

| | 2020H1 | 2020H2 | 2021H1 |
|---|--------|--------|--------|
| Kilowatttimer (kWh) | | | |
| Pris for energi og distribution (niveau 1) | | | |
| Forbrug under 1 MWh | 1,1608 | 1,2242 | 1,1862 |
| Forbrug 1,0-2,4 MWh | 0,8600 | 0,9265 | 0,9109 |
| Forbrug 2,5 - 4,9 MWh | 0,7097 | 0,7777 | 0,7732 |
| Forbrug 5,0 - 14,9 MWh | 0,6501 | 0,7191 | 0,7213 |
| Pris inklusiv faktiske afgifter (niveau 2) | | | |
| Forbrug under 1 MWh | 2,1430 | 2,1349 | 2,1384 |
| Forbrug 1,0-2,4 MWh | 1,8422 | 1,8308 | 1,8631 |
| Forbrug 2,5 - 4,9 MWh | 1,6918 | 1,6788 | 1,7254 |
| Forbrug 5,0 - 14,9 MWh | 1,3340 | 1,1784 | 1,1076 |
| Pris inklusiv afregnede afgifter og moms (niveau 3) | | | |
| Forbrug under 1 MWh | 2,6787 | 2,6686 | 2,6729 |
| Forbrug 1,0-2,4 MWh | 2,3028 | 2,2885 | 2,3288 |
| Forbrug 2,5 - 4,9 MWh | 2,1148 | 2,0985 | 2,1568 |
| Forbrug 5,0 - 14,9 MWh | 1,6675 | 1,4730 | 1,3845 |

Kilde: Statistikbanken, Tabellen ENERGI1