



Hvornår trænger tag- og overfladevand ind i bygninger?

Miljøstyrelsen

Dato: 21. december 2023

Indhold

1.	Indledning	1
2.	Fase 1: Litteraturgennemgang	2
3.	Fase 2: Kortlægning af bygningers sårbarhed	3
3.1	Case-områder	3
3.2	Kortlægningsparametre	5
4.	Fase 3: Analyse af kortlægningsresultater	6
4.1	Kælderanvendelse	6
4.2	Sårbart bygningselement	7
4.3	Tærskelværdier for potentiel vandindtrængning	8
4.3.1	Kælder	8
4.3.2	Stueetage	9
4.4	Historisk udvikling i tærskelværdier for potentiel vandindtrængning	12
4.4.1	Kælder	13
4.4.2	Stue etage	13
5.	Fase 4: Nye vejledende standardværdier for tærskler	14
5.1	Procedure for formulering af standardværdier for tærskler	14
5.2	Modelscenarier	15
5.3	Modelværktøj – BEST Klimatilpasning	15
5.4	Resultater for standardværdier for tærskler	16
6.	Fase 5: Konklusion og anbefalinger	17

1. Indledning

Modeller til værdi- og risikokortlægning ifm. oversvømmelse bygger på forskellige antagelser om, hvornår der udløses skader på bygninger og inventar. NIRAS bistår Miljøstyrelsen med denne opgave som skal tilvejebringe ny viden om 'ydre sårbarhed' af bygninger, dvs. hvornår tag- og overfladevand trænger ind i bygninger.

Hovedfokus for opgaven er tag- og overfladevand over terræn og det undersøges via kortlægninger, hvorvidt forskellige bygningskategorier kan danne grundlag for generelle vejledende anbefalinger til fastsættelse af standardværdier for tærskler for, hvornår tag- og overfladevand typisk trænger ind i bygninger.

Opgaven løses i fem faser:

1. Litteraturgennemgang
2. Stikprøvekortlægning for case-områder
3. Statistisk analyse af tærskler i forhold til registerdata (BBR)
4. Formulering og test af nye standardværdier ved modelberegninger
5. Konklusion og anbefalinger

I fase 1 gennemgås dansk og udenlandsk litteratur med henblik på at opsummere status for undersøgelser og analyser af den ydre sårbarhed af bygninger.

I fase 2 udføres stikprøvekortlægninger af bygningers sårbarheder i udvalgte case-områder. Kortlægningen fokuserer på at estimere tærsklerne for vandindtrængning gennem ydre sårbarhedselementer i bygningen, f.eks. en trappeskakt, et vindue, en dør eller en lyskasse.

De kortlagte data sammenholdes med BBR data i fase 3, og eventuelle sammenhænge mellem de estimerede tærskler og BBR data for etage, opførelsesår og anvendelse analyseres.

På baggrund af analysen i fase 3 anbefales i fase 4 eventuelle vejledende standardværdier for tærskler for indtrængen af tag- og overfladevand afhængig af oplysninger om bygninger i BBR-registret. Tærskelværdierne valideres og finjusteres i en række modelscenarier med henblik på at minimere forskellen mellem den beregnede årlige skade (EAD) baseret på kortlagte (observerede) tærskler (scenarie 1) og de eventuelle vejledende standardværdier for tærsklerne (scenarie 2). Der suppleres med et yderligere modelscenarie 3 som repræsenterer minimumskravene i Serviceniveaubekendtgørelsen mht. fastsættelse af tærskelværdier. Formålet med scenarie 3 er gennem EAD beregninger og sammenligning med scenarie 1 at belyse, hvor store afvigelser der optræder ved en grov beskrivelse af vandtærskler, og hvor meget analysen kan forbedres ved at anvende de eventuelle vejledende standardværdier for tærskler for vandindtrængen.

I fase 5 konkluderes på analysen, og der gives generelle anbefalinger til indarbejdelse af lokal viden i beskrivelsen af sårbarhed og skade i henhold til den samfundsøkonomiske metode i Serviceniveaubekendtgørelsen.

2. Fase 1: Litteraturgennemgang

NIRAS har i første omgang gennemgået følgende litteratur modtaget fra Miljøstyrelsen:

- /1/: DTU (2022): Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. Klimatilpasning
- /2/: NIRAS (2022): Hvornår udløses en skade ved oversvømmelse?
- /3/: Rambøll (2023): EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change
- /4/: Rambøll (2023): EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change – best practise

/1/ giver et overblik over de vigtigste metoder, der p.t. anvendes i Danmark til risikokortlægning, og sætter dem i en teoretisk kontekst. Af særlig relevans for nærværende undersøgelse er angivelsen af en overordnet funktion til beskrivelse af bygningsskadespotentialet for bygning j placeret på geografisk lokalitet i :

$$g_{j,i}(f_i, bs_j, bm_j, bk_j, ba_j, bv_j, be_j)$$

, hvor f_i er funktionen til beskrivelse af skadesomkostningspotentialet, b_s er bygningsstørrelse, b_k er bygningskvalitet, b_a er bygningsalder, b_v er bygningsvedligeholdelse og b_e er bygningsetage. Endvidere fremgår det, at skadesomkostningspotentialet, f_i , er en funktion af oversvømmelsestype, vanddybde, kinetisk energi, varsling, varighed af oversvømmelse og koncentration af fremmedstoffer.

I /2/ fokuseres på bygningers "indre sårbarhed", altså hvilke faktorer der er styrende for de direkte skader der opstår, når vandet er trængt ind i bygningen. I undersøgelsen anvendes en "bottom-up" analyse til at estimere de forventede enheds-omkostninger forbundet med direkte bygningsskader afhængig af etage, bygningsskategorie og den forventede konstruktions- og materialemæssige opbygning. Den ydre sårbarhed er kun berørt overordnet i analysen.

/3/ og /4/ giver et bredt indblik i risikoen ift. mange farer (oversvømmelse, storm, hedebølge, skybrud, sætning, tørke). Undersøgelserne fokuserer mest på tiltag mod at afværge farer og er i mindre grad beskrivende ift. bygningers sårbarhed, som er relevant i forhold til formålet med denne opgave.

Der er foretaget en bredere litteratursøgning af forskning indenfor karakterisering af sårbarhed og oversvømmelsesskade. Den gennemgåede litteratur indikerer overordnet, at sårbarheden af bygninger afhænger af mange faktorer, såsom typen og omfanget af oversvømmelsen, bygningens materiale, konstruktion, design, alder, tilstand, beliggenhed, orientering og etablerede beskyttelsesforanstaltninger. Dette harmonerer med den ovenfor angivne funktion for bygningsskadespotentialet fra DTU-rapporten, /1/. Der henvises til /5/ for et nyere review over forskellige metoder til vurdering af fysisk oversvømmelsessårbarhed og -skade.

¹ Arnbjerg-Nielsen, K., Panduro, T., Andersen, T. T., Asmussen, M. F., & Nielsen, D. S. (2022). Metodetilgange for beregning af økonomisk skade på bygninger til risikoanalyser ifm. klimatilpasning. DTU Institut for Miljø og Ressourceteknologi. Udarbejdet for Miljøstyrelsen.

² NIRAS (2022): Hvornår udløses en skade ved oversvømmelse? Bygninger og befæstelsers sårbarhed. Udarbejdet for Miljøstyrelsen.

³ Rambøll (2023): EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change. Udarbejdet for EU kommissionen.

⁴ Rambøll (2023): EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change – best practise. Udarbejdet for EU kommissionen.

⁵ Malgwi, M. B., Fuchs, S., and Keiler, M.: A generic physical vulnerability model for floods: review and concept for data-scarce regions, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 2067–2090, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2067-2020>, 2020.

Selv om skadesomkostningspotentialer, f_i , som nævnt ovenfor er afhængig af flere faktorer, anvendes i praksis generelt kun dybdeafhængige skadeskurver til beregning af bygningskade, jf. /6/. Dette er særlig relevant i forhold til hovedformålet med denne opgave der er at vurdere og fastsætte minimumstærskler (dybder) for skade, idet disse tærskler vil repræsentere nulpunkterne for dybdeafhængige skader på bygninger fra tag- og overfladevand over terræn. I /6/ er der foretaget en undersøgelse af globale oversvømmelseskader og dybdeafhængige skadeskurver fra forskellige dele af verden. De undersøgte skadesfunktioner starter generelt i nul, dvs. der antages at være tale om bygningskader, så snart vanddybden ved bygningen er større end nul. Kurverne i artiklen indikerer dog i varierende grad, at bygningskaden er lille ved små vanddybder, i størrelsesordenen 5% af den maksimale bygningskade for boliger ved cirka 10 cm vanddybde i europæisk kontekst.

I /7/ er der udviklet dybde-afhængige skadeskurver for case-områder i Ontario, Canada. Kurverne indikerer, at skaden stiger abrupt med vanddybden op til ca. 60 cm, hvor den relative skade generelt udgør mere end 60-80%. For bygninger med kælder muliggør skadeskurverne begyndende skade ved vanddybder mindre end nul, hvilket repræsenterer vandindtrængning i kælder (NIRAS formoder tilbagestuvning fra kloak). Fokuseres på bygninger uden kælder (hvor oversvømmelseskade skyldes vand på terræn) anvendes minimumstærskler på 0 meter. Der anvendes således ikke differentierede minimums-tærskler for skadesfunktionerne. Dog er hensynet til differentieret sårbarhed ved små vanddybder repræsenteret ved forskellige kurveforløb afhængig af bygningskategori, etage og kælder.

Litteratur-gennemgangen peger således ikke specifikt på erfaringstal for minimumstærskler for bygningskade. Den mest relevante publikation i den gennemførte litteratur er /7/, hvor der udarbejdes specifikke skadeskurver afhængig af bygningskategorier, kælder og anvendelse. Det vurderes dermed, at det er relevant at kortlægge sårbarheden og tærskler for danske cases og analysere eventuelle sammenhænge i forhold til registerdata.

3. Fase 2: Kortlægning af bygningers sårbarhed

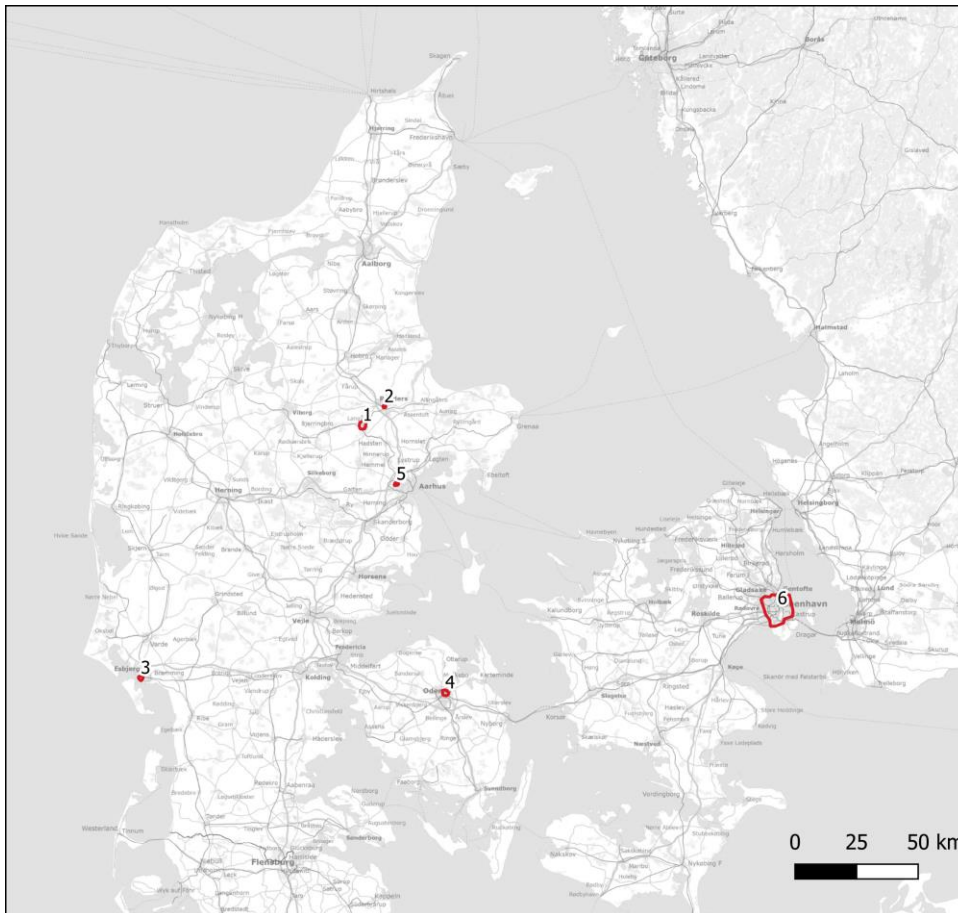
3.1 Case-områder

Der er udvalgt seks case-områder til kortlægning og analyse af tærskler for potentiel vandindtrængning. Områderne er vist nedenfor på Figur 3.1 og kan tilknyttes følgende overordnede karakteristik:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. Langå, Randers Kommune | (overvejende enfamiliehuse, fra år 1960 og frem) |
| 2. Randers Midtby | (blandet bebyggelse, før år 1930) |
| 3. Esbjerg, rådhuskvarteret | (enfamiliehuse og blandet anvendelse opførelsesår) |
| 4. Odense, Skibhuskvarteret | (overvejende enfamiliehuse og erhverv, fra år 1930 og frem) |
| 5. True, Aarhus Kommune | (overvejende enfamiliehuse, fra år 1960 og frem) |
| 6. København og Frederiksberg | (overvejende etageboliger, blandet opførelsesår) |

⁶ Huizinga, J., Moel, H. de, Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. EUR 28552 EN. doi: 10.2760/16510.

⁷ McGrath, H., Abo El Ezz, A. & Nastev, M. (2019) Probabilistic depth-damage curves for assessment of flood-induced building losses. Nat Hazards 97, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03622-3>



Figur 3.1: Oversigt over de seks caseområder: 1: Langå, 2: Randers Midtby, 3: Esbjerg, 4: Odense, 5: True og 6: København/Frederiksberg.

Tabel 3.1 viser en nærmere oversigt over antal registreringer opdelt på kælder og stueetage samt BBR-anvendelse. Alle kortlagte bygninger er udpeget som værende i risiko for oversvømmelse, hvor udpegningsgrundlaget er oversvømmelseskort for de enkelte case-områder (oversvømmelseskort er ikke vist i nærværende rapport).

Tabel 3.1: Oversigt over antal registreringer opdelt på kælder og stueetage samt grupperet BBR-anvendelse. Bemærk, at der anvendes registreret anvendelse på BBR-bygningsniveau for Langå, Randers, Esbjerg, Odense og True, men anvendelse på BBR-enhedsniveau for Københavns og Frederiksberg Kommune.

Etage	BBR-anvendelse*	Antal registreringer i case-område					
		Langå	Randers	Esbjerg	Odense	True	KK/FK**
Kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus	9	1	12	9	9	21
	Etagebolig	4	8	8	7	0	1727
	Kollegium, døgninstitution, annek	1	0	0	0	2	75
	Erhvervsmæssig produktion	0	2	1	2	1	5
	Transport og parkering	0	0	0	0	0	8
	Kontor, handel og lager	0	2	5	1	2	103
	Hotel, restaurant og service	0	2	3	0	0	33
	Kultur, forlystelse og trosudøvelse	0	0	0	0	0	6
	Undervisning og forskning	0	0	1	1	9	13
	Sygehus og sundhed	0	0	1	0	0	9
Institutionsformål	0	1	0	1	4	10	

	Ferieformål, sports- og idrætsformål	0	0	0	1	0	5
	Fritidsformål	0	0	2	0	0	38
	Andet	0	0	1	2	0	0
	Sum	14	16	34	24	27	2053
Stue	Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus	24	14	16	10	100	38
	Etagebolig	5	18	11	8	0	2107
	Kollegium, døgninstitution, annek	6	1	1	3	5	96
	Erhvervsmæssig produktion	9	6	3	14	5	22
	Transport og parkering	0	1	4	2	0	15
	Kontor, handel og lager	2	10	8	12	13	249
	Hotel, restaurant og service	1	4	7	2	0	76
	Kultur, forlystelse og trosudøvelse	1	6	1	0	0	13
	Undervisning og forskning	2	1	1	6	9	17
	Sygehus og sundhed	0	0	1	0	0	10
	Institutionsformål	1	3	0	2	6	17
	Ferieformål, sports- og idrætsformål	0	2	0	2	0	11
	Fritidsformål	0	2	2	0	0	49
	Andet	27	3	5	22	49	0
		Sum	78	71	60	83	187

*BBR-anvendelseskoder er aggregeret som følger: (110-139): Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus; (140-149): Etagebolig; (150-190): Kollegium, døgninstitution, annek; (211-239): Erhvervsmæssig produktion; (311-319): Transport og parkering; (321-329): Kontor, handel og lager; (331-339): Hotel, restaurant og service; (411-419): Kultur, forlystelse og trosudøvelse; (421-429): Undervisning og forskning; (431-439): Sygehus og sundhed; (441-490): Institutionsformål; (510-539): Ferieformål, sports- og idrætsformål; (540-590): Fritidsformål; (>591): Andet.

**KK/FK: Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune.

3.2 Kortlægningsparametre

Kortlægningen er udført som en skrivebordsøvelse, hvor en række relevante sårbarhedsparametre vurderes visuelt ved inspektion af gadefotos i Google Street-view og/eller SDFE Skråfotos. Tabel 3.2 viser de parametre som kortlægges. Kortlægningen er fokuseret på tærskler for vandindtrængning for kælder henholdsvis stue-etage.

Det skal igen bemærkes, at kortlægningen er en "skrivebordskortlægning", og dermed begrænses mulighederne for visuel inspektion til bedømmelse af parametre ud fra Google Street-View og Skråfotos. Vurderingen af fx kælderanvendelse er således begrænset til den "formodede" anvendelse på baggrund af den visuelle vurdering af kældervinduer, lyskasser, adgangsveje o. lign. Kortlægningen er derfor behæftet med en vis usikkerhed, men det antages, at eventuelle "fejl-registreringer" udjævnes af det relativt høje antal registreringer, og som eksempel at lige mange kælderanvendelser registreres fejlagtigt som cykel/vaskekælder som beboelse.

Tabel 3.2: Kortlægningsparameter.

Parameter	Mulige værdier
Kælder synlig	1: Ja, 2: Nej
Kælder tilgængelighed	1: Adgang fra forsiden, 2: Ingen adgang fra forsiden
Kælder anvendelse	1: Cykel/vaskekælder/ringe udnyttelse, 2: Erhverv, 3: Beboelse, 4: Parkering
Kælder tærskel for vandindtrængning	1-10: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, > 125 cm
Stue position	1: Stue i terræn, 2: Stue over terræn, 3: Stue under terræn,
Stue tilgængelighed	1: Adgang fra forsiden, 2: Ingen adgang fra forsiden
Stue anvendelse	1: Cykel/vaskekælder, 2: Erhverv, 3: Beboelse

Parameter	Mulige værdier
Stue tærskel for vandindtrængning	1-10: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, >125 cm
Sårbart bygningsselement	1: Lyskasse, 2: Vindue, 3: Trappeskakt, 4: Dør
Vertikal placering ift. vej	Konkret aflæsning

4. Fase 3: Analyse af kortlægningsresultater

I dette afsnit præsenteres resultater for sammenhænge mellem BBR-data og kortlagt kælderanvendelse, sårbart bygningsselement samt tærskler for vandindtrængning. For at opnå et tilstrækkeligt stort datagrundlag er der udført en analyse for hele datasættet og ikke opdelt på de seks case-områder.

4.1 Kælderanvendelse

Figur 4.1 viser en opgørelse af kortlagt kælderanvendelse fordelt på grupperede BBR-anvendelser.

Det ses bl.a. at den "formodede" kælderanvendelse for kategorien "enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus" er 75% "bolig", mens anvendelsen under "Etageboliger" derimod er ca. 95% "cykel-/vaskekælder". De forskellige primære anvendelser forventes i praksis at være forbundet med betydeligt forskellige skadesværdier under oversvømmelse i form af direkte materielle skader på bygning og løsøre.

Dette står i kontrast til, at der pt. alene er angivet én national skadesværdi for kældre, jf. www.klimatilpasning.dk/data, som kan anvendes i forbindelse med samfundsøkonomiske analyser for serviceniveau, jf. Service-niveaubekendtgørelsen /8/. Den nationale skadesværdi for kældre er baseret på en undersøgelse foretaget af Forsikring og Pension i 2014, jf. /9/, af forsikringsudbetalinger i København og Frederiksberg efter den store skybrudshændelse i 2011. Da hovedparten af kældre i dette geografiske område i overvejende grad forventes at være kældre under etageboliger, kan den nationale skadesværdi primært repræsentere anvendelsen "cykel/vaskekælder" og dermed underestimeres skaderne i kældre anvendt som "bolig" i kategorierne "enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus".

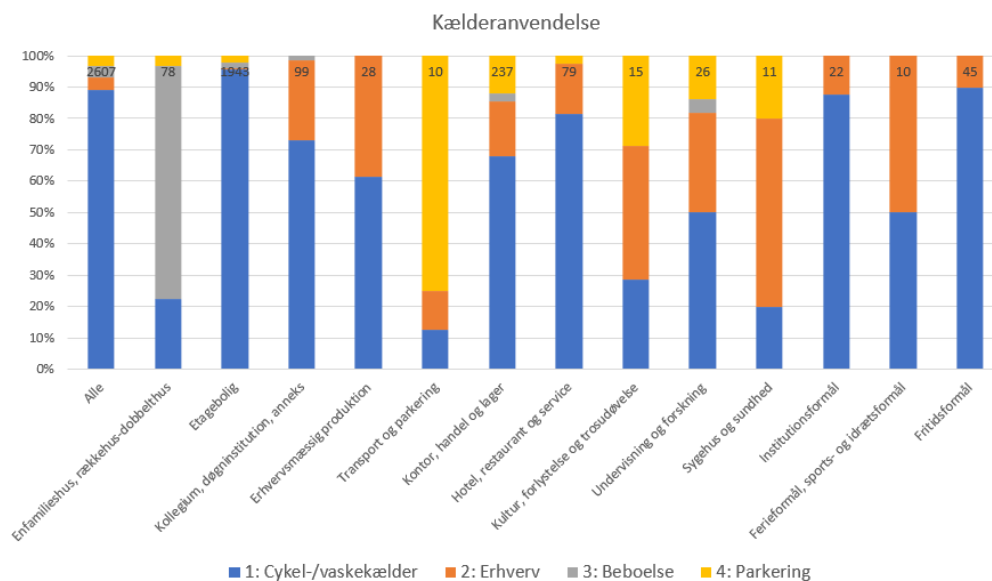
Det skal bemærkes, at Serviceniveaubekendtgørelsen giver mulighed for at implementere lokal viden om skadesværdier i samfundsøkonomiske analyser af serviceniveau, så længe de anvendte skadesværdier er repræsentative for samme anvendelses-kategori for hele kommunen.

⁸Miljøministeriet (2021): Bekendtgørelse om fastsættelse af serviceniveau m.v. for håndtering af tag- og overfladevand. BEK nr. 2276 af 29/12/2020. Journalnummer: Miljømin., j.nr. 2020-25227.

⁹Forsikring & Pension (2014): "Enhedsomkostninger ved oversvømmelsesskader fra skybrud – udredning", udført af COWI.

Statistik på registreret kælderanvendelse

Anvendelse	Antal	1: Cykel/vaskerum	2: Erhverv	3: Beboelse	4: Parkering
Alle	2607	1939	86	81	71
Enfamiliehus, rækkehus-dobbelthus	78	14	0	46	2
Etagebolig	1943	1679	8	28	40
Kollegium, døgninstitution, annek	99	57	20	1	0
Erhvervsmæssig produktion	28	8	5	0	0
Transport og parkering	10	1	1	0	6
Kontor, handel og lager	237	80	21	3	14
Hotel, restaurant og service	79	31	6	0	1
Kultur, forlystelse og trosudøvelse	15	2	3	0	2
Undervisning og forskning	26	11	7	1	3
Sygehus og sundhed	11	2	6	0	2
Institutionsformål	22	14	2	0	0
Ferieformål, sports- og idrætsformål	10	3	3	0	0
Fritidsformål	45	36	4	0	0
Andet	4	1	0	2	1



Figur 4.1: Opgørelse af kælderanvendelse fordelt på grupperet BBR-anvendelse.

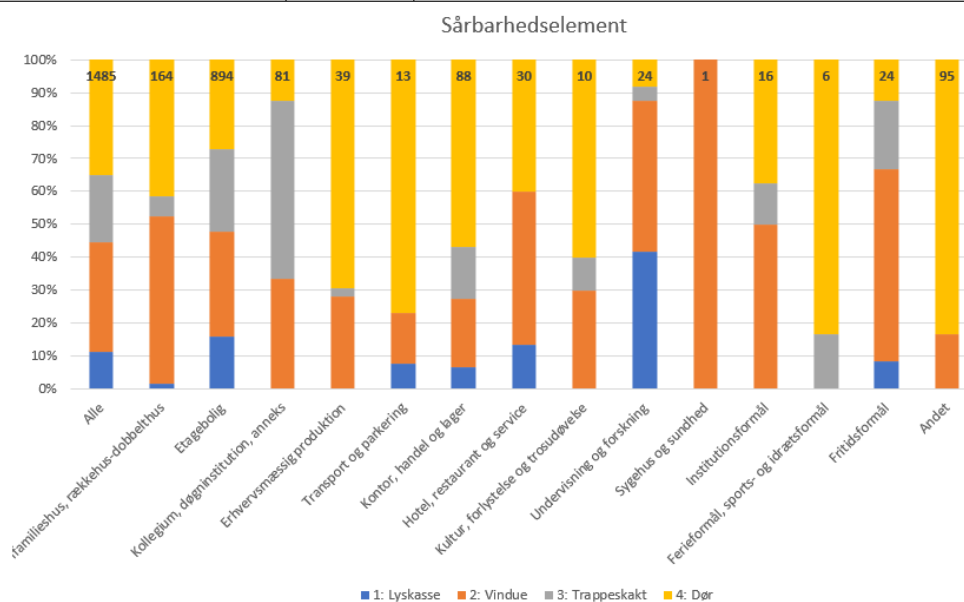
4.2 Sårbart bygningsselement

I kortlægningen er der identificeret "primære" sårbarhedselementer, som angiver de ydre elementer på bygninger som muliggør potentiel indtrængning af vand fra terræn. I kortlægningen udpeges det mest relevante sårbarhedselement som det første element der rammes ved stigende vanddybde. Hvis der er kælder vil det således være et sårbarhedselementet i kælderplan der registreres. Sårbarhedselementerne er groft opdelt i typerne "lyskasse", "dør", "trappeskakt" og "vindue". Figur 4.2 viser en opgørelse af de kortlagte sårbarhedselementer fordelt på grupperede BBR-anvendelser.

Det ses, at alle fire sårbarhedselementer er registreret indenfor næsten alle anvendelsesgrupper. Fordelingen er dog noget forskellig på tværs af anvendelsesgrupper. Analysen af sårbarhedselement er ikke udfoldet nærmere i denne undersøgelse, idet hovedfokus er på kortlægningen af tærskelværdier. En videre analyse af sammenhænge kan med fordel fokusere på sammenhænge mellem etage (stue/kælder) i forhold til registreret sårbarhedselement.

Statistik på registreret sårbarhedselement

Anvendelse	Antal	1: Lyskasse	2: Vindue	3: Trappeskakt	4: Dør
Alle	1485	169	492	303	521
Enfamiliehus, rækkehus-dobbelthus	164	3	83	10	68
Etagebolig	894	143	284	224	243
Kollegium, døgninstitution, annek	81	0	27	44	10
Erhvervsmæssig produktion	39	0	11	1	27
Transport og parkering	13	1	2	0	10
Kontor, handel og lager	88	6	18	14	50
Hotel, restaurant og service	30	4	14	0	12
Kultur, forlystelse og trosudøvelse	10	0	3	1	6
Undervisning og forskning	24	10	11	1	2
Sygehus og sundhed	1	0	1	0	0
Institutionsformål	16	0	8	2	6
Ferieformål, sports- og idrætsformål	6	0	0	1	5
Fritidsformål	24	2	14	5	3
Andet	95	0	16	0	79



Figur 4.2: Opgørelse af primært sårbarhedselement fordelt på grupperet BBR-anvendelse.

4.3 Tærskelværdier for potentiel vandindtrængning

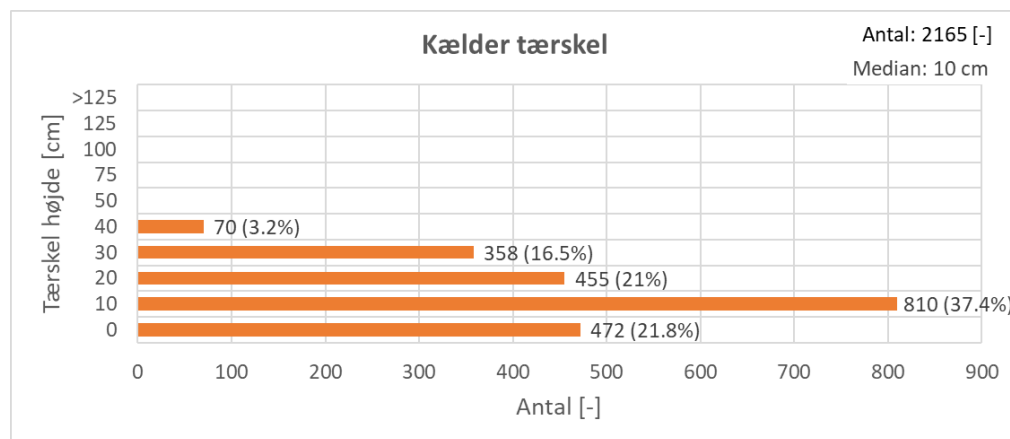
4.3.1 Kælder

Data for de kortlagte tærskler for vandindtrængning i kældre er afbildet på Figur 4.3 som et histogram. På Figur 4.4 er der vist statistiske resultater for 10%-, 25%-, 50%-, 75%-, og 90%-fraktiler for tærskelværdien opdelt på grupperede BBR-anvendelser.

Af de 2165 registreringer ses tærskelværdien for kælder at ligge mellem 0 – 40 cm med en medianværdi på 10 cm (50%-fraktil). Det vil sige, at i halvdelen af tilfældene optræder der en tærskelværdi på mere end 10 cm. Det ses videre, at tærskelværdien er 0 cm i 25% af tilfældene, mens tærskelværdien er 20 cm eller mindre i 75% af tilfældene. Det bemærkes, at den samlede medianværdi for kældre i høj grad er baseret på de mange registreringer for etageboliger. Dog vurderes der ikke at være afgørende forskel på tærskelværdierne på tværs af BBR-anvendelser, når der i øvrigt tages forbehold for de forholdsvis små datasæt der optræder i nogle anvendelsesgrupper.

Alt i alt har kortlægningen sandsynliggjort, at de ofte anvendte tærskelværdier på 10 cm i risikoberegninger, som ligeledes er oplyst i Serviceniveaubekendtgørelsen, er et rimeligt niveau for en tærskelværdi for en kælder.

Dog er det væsentligt at påpege, at variationen i tærskelværdi (specielt at der i 25% af tilfældene ikke er registreret en tærskel) potentielt kan være en afgørende faktor i skadesberegningen for et større område, idet anvendelsen af en konstant tærskelværdi på 10 cm for kældre ikke nødvendigvis resulterer i samme skade som ved anvendelse af den registrerede variation i tærskelværdi for området. Dette forhold belyses i Fase 4 i fastsættelsen af standardværdier for tærskler gennem modelkalibrering.



Figur 4.3: Histogram over tærskelværdier for kældre (alle anvendelser).

Statistik på registrerede tærskelværdier for vandindtrængning

Tærskel [cm]	Anvendelse	Antal	p10	p25	p50	p75	p90	$\Delta(p75-p25)$
Kælder	Alle	2165	0	10	10	20	30	10
Kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbel	61	0	10	10	20	20	10
Kælder	Etagebolig	1752	0	10	10	20	30	10
Kælder	Kollegium, døgninstitution, anden	78	0	0	0	27.5	30	27.5
Kælder	Erhvervsmæssig produktion	11	0	10	10	20	30	10
Kælder	Transport og parkering	8						
Kælder	Kontor, handel og lager	114	0	0	10	20	20	20
Kælder	Hotel, restaurant og service	38	0	0	10	17.5	23	17.5
Kælder	Kultur, forlystelse og trossudøvelse	6						
Kælder	Undervisning og forskning	22	0	0	0	30	30	30
Kælder	Sygehus og sundhed	10	0	0	10	20	21	20
Kælder	Institutionsformål	16	0	0	20	20	30	20
Kælder	Ferieformål, sports- og idrætsformål	6						
Kælder	Fritidsformål	40	0	10	10	20	30	10
Kælder	Andet	3						

Figur 4.4: Fraktilverdier (10, 25, 50, 75 og 90%-fraktiler) for tærskelværdier for vandindtrængning i kældre. Der kræves minimum 10 observationer for beregning af median.

4.3.2 Stueetage

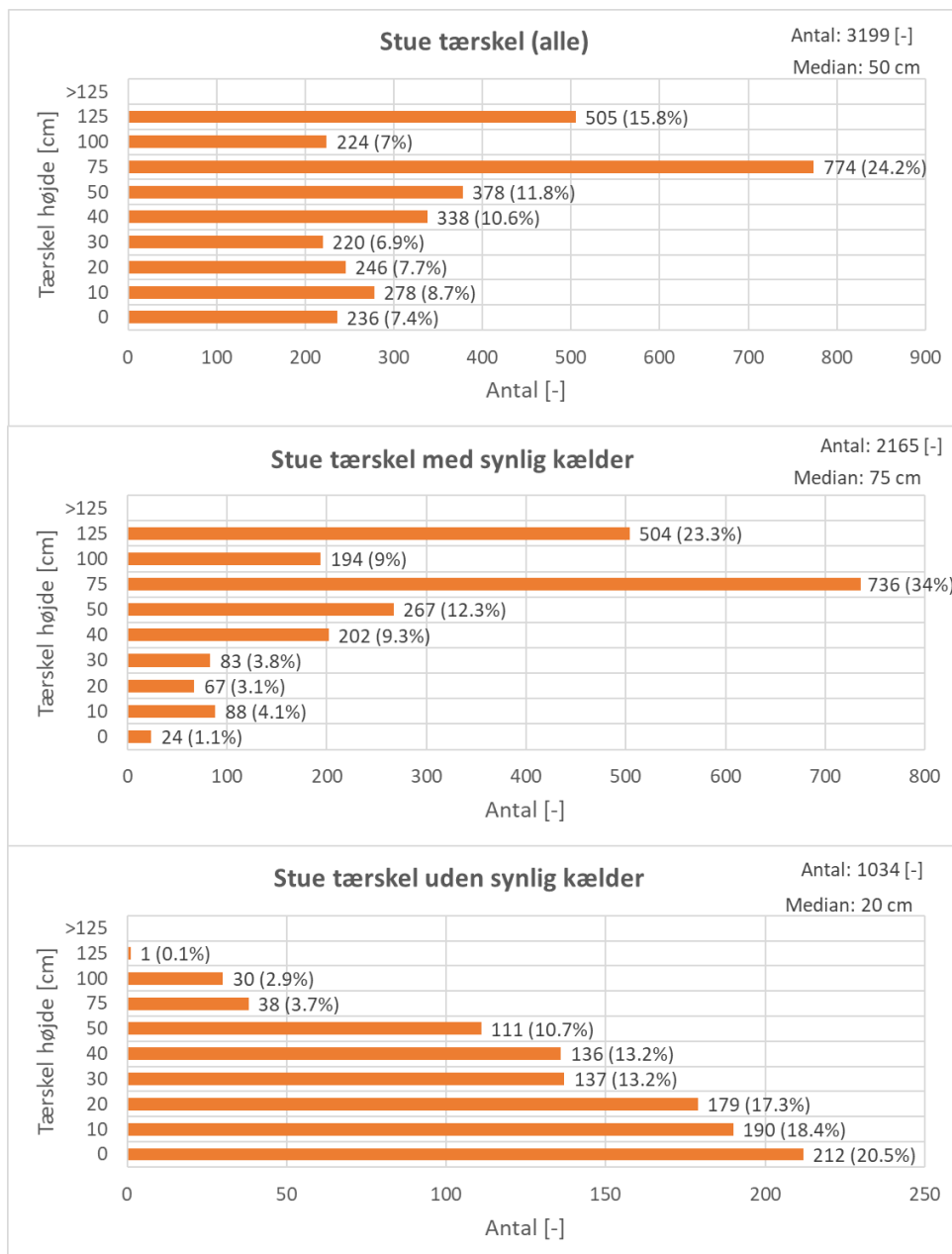
Data for de kortlagte tærskler for vandindtrængning i stueetage er afbildet som et histogram i Figur 4.5, både samlet for alle stue-registreringer samt opdelt ift. om der er synlig kælder eller ej. På Figur 4.6 er der vist statistiske resultater for 10%-, 25%-, 50%-, 75%- og 90%-fraktiler for tærskelværdien opdelt på grupperede BBR-anvendelser – igen for stue (samlet) og opdelt ift. om der er synlig kælder eller ej.

Af de 3199 registreringer ses tærskelværdien for stue (samlet) at være fordelt over et stort spænd af højder; mellem 0 – 125 cm. Medianværdien er 50 cm for det samlede datasæt.

Ved at inddele datasættet ift. om der er registreret synlig kælder eller ej opnås en tydeligere tendens i retning af højere tærskelværdier for synlig kælder og lavere tærskelværdier uden synlig kælder. Medianværdien er 75 cm for synlig kælder og 20 cm uden synlig kælder.

For stue med synlig kælder vurderes variationen i tærskelværdi at være mindre betydende i forhold til vandindtrængning, fordi tærskelhøjderne i alle tilfælde er relativt høje ift. typiske vanddybder (kun 25% af registreringerne er mindre end 50 cm og kun 10% er mindre end 30 cm). På tværs af anvendelse ses dog nogen variation i tærskelværdi. Grupperne "Kontor, handel og lager", "Kultur, forlystelse og trosudøvelse", "Undervisning og forskning" samt "Sygehus og sundhed" er forbundet med relativt lavere tærskelværdier, om end resultatet for især de sidstnævnte to grupper er baseret på et sparsomt datagrundlag.

Fraktilværdierne for stue uden synlig kælder er for 10- og 25%-fraktilen (0 og 10 cm) i overensstemmelse med resultaterne for kælder. Medianen er 20 cm, mens den er 10 cm for kælder. For 75- og 90%-fraktilen er tærsklen 40 og 50 cm, mens resultatet for kælder er 20 og 30 cm. Spredningen på datasættet for stue uden synlig kælder er således noget større end for kælder.



Figur 4.5: Histogram over tærskelværdier for stue etage (alle anvendelser).

Tærskel [cm]	Anvendelse	Antal	p10	p25	p50	p75	p90	Δ(p75-p25)
Stue (alle)	Alle	3199	10	30	50	75	125	45
Stue (alle)	Enfamilieshus, rækkehus-dobbel	202	10	20	40	50	75	30
Stue (alle)	Etagebolig	2149	30	50	75	100	125	50
Stue (alle)	Kollegium, døgninstitution, annehjælpe	112	10	20	40	40	40	20
Stue (alle)	Erhvervsmæssig produktion	59	8	10	20	40	75	30
Stue (alle)	Transport og parkering	22	0	0	0	25	40	25
Stue (alle)	Kontor, handel og lager	294	0	10	20	40	75	30
Stue (alle)	Hotel, restaurant og service	90	10	10	20	40	100	30
Stue (alle)	Kultur, forlystelse og trosudøvelse	21	0	0	30	40	50	40
Stue (alle)	Undervisning og forskning	36	10	10	15	50	87.5	40
Stue (alle)	Sygehus og sundhed	11	10	15	50	100	125	85
Stue (alle)	Institutionsformål	29	10	20	50	100	105	80
Stue (alle)	Ferieformål, sports- og idrætsformål	15	0	10	10	40	105	30
Stue (alle)	Fritidsformål	53	2	30	50	75	100	45
Stue (alle)	Andet	106	0	0	0	0	10	0
Stue over kælder	Alle	2165	30	50	75	100	125	50
Stue over kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbel	61	20	40	50	75	125	35
Stue over kælder	Etagebolig	1752	40	50	75	125	125	75
Stue over kælder	Kollegium, døgninstitution, annehjælpe	78	20	25	40	40	40	15
Stue over kælder	Erhvervsmæssig produktion	11	40	57.5	75	125	125	67.5
Stue over kælder	Transport og parkering	8						
Stue over kælder	Kontor, handel og lager	114	10	20	50	75	125	55
Stue over kælder	Hotel, restaurant og service	38	7	20	35	100	125	80
Stue over kælder	Kultur, forlystelse og trosudøvelse	6						
Stue over kælder	Undervisning og forskning	22	1	10	10	20	100	10
Stue over kælder	Sygehus og sundhed	10	9	12.5	62.5	112.5	125	100
Stue over kælder	Institutionsformål	16	62.5	75	100	100	125	25
Stue over kælder	Ferieformål, sports- og idrætsformål	6						
Stue over kælder	Fritidsformål	40	30	40	75	100	125	60
Stue over kælder	Andet	3						
Stue uden kælder	Alle	1034	0	10	20	40	50	30
Stue uden kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbel	141	10	20	40	40	50	20
Stue uden kælder	Etagebolig	397	0	20	30	50	75	30
Stue uden kælder	Kollegium, døgninstitution, annehjælpe	34	0	10	10	10	30	0
Stue uden kælder	Erhvervsmæssig produktion	48	0	10	10	20	40	10
Stue uden kælder	Transport og parkering	14	0	0	0	10	37	10
Stue uden kælder	Kontor, handel og lager	180	0	10	20	20	30	10
Stue uden kælder	Hotel, restaurant og service	52	10	10	20	20	39	10
Stue uden kælder	Kultur, forlystelse og trosudøvelse	15	0	0	30	40	46	40
Stue uden kælder	Undervisning og forskning	14	10	10	50	50	67.5	40
Stue uden kælder	Sygehus og sundhed	1						
Stue uden kælder	Institutionsformål	13	10	10	20	40	48	30
Stue uden kælder	Ferieformål, sports- og idrætsformål	9						
Stue uden kælder	Fritidsformål	13	0	0	10	40	50	40
Stue uden kælder	Andet	103	0	0	0	0	10	0

Figur 4.6: Fraktilværdier (10, 25, 50, 75 og 90%-fraktiler) for tærskelværdier for vandindtrængning i stue etage. Opdelingen af datasættet i forhold til kælder baseres på om kælderen var synlig eller ej ved kortlægningen.

4.4 Historisk udvikling i tærskelværdier for potentiel vandindtrængning

Datasættet for registrerede tærskelværdier er undersøgt for en eventuel historisk udvikling ved at foretage en inddeling i følgende tre perioder baseret på bygningens opførelsesår: 1) Før år 1930, 2) År 1930-1959 og 3) Fra år 1960. For hver periode er medianværdien beregnet for den tidligere anvendte gruppering i registreringer for "Kælder", "Stue med synlig kælder" og "Stue uden synlig kælder".

4.4.1 Kælder

På Figur 4.7 ses den beregnede medianværdi for kædertærskel for hver af de tre historiske perioder. Det ses, at den samlede medianværdi for kælder falder fra 20 cm i perioden før år 1930 til 10 cm i efterfølgende perioder. Tendensen er i høj grad båret af registreringer for kælder under "Etagebolig". Antallet af registreringer i resterende anvendelses-grupper er relativt lave ved inddeling i tre grupper.

Tærskel [cm]	Anvendelse	Alle år	Før år 1930	År 1930-60	År 1960-
Kælder	Alle	10 (2165)	20 (844)	10 (906)	10 (415)
Kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus	10 (61)	20 (30)	20 (16)	10 (15)
Kælder	Etagebolig	10 (1752)	20 (690)	10 (786)	10 (276)
Kælder	Kollegium, døgninstitution, anneks	0 (78)	30 (21)		0 (50)
Kælder	Erhvervsmæssig produktion	10 (11)			
Kælder	Transport og parkering				
Kælder	Kontor, handel og lager	10 (114)	10 (40)	10 (47)	0 (27)
Kælder	Hotel, restaurant og service	10 (38)	10 (16)	10 (18)	
Kælder	Kultur, forlystelse og trosudøvelse				
Kælder	Undervisning og forskning	0 (22)			0 (12)
Kælder	Sygehus og sundhed	10 (10)			
Kælder	Institutionsformål	20 (16)			
Kælder	Ferieformål, sports- og idrætsformål				
Kælder	Fritidsformål	10 (40)	10 (17)	10 (13)	10 (10)
Kælder	Andet				

Figur 4.7: Median tærskelværdi for kælder opgjort for forskellige perioder for opførelse (i parentes er angivet antallet af registreringer). Der kræves mindst 10 registreringer for en beregning af median.

4.4.2 Stue etage

Udviklingen i median tærskelværdien for stueetage er vist på Figur 4.8.

Samlet for stue med synlig kælder ses medianværdien at være 75 cm frem til år 1960, hvorefter medianværdien falder til 50 cm. Resultatet er i høj grad styret af de høje antal registreringer for etageboliger, men samme tendens med fald i medianværdi ses ligeledes for "Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus" samt "Kontor, handel og lager".

For stue uden synlig kælder ses en konstant medianværdi på 20 cm for alle perioder. For "Kontor, handel og lager" ses en tendens til fald i medianværdi efter år 1960.

Resultaterne med faldende medianværdi over tid formodes at afspejle en udvikling i retning af flere og flere bygninger med niveaufri adgang, samt at bygningsreglementet pt. ikke indeholder krav om en bestemt sokkelhøjde, /10/.

¹⁰ [Bygningsreglementet](#)

Tærskel [cm]	Anvendelse	Alle år	Før år 1930	År 1930-60	År 1960-
Stue over kælder	Alle	75 (2165)	75 (844)	75 (906)	50 (415)
Stue over kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus	50 (61)	50 (30)	50 (16)	20 (15)
Stue over kælder	Etagebolig	75 (1752)	75 (690)	75 (786)	50 (276)
Stue over kælder	Kollegium, døgninstitution, annek	40 (78)	20 (21)		40 (50)
Stue over kælder	Erhvervsmæssig produktion	75 (11)			
Stue over kælder	Transport og parkering				
Stue over kælder	Kontor, handel og lager	50 (114)	35 (40)	75 (47)	10 (27)
Stue over kælder	Hotel, restaurant og service	35 (38)	35 (16)	45 (18)	
Stue over kælder	Kultur, forlystelse og trosudøvelse				
Stue over kælder	Undervisning og forskning	10 (22)			10 (12)
Stue over kælder	Sygehus og sundhed	62.5 (10)			
Stue over kælder	Institutionsformål	100 (16)			
Stue over kælder	Ferieformål, sports- og idrætsformål				
Stue over kælder	Fritidsformål	75 (40)	40 (17)	75 (13)	75 (10)
Stue over kælder	Andet				

Tærskel [cm]	Anvendelse	Alle år	Før år 1930	År 1930-60	År 1960-
Stue uden kælder	Alle	20 (1034)	20 (266)	20 (149)	20 (619)
Stue uden kælder	Enfamilieshus, rækkehus-dobbelthus	40 (141)	40 (26)		40 (110)
Stue uden kælder	Etagebolig	30 (397)	40 (79)	100 (38)	30 (280)
Stue uden kælder	Kollegium, døgninstitution, annek	10 (34)	10 (22)		20 (11)
Stue uden kælder	Erhvervsmæssig produktion	10 (48)	15 (12)		10 (31)
Stue uden kælder	Transport og parkering	0 (14)			
Stue uden kælder	Kontor, handel og lager	20 (180)	20 (63)	20 (65)	10 (52)
Stue uden kælder	Hotel, restaurant og service	20 (52)	20 (25)	20 (20)	
Stue uden kælder	Kultur, forlystelse og trosudøvelse	30 (15)			
Stue uden kælder	Undervisning og forskning	50 (14)			50 (14)
Stue uden kælder	Sygehus og sundhed				
Stue uden kælder	Institutionsformål	20 (13)			20 (10)
Stue uden kælder	Ferieformål, sports- og idrætsformål				
Stue uden kælder	Fritidsformål	10 (13)			10 (11)
Stue uden kælder	Andet	0 (103)	0 (22)		0 (75)

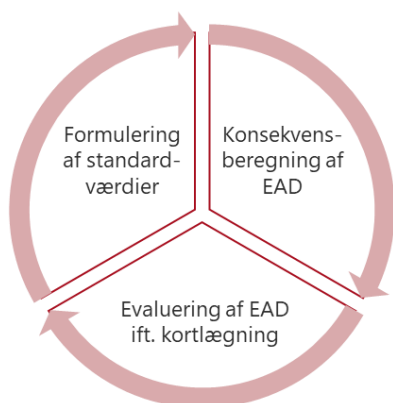
Figur 4.8: Median tærskelværdi for stue etage opgjort med og uden synlig kælder og for forskellige perioder for opførelse.

5. Fase 4: Nye vejledende standardværdier for tærskler

5.1 Procedure for formulering af standardværdier for tærskler

På baggrund af analysen af kortlægningsdata opstilles nye anbefalinger til vejledende standardværdier for tærskler for vandindtrængning. Standardværdierne evalueres og finjusteres ved kalibrering mod de aktuelle kortlægningsdata i modelscenarier, hvor målet er at minimere forskellen på beregnet forventet årlig skade (EAD) ved anvendelse af standardværdier henholdsvis kortlægningsdata. Modelscenarierne evalueres for hver af de seks case-områder, hvor der benyttes samme standardværdier for alle case-områder.

Evalueringsproceduren er vist på nedenstående skitse, hvor der indledes med at formulere standardværdier for tærskler, som konsekvensberegnes og sammenlignes med EAD opnået ved konkrete kortlægningsresultater på bygningsniveau. Proceduren kan gentages, hvis de formulerede standardværdier ikke medfører en tilfredsstillende beregning af EAD.



5.2 Modelscenarier

Der benyttes to scenarier til evaluering og sammenligning af standardværdier for tærskler baseret på kortlægningsdata henholdsvis formulerede standardværdier. Der suppleres yderligere med et modelscenarie 3 som repræsenterer et typisk eksempel på anvendelse af minimumskravene i Serviceniveaubekendtgørelsen mht. anvendelse af tærskelværdier. Scenarierne er således:

- Scenarie 1: Kortlagte (observerede) tærskler på bygningsniveau
- Scenarie 2: Eventuelle nye vejledende standardværdier for tærskler for vandindtrængen i bygninger
- Scenarie 3: Forsimplet beskrivelse af tærskler i form af én standardværdi for tre forskellige bygningstyper

For scenarie 3 antages 10 cm tærskel for alle kældre. For stueetage med kælder anvendes 30 cm, mens der for stueetage uden kælder anvendes 10 cm. Oplysning om kælder baseres på informationen i BBR.

Ved at sammenligne scenarie 1 og 2 kan fejlen ved anvendelse af standardværdierne evalueres. Ved at sammenligne scenarie 1 og 3 kan fejlen ved den typisk anvendte forsimplede beskrivelse af tærskler evalueres, og det er muligt at vurdere, hvor meget analysen kan forbedres ved at anvende de nye standard-tærskler i scenarie 2.

5.3 Modelværktøj – BEST Klimatilpasning

NIRAS' værktøj BEST Klimatilpasning /11/ til samfundsøkonomiske analyser og fastsættelse af serviceniveau for vand på terræn er anvendt til konsekvensberegning af tærskelværdier for vandindtrængning for alle seks case-områder.

Analyserne i BEST følger beregningstrinene i Serviceniveaubekendtgørelsen, Bilag 1¹². Her benyttes BEST udelukkende til at beregne forventet årlig skadesrisiko, EAD, svarende til trin 1-3. Som input benyttes oversvømmelseskort for regnhændelser 5, 10, 20, 50 og 100 år og værdikort for bygninger og arealer. Til beregning af bygningsskade benyttes en skadesfunktion som medtager hensynet til oversvømmelsesudbredelsen omkring en bygning over en given tærskel. Derved er der inddraget en dybde-afhængighed i skadesberegningen i form af både en tærskel for skade og i form af oversvømmelsesudbredelse (våd perimenter af bygningen) som er afhængig af vanddybde. Selve skadesfunktionen præsenteres ikke videre her, idet pointen er, at den eneste variable parameterværdi for beregning af skade og EAD i scenarie 1-3 er tærsklen for skade.

¹¹ NIRAS - BEST Klimatilpasning: <https://www.niras.dk/sektoer/data-digitalisering/software-services/best-klimatilpasning/>

¹² Miljøministeriet (2020): Bekendtgørelse om fastsættelse af serviceniveau m.v. for håndtering af tag- og overfladevand. BEK nr. 2276 af 29/122020. Journalnummer: Miljømin., j.nr. 2020-25227.

5.4 Resultater for standardværdier for tærskler

Baseret på den statistiske analyse i fase 3 og evaluering/kalibrering i fase 4 er der opnået resultater for standardværdier for tærskler som vist i Tabel 5.1.

Der er i alt formuleret ni nye standardværdier for tærskler afhængig af BBR-oplysninger om kælder, stueetage m/u kælder, anvendelse og opførelsesår. I formuleringen af standardværdierne var det et mål at introducere så få standardværdier som muligt og på samme tid opnå tilfredsstillende resultater for afledt EAD ved sammenligning med EAD baseret på konkrete kortlægningsresultater for de seks case-områder. Dette mål er opfyldt ved anvendelse af de ni standardværdier for tærskler for vandindtrængen angivet herunder.

Tabel 5.1: Nye standardværdier for tærskler for vandindtrængning i bygninger. Der henvises til Tabel 3.1 for en oversigt over grupperede BBR-anvendelseskoder.

Kælder/stue	#	BBR-anvendelse	Standardværdi	BBR-opførelsesår	Antal registreringer
Kælder	1	Alle	10 cm	Alle	2165
Stue over kælder	2	Etagebolig	75 cm	<1960	1476
	3	Andre anvendelser	50 cm		689
	4	Etagebolig	50 cm		276
	5	Kontor, handel og lager	10 cm	≥1960	27
	6	Andre anvendelser	20 cm		112
	Stue uden kælder	7	Alle	20 cm	<1960
8		Etagebolig	30 cm	≥1960	280
9		Andre anvendelser	10 cm		135

Den beregnede EAD for scenarie 2 og 3 er vist i Tabel 5.2 i procent af den 'kortlagte' EAD i scenarie 1 (EAD baseret på de konkrete kortlægningsdata). Det ses, at ved anvendelse af de nye standardværdier opnås en EAD for de enkelte case-områder som er 84-105% af EAD baseret på konkrete kortlægningsdata. Dette vurderes at være tilfredsstillende.

Ved anvendelse af standardværdier for tærskler opnås for alle cases en forbedret EAD ift. at anvende den simple tærskel-beskrivelse i scenarie 3. Ved den simple beskrivelse af tærskler i scenarie 3 opnås en EAD for de enkelte case-områder som er 51-144% af EAD baseret på konkrete kortlægningsdata.

Tabel 5.2: EAD for scenarie 2 (nye standardværdier) og 3 (forsimpleret beskrivelse) i procent af EAD for scenarie 1 (kortlægning).

Case-område	Antal bygninger	EAD standardværdier		EAD forsimplet beskrivelse
		[-]	Scenarie 2	Scenarie 3
			[% af EAD-kortlagt (scenarie 1)]	
Langå	108		99	91
Randers	89		89	85
Esbjerg	189		97	119
Odense	183		105	144
True	296		89	63
København	2679*		84	51

*Antal BBR-enheder.

6. Fase 5: Konklusion og anbefalinger

I undersøgelsen er der udarbejdet nye anbefalinger til vejledende standardværdier for tærskler for vandindtrængen og deraf følgende oversvømmelseskade i bygninger. Standardværdierne varierer med oplysninger der kan findes i BBR-registeret herunder om bygningen har kælder, om stueetagen er med eller uden kælder samt bygningens anvendelse og opførelsesår. Standardværdierne er baseret på en statistisk analyse af kortlagte data for tærskelværdier i seks case-områder i Danmark samt en efterfølgende modelberegning af EAD (forventet årlig skade) forbundet med oversvømmelse med tag- og overfladevand. I modevalueringen er det eftervist, at de beregnede standardværdier producerer EAD-estimer som er sammenlignelige med resultaterne baseret på konkrete kortlægningsdata på bygningsniveau for de seks case-områder. Endvidere at de beregnede standardværdier medfører betydeligt forbedrede estimer af EAD sammenlignet med en mulig forsimplet beskrivelse af tærskler for vandindtrængning, som opfylder minimumskravene i Serviceniveaubekendtgørelsen.

I forhold til kendt praksis i implementeringen af den samfundsøkonomiske metode i Serviceniveaubekendtgørelsen anbefales det først og fremmest at anvende de beregnede vejledende standardværdier fremfor mere grove estimer. Endvidere anbefales det at implementere varierende tærskelværdier i følsomhedsanalysen for serviceniveau sammen med andre parametre i den anvendte skadesfunktion, for på den måde at belyse den rummelige og relative betydning af varierende tærskelværdier på det samfundsøkonomiske resultat for de betragtede vandoplande.

Slutteligt anbefales det generelt at afsøge potentialet for implementering af lokal viden om både tærskelværdier og skadesværdier i den samfundsøkonomiske analyse i regi af Serviceniveaubekendtgørelsen. Den præsenterede procedure med skrivebordskortlægning af en række relevante sårbarhedsparametre med efterfølgende modevaluering er enkel at overføre til andre projekter. Proceduren for kortlægningen er omkostningseffektiv i forhold til udbyttet med at reducere usikkerheden på den beregnede skadesgevinst, sammenlignet med de omkostninger der typisk er påkrævet ved beregning af hydrodynamiske oversvømmelseskort.