

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





## FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap (UMB), og markerer avslutningen på et fem år langt studie ved Institutt for Matematiske realfag og Teknologi. Min mastergrad er en kombinasjon av studieretningene Byggteknikk og Arkitektur, og Vann og Miljøteknikk.

Oppgaven er valgt på grunn av interesse, og fordi det var en gylden mulighet til å kombinere mine to studieretninger. Deler av oppgaven bygger på resultatene i en tidligere masteroppgave gjort på UMB, og det er også utført et samarbeid med Skedsmo kommune.

Jeg vil først og fremst takke min hovedveileder Jarle T. Bjerkholt og biveileder Thomas K. Thiis ved IMT for hjelp til valg av oppgave, veiledning og oppmuntring underveis.

Jeg ønsker også å takke Bjørn Vestheim og Odd Ivar Opheimsbakken i Skedsmo kommune for samarbeidet og at jeg fikk mulighet til å utføre et case-studiet hos dere.

Takk til stipendiat ved IMT, Dimitrios Kraniotis som har hjulpet meg med simuleringene, da dette var et nytt program for meg.

Videre vil jeg takke ansatte i Gjensidige, Finansnæringens Fellesorganisasjon (FNO) og Norsk Regnsentral for all informasjon og svar på spørsmål.

Tilslutt vil jeg takke Anders Myhr, Hedda Brisendal, Kristine Aspelund og mamma og pappa for all hjelp og korrekturlesing av oppgaven.

Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås

den 13. mai 2011

Mari Sjaastad

## SAMMENDRAG

Klimaendringene vil gi et varmere og våtere klima. Særlig på høsten vil nedbørsintensiteten øke, og noen områder vil få en økning i nedbør på over 30 %. Fortetting av urbane områder gir flere tette overflater, og vannet infiltrerer ikke lenger ned i grunnen via vegetasjonsområder. Utviklingen og vedlikeholdet av det allerede overbelastede ledningsnett holder ikke tritt med den økende belastningen, og resultatet blir økt overflateavrenning og større fare for urbane flommer. Samtidig med fortettingen av byene er også de økonomiske verdiene konstant økende, noe som gir et høyere skadeomfang ved en eventuell flom. Antall vannskader økte med 55 % fra 2009 til 2010, dette gjelder både antall skader og erstatninger. Prognoser for fremtidens skadebilde viser en enorm økning i klima-relaterte vannskader.

I denne masteroppgaven er det forsøkt å finne egnede tiltak for å gjøre samfunnet mer motstandsdyktig og forberedt på fremtiden.

Det ble samlet aktuell bakgrunnsteori som gav et bilde på dagens situasjon, og hvilke utfordringer man står ovenfor ved utforming av urbane områder. Deretter ble det utført simulering for fem forskjellige konstruksjonsoppbygninger for å se hvordan de reagerte på en flomsituasjon. Ved å bestemme tørketid og grunnlag for muggvekst for de valgte ytterveggene, kunne man ut i fra resultatene bestemme hvilken konstruksjon som vil være best egnet for bygninger i flomutsatte områder.

Tilslutt ble det utført et case- studie, av en gate i Lillestrøm, som i følge kilder vil bli rammet av oppstuvninger over bakkenivå i fremtiden. På bakgrunn av samtaler med kommunen og en befaring av den utvalgte gata ble det funnet et forslag til en løsningsmetode.

Simuleringene viste at valg av materialer er avgjørende for skadebildet, og at tette konstruksjoner har problemer med å tørke opp dersom de utsettes for flom. Case- studiet viste at det må benyttes alternative tiltak for håndtering av overvannet på overflaten, siden årsaken til problemene ligger oppstrøms i nettet. Tekniske løsninger veier derimot ikke opp mot et dårlig varslingssystem og utilstrekkelig flomberedskap. For å bli bedre rustet for fremtiden krever urbant flomvern et helt nytt tankesett i forhold til utforming og styring av byene, og arealbruk, bygningskonstruksjon og flomberedskap er alle avgjørende faktorer for å oppnå et mer motstandsdyktig samfunn.

## ABSTRACT

The climate is changing, and as a result the amount of precipitation and the temperature are rising. Especially in autumn the precipitation will increase, and in some areas it will increase up to 30 %. The urban population is growing, and the densification of cities leads to more impervious surface where the water no longer will infiltrate into the ground. The development and maintenance of the already inadequate sewage system does not keep up with the increasing amount of water, resulting in more surface runoff and a risk of urban flooding. At the same time the economic values are constantly growing, resulting in a major damage in the event of flooding. The number of cases with water damage was increased by 55 % from 2009 to 2010. Predictions for future scale of damage show a huge increase in the amount of cases with climate-related damage.

The aim for the thesis has been to find appropriate measures for developing a better resilience and to make the urban society more prepared for the future.

To get a view of the current situation it was collected relevant background theory. This also gave an overview of some of the challenges of urban flood management. It was then carried out simulations for five different types of wall constructions to see how they reacted in a flood situation. By determining the time for the constructions to dry up, and the potential of mould growth for the selected external walls, it was possible to decide upon which construction that is best suited for buildings in flood prone areas.

Finally, it was carried out a case study of a street in Lillestrøm, which according to sources will be affected by overflow above ground level in the future. As a result of discussions with the Municipality and an inspection of the selected street, it was suggested a solution method.

The simulations showed that the choice of material is critical to the extent of damage, and that the most isolated structures have difficulties drying up if exposed to flooding. The case study showed that it is necessary to use alternative methods for dealing with the surface runoff, because the problem lies upstream the sewage system. The technical solutions are however not enough to achieve a flood resilient community. To be better prepared for the future, urban flood management requires a different mindset in developing and controlling the cities. Land use, building construction and flood preparedness are all necessary factors for achieving a more resilient society.

# INNHold

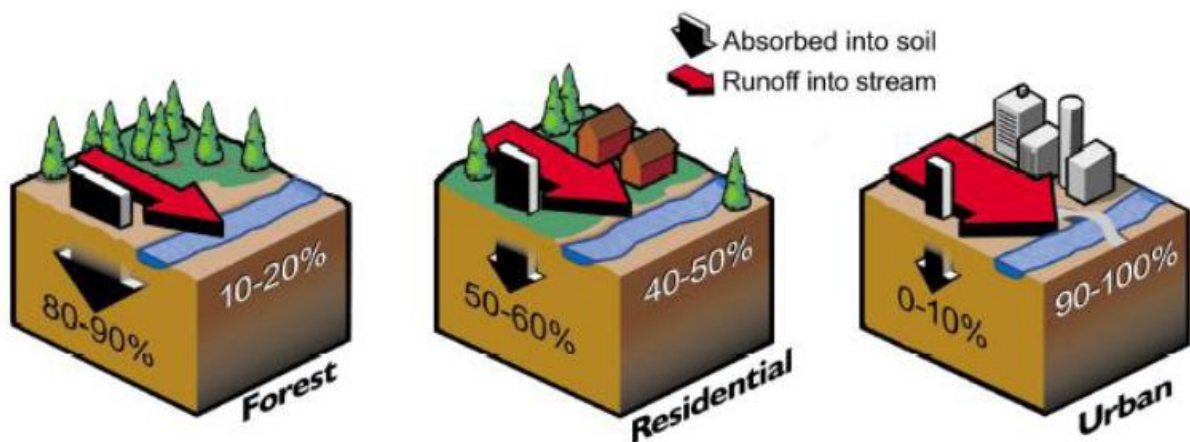
1	Innledning.....	6
1.1	Sentralisering og fortetting av byene .....	6
1.2	Klimaforskning.....	7
1.2.1	Klimamodeller .....	7
1.2.2	RegClim.....	7
1.2.3	Klimaet I Norge om 50 år.....	8
1.2.4	EUs flomdirektiv .....	10
1.3	Problemstilling.....	10
2	Metode.....	12
2.1	Litteraturstudie.....	12
2.2	Simuleringer i WUFI.....	12
2.3	Case- studie.....	13
3	Bakgrunnsstoff- teori.....	14
3.1	Grunnleggende fuktmekanikk.....	14
3.1.1	Luftfuktighet.....	14
3.1.2	Fukttransport.....	16
3.1.3	Kondens .....	17
3.1.4	Varmetransport .....	17
3.1.5	Uttørking.....	18
3.1.6	Tørkemetoder .....	18
3.2	Fuktproblemer i yttervegger mot terreng.....	19
3.3	Valg av data for simuleringer.....	20
3.3.1	Metode for simuleringer.....	20
3.3.2	Valg av materialdata for simuleringer.....	21
3.3.3	Valg av klimadata for simuleringer .....	27
3.4	Definisjon flom.....	27
3.5	Flomskader .....	28
3.5.1	Erfaringer fra flomskader.....	30
3.6	Økning vannskader og betydning for forsikringsselskaper .....	30
3.7	Strategier for flomvern av bygninger.....	32
3.7.1	Løftet konstruksjon.....	33
3.7.2	Våtflomsikring .....	35

3.7.3	Tørrflomsikring.....	38
3.7.4	Kombinasjon av våt- og tørrflomsikring.....	38
3.7.5	Flomvegger .....	39
3.7.6	Flytende konstruksjoner .....	40
3.8	Valg av strategi.....	40
3.8.1	Økonomisk sammenligning .....	43
3.9	Lokal overvannsdiskonering.....	44
3.9.1	Åpne, sikre flomveier.....	48
4	Beskrivelse case-Skedsmo .....	50
4.1	Feltbeskrivelse .....	50
4.1.1	Lillestrøm .....	51
4.1.2	Flomproblematikk Lillestrøm.....	52
4.2	Beskrivelse og analyse av utsatt område.....	53
5	Resultat simuleringer.....	58
5.1	Muggvekst i konstruksjonene.....	58
5.2	Uttørkning av konstruksjonene .....	59
6	Løsningsmetode Case.....	63
6.1	Tiltak for å håndtere overvannet.....	63
6.2	Strategi for flomvern av bygninger.....	66
7	Diskusjon .....	67
7.1	Kommentarer til simuleringene .....	67
7.1.1	Usikkerheter ved simuleringer .....	68
7.2	Håndtering av overvann.....	68
7.3	Utforming av bygninger.....	69
7.4	et samfunn forberedt på urban flom .....	70
8	Konklusjon .....	73
8.1	Konklusjon.....	73
8.2	Forbedringer .....	73
8.3	Videre arbeid.....	74
9	Referanser .....	75

# 1 INNLEDNING

## 1.1 SENTRALISERING OG FORTETTING AV BYENE

I år 1900 bodde omtrent 13 % av verdens befolkning i byer, i dag har denne andelen økt til 50 % (Zevenbergen et al. 2011). Prognoser for fremtiden sier at 70 % vil bo i urbane områder innen 1950. I Norge har det siden 1980 fram til i dag skjedd en omfattende sentralisering (Brunborg & Texmon 2009). I fremtiden er det forventet et stadig mer sentralt boligmonster, da utbygging og fortetting av byene er gunstig fordi flere ønsker å jobbe og bo sentralt. Der det bygges boliger og næringsvirksomhet er det også behov for parkering, og hele tomter kan ofte bebygges. Dette gjør at vannets naturlige flomveier endres og vannet infiltreres ikke lengre ned i grunnen via vegetasjonsområder. Resultatet blir økt avrenning på overflaten, da ledningsnettene ikke klarer å ta unna alt overvannet.



Figur 1: Virkninger av fortetting av urbane områder (Lindholm 2010a)

Figur 1 viser hvordan fortettingen av de urbane områdene påvirker overflateavrenningen. Naturlige grøfter er lagt i rør, og overvannet må derfor transporteres i rør under bakken. Utviklingen og vedlikeholdet av det allerede overbelastede ledningsnettene holder ikke tritt med den økende belastningen, og resultatet blir større overløpsutslipp og fare for oversvømmelser (Lindholm et al. 2007).

Samtidig med fortettingen av byene er også de økonomiske verdiene konstant økende, noe som gir et høyere skadeomfang ved en eventuell flom (Van et al. 2011).



## 1.2 KLIMAFORSKNING

Klimasystemet består av de fysiske delene av jordkloden som bestemmer jordoverflatens klima. Disse er atmosfæren, havet, biosfæren og landjorda. Klima varierer naturlig eller på grunn av ytre betingelser. De ytre betingelsene kan være naturlige eller menneskeskapt. Jorda stråler ut like mye varme som den mottar fra sola, men på grunn av atmosfærens naturlige drivhuseffekt blir rundt 90 % av varmestrålingen fra jordoverflaten absorbert i klimasystemet. Menneskers påvirkning av klimaet skyldes i hovedsak endring av atmosfærens innhold av drivhusgasser og partikler. Partiklene påvirker refleksjon og absorpsjon av solstråling direkte, og indirekte ved at de endrer skyenes egenskaper. Når drivhuseffekten øker, vil derfor temperaturen stige i atmosfæren og havet og luftas innhold av vanndamp vil også kunne øke. For å kunne vurdere mulige klimaendringer må det gjøres beregninger ved hjelp av avanserte klimamodeller (RegClim 2010).

### 1.2.1 KLIMAMODELLER

Klimamodellene er svært omfattende datamaskinprogrammer som bygger på fysiske lover for atmosfære, hav, jordoverflate og havis. De beregner tilstanden i luft og hav time for time fra en gitt utgangstilstand og mange år fram i tid. Modellene forandres ved at strålingsforholdene endres, og det er laget ulike scenarioer for å medregne usikkerhet. Det er derimot alltid rom for tvil om deres riktighet. Slike globale scenarioer danner utgangspunktet for å beregne mulige klimaendringer i utvalgte regioner (RegClim 2010).

### 1.2.2 REGCLIM

RegClim er kortnavnet på et forskningsprosjekt for utvikling av *scenarioer for klimautvikling i Norden, omliggende havområder og deler av Arktis ved en global oppvarming*. De norske instituttene som deltar i prosjektet er Meteorologiske institutt, Havforskningsinstituttet, Institutt for Geofysikk ved Universitetet i Oslo, Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen, Nansen Senteret for Miljø og Fjernmåling og Norsk institutt for luftforskning.

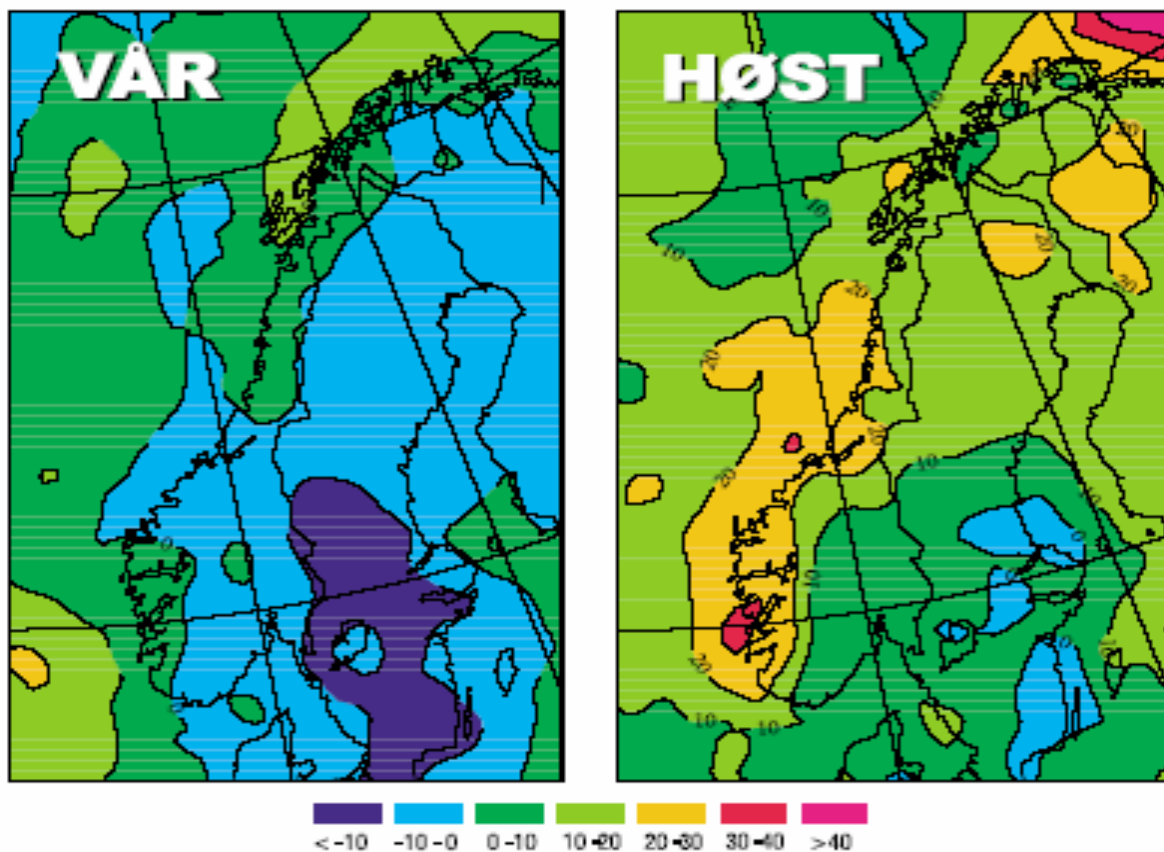
Klimamønstrene i de globale modellene tar ikke hensyn til detaljer på fjell og kystlinjer, og forskningsprosjektet RegClim har derfor som hovedspørsmål å vite hvordan de klimatiske forholdene blir i vår region. Hovedmålene kan oppsummeres som:

- Beregne regionale klimascenarioer for klimaets utvikling i Norden, omliggende havområder og deler av Arktis ut i fra de beste globale beregningene
- Undersøke sikkerheten av scenarioene ved å forbedre beregninger av regionale strålingspådriv da disse varierer sterkt
- Undersøke sikkerheten av scenarioene ved å bedre forstå mekanismene bak de varme havstrømmene

### *1.2.3 KLIMAET I NORGE OM 50 ÅR*

Hovedtrekkene fra analysearbeidet utført av RegClim antyder følgende klimautvikling i Norge for perioden 2000-2050:

- Årsmiddeltemperaturen i Norge vil øke med 0,2 – 0,5 °C per tiår i ulike deler av landet, og økningen vil være størst om vinteren og minst om våren og sommeren. Svalbard og Barentshavs- regionen kan vente seg særlig stor temperaturøkning. Mengden vanndamp som lufta kan inneholde øker med temperaturen. En økning i temperatur i store deler av landet vil derfor automatisk gi et fuktigere klima.
- Midlere vindhastighet vil øke litt de fleste steder vinterhalvåret, og økningen vil være størst i Langfjellene og på kysten av Møre og Trøndelag og i Barentshavet øst for Finnmark. Antall stormer vil øke litt, mest på kysten av Møre og Trøndelag. Det vil være minst økning på Vestlandskysten sør for Bergen og øst for Lindesnes.
- Årsnedbøren vil øke de fleste steder i Norge, og det vil være størst økning på Vestlandet og om høsten. Østlandet vil derimot få mindre nedbør om våren (se figur 2).



Beregnet endring fra 2000 til 2050 av nedbør i %.

Figur 2: Endring i nedbør i Norge om 50 år (RegClim 2010).

Figur 2 viser at nedbøren vil øke kraftig om høsten, særlig på Vestlandet. At nedbøren reduseres flere steder om våren er av liten betydning, da det er de intensive regnskyllene som er kritiske i forhold til urban flom.

### Havstigning

Når havet stiger, reduseres kapasiteten til avløpssystemene i kystområdene. Dette medfører økende overløpsutslipp og til oftere og større oppstuvninger i avløpssystemene. Hvor mye havet vil stige er usikkert, og det er også utarbeidet flere scenarier her. Det verste scenarioet gir en midlere havstigning på 41 cm i Oslo, og en økning på opp til 74 cm i kystområdene på Sørlandet (Lindholm et al. 2007).

*Stormflo* er økningen i havnivået på toppen av tidevannstanden, og skyldes at vinden skyver vannet foran seg og stuver dette opp mot land. Dersom stormflo kommer i tillegg til høyt

tidevann vil det gi større oppstuvninger i avløpsnettene og øke overløpsmengdene hvis det er betydelig med regn samtidig (Lindholm et al. 2007).

#### 1.2.4 EUS FLOMDIREKTIV

EUs flomdirektiv ble gjort gjeldende for medlemslandene i november 2007, og man regner med at det samme vil skje i Norge som følge av EØS- avtalen (NVE 2009). Direktivet tar for seg alle typer flom og har som formål å gi en oversikt over flomrisiko og mulige skadeforebyggende tiltak. Dette skal skje i en tre-trinns prosess:

- I. Foreløpig flomrisikoanalyse. Her ser man på områdets topografi, arealbruk og eventuelle tidligere skadeflommer for å finne områder som må kartlegges nærmere.
- II. Fare- og flomrisikokartlegging. De områdene med en vesentlig flomrisiko skal kartlegges nærmere i forhold til sannsynlighet og konsekvens for flom.
- III. Vannregionvise forvaltningsplaner for flom. På bakgrunn av kartleggingen skal det lages skadeforebyggende tiltak for å redusere konsekvensene av flom for helse, miljø, kulturarv og økonomi.

Hvert enkelt land kan selv bestemme hva som er akseptabelt risikonivå og hvor mye som skal investeres i skadeforebyggende tiltak. Gjennom denne tre- trinnsprosessen vil derfor hvert enkelt land få kartlagt risikoen og kartlegging og utarbeiding av tiltak vil skje på bakgrunn av dette (European Parliament and the Council 2007).

### 1.3 PROBLEMSTILLING

Klimaendringer vil føre til mer intens nedbør, og i kombinasjon med fortetting av byene vil dette medføre økt avrenning og flere urbane flommer. Det eksisterende ledningsnettene i norske byer er allerede underdimensjonert, og bygninger er ikke bygd for å tåle påkjenninger fra flom. EUs flomdirektiv vil trolig snart bli gjeldende i Norge, og dette medfører flere krav til planlegging i forhold til flom. Problemstillingen for oppgaven er derfor følgende:

*Hva er egnede tiltak for å gjøre samfunnet bli mer motstandsdyktig mot urbane flommer, og på den måten være bedre rustet mot fremtiden?*

### ***Delmålene i oppgaven:***

1. Samle inn aktuell litteratur for å gi en beskrivelse av dagens situasjon
2. Se hvilke utfordringer man står ovenfor i forhold til urban flom
3. Finne ut hvordan ulike konstruksjonsoppbygninger fungerer i en flomsituasjon, og bestemme hvilke yttervegger som er best egnet
4. Case- studie av en gate i Lillestrøm, som i følge kilder vil bli rammet av oppstuvninger over bakkenivå i fremtiden

### ***Avgrensninger***

- Overvannet kan være svært forurensset, blant annet av miljøgifter og tungmetaller fra trafikkerte områder. Jeg har valgt å avgrense denne oppgaven, og har ikke sett på forurensninger i forhold til overvann.
- I simuleringene er det kun sett på yttervegger mot terreng, da vannskader i kjellere er et stort problem.
- For case-studiet vil jeg fokusere på de tekniske løsningene for håndtering av den økende mengden overvann, og utforming av mer flomresistente bygninger for å løse problemet.

## 2 METODE

Dette avsnittet er delt i tre, av den grunn at det i hovedsak er benyttet tre forskjellige arbeidsmetoder. Gjennom litteraturstudiet er det samlet bakgrunnsinformasjon som har gitt et godt grunnlag for utføring av simuleringene og løsning av case-studiet.

### 2.1 LITTERATURSTUDIE

For å finne svar på problemstillingen er det først utført et litteraturstudium for å finne informasjon om dagens situasjon og hvilke utfordringer man står ovenfor for at samfunnet skal bli bedre forberedt på en urban flom. Det finnes begrenset med informasjon, særlig om situasjonen på det norske markedet. Mye av informasjonen har derfor måttet blitt konvertert til norske forhold, og det har i tillegg vært nødvendig å bruke en del sekundærkilder, som blant annet forelesningsnotater og populærvitenskapelige artikler.

### 2.2 SIMULERINGER I WUFI

For å undersøke hvordan ulike bygningskonstruksjoner fungerer i en flomsituasjon, ble det utført noen simuleringer på et lite utvalg vanlige konstruksjoner i Norge. For å gjennomføre simuleringene ble det brukt programmet WUFI 4 (<http://www.wufi-pro.com/> 2010). Ved å fokusere på tørketid og potensialet for muggvekst, gav resultatet bakgrunn for å kunne bestemme hvilke av de valgte ytterveggene som egner seg best i et område på høy flomrisiko.

#### ***Beskrivelse av WUFI 4***

WUFI er et beregningsverktøy for fukt- og varmetransport i bygningskomponenter. Programmet er utviklet av Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland, men har blitt tilpasset norske forhold ved en egen norsk database med materialdata og klimadata. Programmet gjør det mulig å beregne temperatur og fuktforhold i en konstruksjon over tid.

Materialdataene inneholder materialeegenskapene til de fleste materialene som brukes i dag. Det finnes rundt 100 materialer i WUFI sin database, og det jobbes hardt med å utarbeide flere. Hvert materiale inneholder følgende verdier:

- Densitet ( $\text{kg/m}^3$ )
- Porøsitet ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ), nødvendig for blant annet å beregne kapillærsugeevne
- Spesifikk varmekapasitet ( $\text{J/kgK}$ )
- Varmekonduktivitet eller varmeledningsevne ( $\text{W/mK}$ )
- Vanndampdiffusjonsmotstand

Klimafilene som benyttes ved simuleringer i WUFI inneholder verdier for temperatur, relativ fuktighet, stråling, nedbørsmengder og mengde fritt vann utendørs. Alle verdiene er representert time for time. Det er utarbeidet klimafilene for flere steder i Norge, som bygger på målte verdier. Inneklimaet er mer stabilt og kan lett defineres som en sinus kurve basert på europeiske standarder. Det er også mulig å definere material- og klimadata selv (<http://www.wufi-pro.com/> 2010).

WUFI kan blant annet brukes til å beregne

- Uttørkningstid for bygningsfukt
- Risikoen for kondens
- Virkningen av slagregn på ytre bygningselementer
- Fuktfordeling i ulike materialsjikt over tid
- Effekten av skadesanering og ombygginger
- Hygrotermiske forhold på tak og yttervegger ved forskjellig klima og ekstreme klimaforhold

## 2.3 CASE- STUDIE

I et samarbeid med Skedsmo kommune og på bakgrunn av resultater fra en tidligere masteroppgave ved UMB, er det sett på en gate i Lillestrøm som potensielt vil være utsatt for fremtidige flomskader. Ved å gjøre intervjuer og samtaler med kommunen, samt befarings, er det forsøkt å finne en strategi for flomvern.

## 3 BAKGRUNNSSTOFF- TEORI

Dette avsnittet inneholder relevant bakgrunnsstoff for oppgaven. Blant annet inneholder det grunnleggende teori for å gi en forståelse for de fysiske prosessene som skjer når en bygning blir utsatt for flom. I tillegg er det beskrevet valg av material- og klimadata for simuleringene. Deretter følger en beskrivelse av dagens situasjon og hvilke utfordringer som finnes i Norge i forhold til urban flom. Tilslutt er det beskrevet vanlige løsningsstrategier.

### 3.1 GRUNNLEGGENDE FUKTMEKANIKK

Fuktmekanikk er læren om hvordan ulike materialer tar opp og transporterer fuktighet. Mange materialegenskaper avhenger av fuktinnholdet, og et høyt fuktinnhold kan medføre en rekke problemer, noen eksempler er (Thue & Uvløkk 1998):

- Råte/sopp i trematerialer
- Muggvekst på overflater
- Dårligere inneluftkvalitet
- Svinn og svelling som gir vridning, deformasjon, utbuling og sprekkdannelse
- Endring i fasthetsegenskaper, spesielt hos trematerialer
- Frostsprengning
- Nedsatt varmeisolerende evne
- Endring i farge eller utseende
- Korrosjon
- Nedsatte bæreegenskaper og styrke

#### 3.1.1 LUFTFUKTIGHET

Fuktinnholdet kan angis som *relativ fuktighet (RF)*, som uttrykker vanninnholdet ved den aktuelle temperaturen i % av det maksimale vanninnholdet (Byggforsk 2005).



$$RF = \frac{v}{v_{sat}} * 100\%$$

**FORMEL 1**

*Hvor:*

*RF = Relativ fuktighet*

*v = Vanninnhold*

*v<sub>sat</sub> = Vvanninnhold i mettet tilstand*

Ved metning er RF lik 100 %, og metningsinnholdet samt mengden vanndamp som lufta kan inneholde øker med temperaturen. Dersom to forskjellige temperaturer har lik RF, vil den høyeste temperaturen derfor ha høyere fuktinnhold.

*Det absolutte fuktinnholdet* forteller hvor mye vann et materiale inneholder i vekt- eller volum% av materialets vekt eller volum i tørr tilstand. Vanndampinnholdet i lufta, eller det absolutte fuktinnholdet kan uttrykkes i gram per kubikkmeter luft (g/m<sup>3</sup>) eller som vanndamptrykk i Pa (N/m<sup>2</sup>). (For tyngre konstruksjonsmaterialer, som tre og betong, er det vanlig å angi vanninnholdet som mengde vann i forhold tørrmaterialet). For alle temperaturer finnes det en øvre grense for mengde vanndampinnhold i lufta, da er lufta er mettet.

Fuktinnholdet kan være kjemisk bundet til selve materialet eller den kan finnes i porer og hulrom. Når det er kjemisk bundet har det så sterk binding til materialet at det ikke inngår i fukt betraktninger, og det er derfor vannet som er fysisk bundet i porer og hulrom man refererer til når man snakker om fuktinnhold.

Vanndampinnholdet i utelufta varierer i forhold med tid på året og hvor man er i landet. Innholdet av vanndamp i lufta innendørs bestemmes av lufta man ventilerer med (utelufta), luftskiftet og fukttilskuddene man har innendørs som for eksempel fordamping fra mennesker, vasking og tørking av klær, dusjing og matlaging. Innhold av vanndamp i innelufta er gitt i formel 2 (Byggforsk 2005).

$$v_{inne} = v_{ute} + \Delta v$$

**FORMEL 2**

*Hvor:*

*v<sub>inne</sub> = Vanndampinnhold inne*

*v<sub>ute</sub> = Vanndampinnhold ute*

*Δv = Luftskifte og fukttilskudd innendørs*

### 3.1.2 FUKTTRANSPORT

Fukttransporten i en bygningskonstruksjon kan skje i væskeform eller som vanndamp. Transport i væskeform kan skyldes gravitasjonskrefter eller kapillærsug. Et eksempel på gravitasjonskrefter er lekkasjer i tak ned til den underliggende konstruksjonen, mens kapillærsug skyldes adhesjonskrefter mellom vannet og poreoverflate. Undertrykket i porene vil gi vanntransport i materialets poresystem. Sugehøyden avhenger av porestørrelsen, og finporøse materialer transporterer fritt vann lengre enn grovporøse materialer. Ved en flom eller andre situasjoner med plutselige, store mengder vann- som vannlekkasjer- vil kapillærkrefter være den dominerende oppfukningsmekanismen for de fleste materialer. Risikoen for skader øker jo lengre inn i konstruksjonen vannet har trukket. Det er derfor viktig å se på hvordan ulike bygningsmaterialer tar opp fuktighet (Mattsson & Stensrød 2009).

Fukttransport i dampfase i porøse materialer kan skje ved diffusjon og konveksjon. Dampkonveksjon, eller luktlekkasjer, er fukttransport ved luftstrømning grunnet trykkforskjeller. Dette kan gi kondens dersom luftstrømmen kjøles ned mot kald side av konstruksjonen. Dampdiffusjon foregår ved at vannmolekyler beveger seg gjennom porøse materialer i retning mot avtakende dampkonsentrasjon, det vil si at fuktig luft beveger seg mot tørrere luft. Siden det vanligvis er høyere luftfuktighet innendørs, vil diffusjonen derfor bevege seg mot utsiden av ytterveggen. Dette utnyttes ved uttørking av vannskader. I yttervegger mot terreng vil det være motsatt, da det kun er uttørking på én side.

Vanndamptransporten  $g$  gjennom et materiale er gitt ved (Byggforsk 2005):

$$g = \delta_p * \frac{\Delta p_v}{d} \quad \left( \frac{kg}{m^2 s} \right)$$

**FORMEL 3**

*Hvor:*

$\Delta p_v = p_{v2} - p_{v1}$  = forskjellen i damptrykk på de to sidene av materialet (Pa)

$\delta_p$  = materialets vanndamppermeabilitet (kg/(msPa))

$d$  = materialets tykkelse (m)

### 3.1.3 KONDENS

Dersom overflatetemperaturen er lavere enn *duggpunktstemperaturen*, vil lufta avgi fukt som legger seg som *kondens*, eller dugg, på overflaten. Duggpunktstemperatur er lavere enn temperaturen, og den temperaturen lufta må avkjøles til før metning (duggdannelse) inntreffer. De vanligste årsakene til overflatekondens er altså en kombinasjon av høy luftfuktighet og lav overflatetemperatur. God ventilasjon reduserer luftfuktigheten og gir sjelden kondens, og mangel på ventilasjon er den vanligste årsaken til en skadelig høy luftfuktighet. Den vanligste årsaken til lav overflatetemperatur er kuldebroer, som for eksempel kan komme fra manglende isolasjon. Konsekvensene fra overflatekondens kan være ødelagte overflatematerialer og dårlig inne- luftkvalitet grunnet muggvekst.

I kjellere kan det lett dannes overflatekondens på nedkjølte overflater om våren og sommeren på grunn av innstrømming av varm og fuktig uteluft. Om vinteren kan kondens oppstå i øvre del av uisolerte betongyttervegger (Byggforsk 2005).

### 3.1.4 VARMETRANSPORT

For å få et best mulig innblikk i fukttransporten i en konstruksjon bør man også se på transporten av varme.

Varmetransporten starter med engang man får en temperaturforskjell over et materiale eller en konstruksjon, og transporten går i retning lavere temperatur. Varmetransport er overføring av varme gjennom et materiale, og kan skje gjennom varmeledning, konveksjon og stråling. Varmeledning med overføring av varme mellom molekylene i konstruksjonen gir temperaturforskjeller som igjen medfører fukttransport. Konveksjon er varmetransport ved strømning i gass eller væskeform (Edvardsen et al. 2006).

Fukt- og varmetransport påvirker hverandre gjensidig. Fordamping og kondensasjon påvirker temperaturen og temperaturforskjeller medfører fukttransport. Derfor er det viktig å se på begge prosessene dersom man ser på fuktforholdene i en konstruksjon over tid, som for eksempel ved vurderinger av uttørkingstid, kondensfare og risiko for fuktskader. Begge prosessene er meget kompliserte, men det er heldigvis utviklet flere beregningsprogrammer som utfører dynamiske fuktanalyser (Byggforsk 2005).

### 3.1.5 *UTTØRKING*

Mikroorganismer som muggsopp, gjærsopp og bakterier utnytter lett tilgjengelige næringsstoffer i de våte bygningsmaterialene, og skadeutviklingen skjer i løpet av få dager eller uker. Derfor skal tørking etableres senest innen en uke etter vannskaden inntreffer. Ved flom er man derimot avhengig av at vannet trekker seg tilbake for uttørkingen kan starte, og dette er derfor en avgjørende faktor for resultatet. Riktig tørketeknikk varierer fra den ene vannskaden til den andre. Derfor er det viktig av et skadebegrensningsfirma registrerer omfanget av skaden og gjør seg kjent med konstruksjonens oppbygning før tørking settes i gang. Det er viktig å få oversikt over eventuelle endringer på bygget og tidligere vannskader vil være avgjørende. Konstruksjonstørking krever både kompetanse og utstyr, og det er kun et lite antall bedrifter som kan utføre denne type arbeid med tilfredsstillende resultater (Mattsson & Stensrød 2009).

### 3.1.6 *TØRKEMETODER*

Det finnes tre hovedmetoder for uttørking av oppfuktede konstruksjoner:

- ***Naturlig uttørking***  
Naturlig uttørking er en passiv metode, og fuktigheten tørker uten å bruke tørkeaggregater. På vinterstid tilfører man noe oppvarming. Denne metoden tar lang tid og brukes ved uttørking av for eksempel garasjer eller verneverdige bygninger som har krav til langsom uttørking.
- ***Oppvarming og ventilasjon***  
Dette er den tradisjonelle tørkemethoden, og foregår ved at et aggregat blåser oppvarmet luft inn i bygningen og fuktig luft ventileres ut. For at det skal være tilstrekkelig ventilasjon er det viktig at det finnes åpne vinduer eller mekanisk ventilasjon. Metoden er dårlig egnet for bygninger med isolerte hulrom, i det tilfelle vil oppvarmingen danne overtrykk inne i rommet og fuktigheten kunne trekke inn i konstruksjonen.
- ***Avfuktingsaggregater***

Denne metoden brukes mye av skadebegrensningsfirmaene og gir rask og lite energikrevende uttørking. Det er viktig at bygningen har minst mulig ventilasjon for å oppnå et optimalt uttørkingsforløp.

Felles for alle er at de utnytter dampdiffusjon slik at vanndamp fra materialet avgis til lavere vanndampkonsentrasjon i lufta. Man ønsker en rask tørking slik at man unngår muggdannelse, men samtidig å opprettholde fuktigheten slik at det ikke oppstår deformasjoner. Høye temperaturer øker tørkehastigheten, men gir større risiko for bakteriell vekst. Gunstige tørkeforhold er lufttemperatur på rundt 20 °C og en relativ fuktighet på 40-50 % (Byggforsk 1997).

Det vil normalt være igjen litt fukt ulike steder på konstruksjonen etter at den er tørket og lukket. For å gi innebygd fukt muligheter til å tørke ut, bør man sørge for å opprettholde en temperatur på 20 °C og i tillegg ha god ventilasjon til det aktuelle området (Byggforsk 1997).

### 3.2 FUKTPROBLEMER I YTTERVEGGER MOT TERRENG

Tidligere ble de fleste kjellere bygd for oppbevaring uten oppvarming, noe mange i ettertid velger å innrede til oppvarmet oppholdsrom. Ved etterisolering av kjellerrom er isolering på utsiden den beste løsningen i forhold til fuktproblemer. Etterisolering på utsiden krever oppgraving, noe som medfører at mange derimot velger å etterisolere på innsiden av økonomiske grunner. Kun innvendig isolering øker risikoen for fuktskader ved at bæresystemet vil holde en lavere temperatur og har derfor vanskeligere for å tørke. I tillegg vil det være vanskeligere å oppdage en eventuell fuktskade. Risikoen for fuktskader øker med økende isolasjonstykkelse. Vegger under terreng har samme krav til varmeisolering som vegger over terreng, men siden terrenget varmeisolerer er det ikke nødvendig med like mye isolasjon her. U-verdi, eller varmegjennomgangskoeffisient, brukes som krav for varmeisolering. Minstekravet til U-verdi for yttervegger er 0,22 W/(m<sup>2</sup>K) (Byggforsk 2007b).

Ulike retningslinjer for å unngå fuktproblemer:

- Under terrengnivå bør tykkelsen på innvendig isolasjon begrenses til cirka 50 millimeter på betongvegg og 100 millimeter på vegg med lettklinker.
- I yttervegger av betong bør mest mulig, og minst en tredjedel, av varmeisolasjonen plasseres på utvendig side av den bærende konstruksjonen (Thue & Uvløkk 1998).

- Ved bruk av innvending utfôring av tre, må bindingsverk være isolert fra betongveggen med minimum 50 millimeter plastisolasjon eller mineralull.
- Bruk av dampsperre skal kun brukes der minst halve veggen er over terrengnivå, fordi den vil sperre dampen inne og redusere opptørkningsevnen (Byggforsk 2007c).

Vanlige yttervegger mot terreng har verken tetthet eller styrke til å motstå vanntrykk. Et trykkbrytende og drenerende lag må derfor plasseres på utsiden av ytterveggen for å lede vannet til drensledningen og videre bort fra konstruksjonen. Ytterveggens overflate må ha en vannavvisende og kapillærbrytende beskyttelse slik at man unngår at vann renner inn til veggen og suges opp. Det er vanlig å bruke spesielle grunnmursplater av plast (polyetylen eller polypropylen) med knaster eller riller (Byggforsk 1998).

### 3.3 VALG AV DATA FOR SIMULERINGER

De fleste vannskader på grunn av flom forekommer i kjellere. Yttervegger som står mot terreng har kun uttørkningsmuligheter på en side, noe som gir dårligere tørkeforhold. På bakgrunn av dette er det valgt å se på ulike kjellerkonstruksjoner i WUFI, for å se hvordan de vil tåle en eventuell flom.

#### 3.3.1 METODE FOR SIMULERINGER

Det skal gjøres simuleringer for fem forskjellige yttervegger mot terreng. De er som følger:

1. Ny konstruksjon av betong isolert på innside og utside
2. Konstruksjon etterisolert på innsiden
3. Konstruksjon av kun betong, ingen isolasjon
4. Betongvegg med bindingsverk av tre
5. Konstruksjon av lettklinker, isolert på begge sider

De valgte kjellerveggene skal simuleres for tre ulike klimasituasjoner:

1. Nullsituasjon. Konstruksjonen har ikke vært utsatt for flom, og er derfor tørr fra start (K1)

2. Konstruksjonen er utsatt for flom, uten bruk av ekstra tørke metoder etterpå.  
Startverdiene for fuktinnhold tilsvarer her en våt konstruksjon (K2)
3. Konstruksjonen er utsatt for flom, og det er tatt i bruk uttørking etterpå (K3)

### 3.3.2 VALG AV MATERIALDATA FOR SIMULERINGER

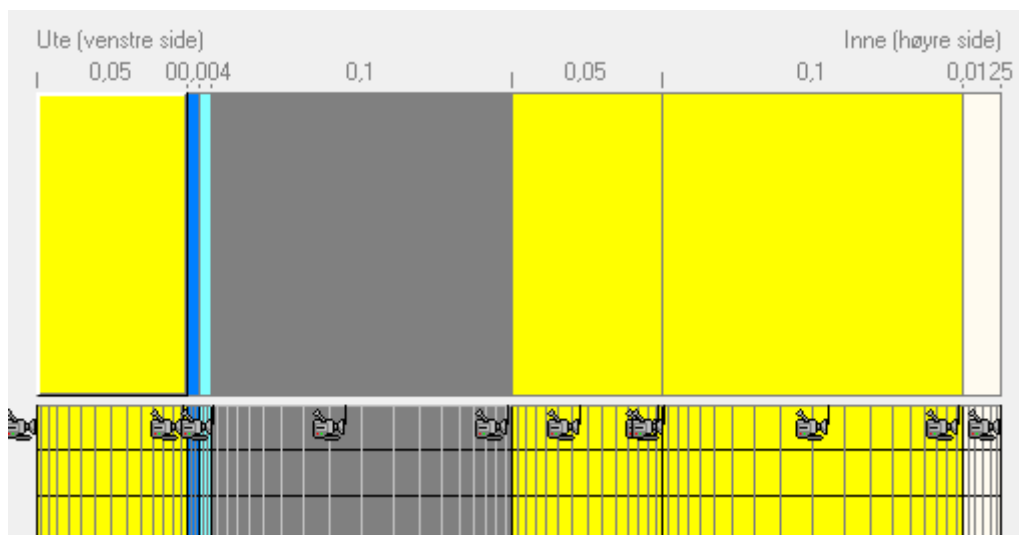
Valg av konstruksjonsoppbygninger er gjort på bakgrunn av hva som er vanlig i yttervegger mot terreng i Norge i dag. Ved å se på SINTEF sin Byggforsk kunnskapsserie er det valgt ut forskjellige konstruksjoner som kan være med på å bestemme viktigheten av å følge retningslinjene i avsnitt 3.2 for å unngå fuktproblemer. Blant annet vil man kunne se på virkningene av å etterisolere kun på innsiden av konstruksjonen eller effekten av å bruke organiske materialer ved siden av betongen.

Alle ytterveggene er presentert i dette kapittelet med tilhørende materialsjikt. Figurene av materialsjiktene er et utklipp fra simuleringene i WUFI, og de ulike fargene representerer de forskjellige materialene. Tabellene 1-5 inneholder startverdier for fuktinnhold i de ulike materialsjiktene for hver klimasituasjon. Det øverste materialet tilsvarer ute (venstre side) av konstruksjonen.

For å simulere en grunnmursplate med knaster eller riller er det brukt PVC-takbelegg og et luftsjikt. Denne kombinasjonen tilsvarer vandampdiffusjonsmotstand og luftlaget som gir bedre uttørkningsmuligheter.

Ved uttørking etter en flomsituasjon er man avhengig av at flomvannet trekker seg tilbake. Isolasjonsmaterialer, som for eksempel mineralull, har ingen kapillær sugsevne, og vil derfor dreneres ut når man tømmer en bygning for vann (Edvardsen et al. 2006). Simuleringene i WUFI starter etter at dette vannet er drenert ut, som da er grunnen til at det er brukt startverdi null for fuktinnhold i isolasjon.

## 1. Ny konstruksjon av betong isolert på innside og utside



Figur 3: Innvendig og utvendig isolert yttervegg av betong mot terreng (Blom & Holøs 2008).

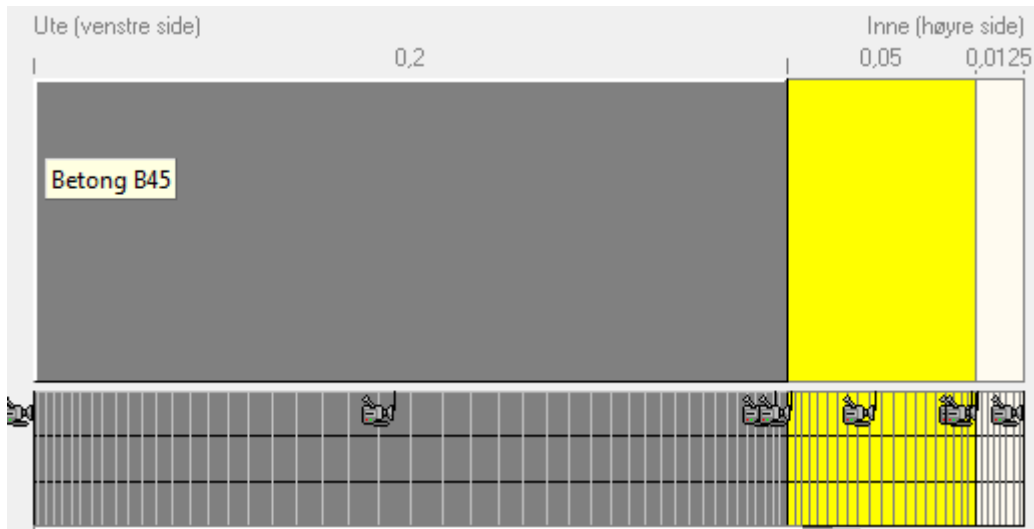
Dette er en betongvegg med både innvendig og utvendig isolering. Denne konstruksjonen vil ikke gi optimale resultater. Den oppfyller ikke retningslinjene om å ha minst en tredjedel av isolasjonen utvendig, og for å redusere risikoen for fuktskader burde det utvendige isoleringslaget av ekstrudert polystyren (EPS) erstattes av et material med høyere vanndampdiffusjonsmotstand, som for eksempel ekspandert polystyren (XPS). Sammenlignet med EPS har XPS en vanndampdiffusjonsmotstand på 450 i forhold til at EPS kun har 50. De ulike materialsjiktene med tilhørende materialsjikt er oppført i tabell 1.

Tabell 1: Materialdata for innvendig og utvendig isolert yttervegg av betong

Material	Tykkelse [m]	Startverdi, vanninnhold K1 [Kg/m <sup>3</sup> ]	Startverdi, vanninnhold K2+ K3 [Kg/m <sup>3</sup> ]
EPS	0,05	-	-
PVC-takbelegg	0,004	-	-
Luftsjikt	0,003	-	-
Betong v/c-tall= 0,5	0,1	84	150
EPS	0,05	-	-
Mineralull	0,1	-	-
Gipsplate	0,009	6,3	400



## 2. Innvendig etterisolering



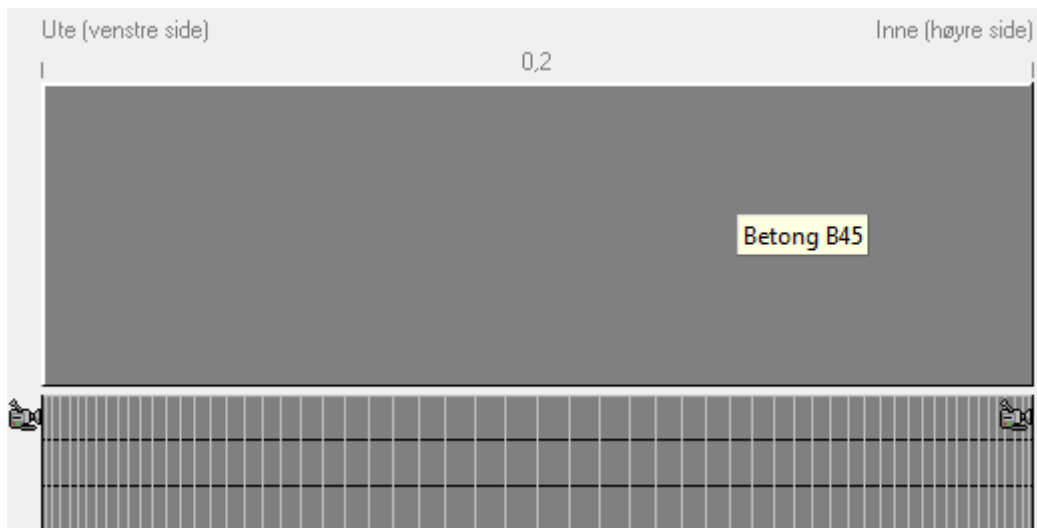
Figur 4: Innvendig etterisolert yttervegg mot terreng (Byggforsk 2002).

Etterisolering kun på innsiden er som nevnt tidligere en vanlig løsning ved innredning av oppholdsrom i kjellere. For å unngå fuktproblemer, ønsker man å ha isolasjonen så tynn som mulig i kjelleren, derfor er den kun 50 millimeter. Materialsjiktene er beskrevet i tabell 2.

Tabell 2: Materialdata for innvendig etterisolert betongvegg mot terreng

Material	Tykkelse [m]	Startverdi, vanninnhold K1 [Kg/m <sup>3</sup> ]	Startverdi, vanninnhold K2+ K3 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Betong B45	0,2	132	147
Mineralull	0,05	-	-
Gipsplate	0,0125	6,3	400

## 3. Uisolert betongvegg



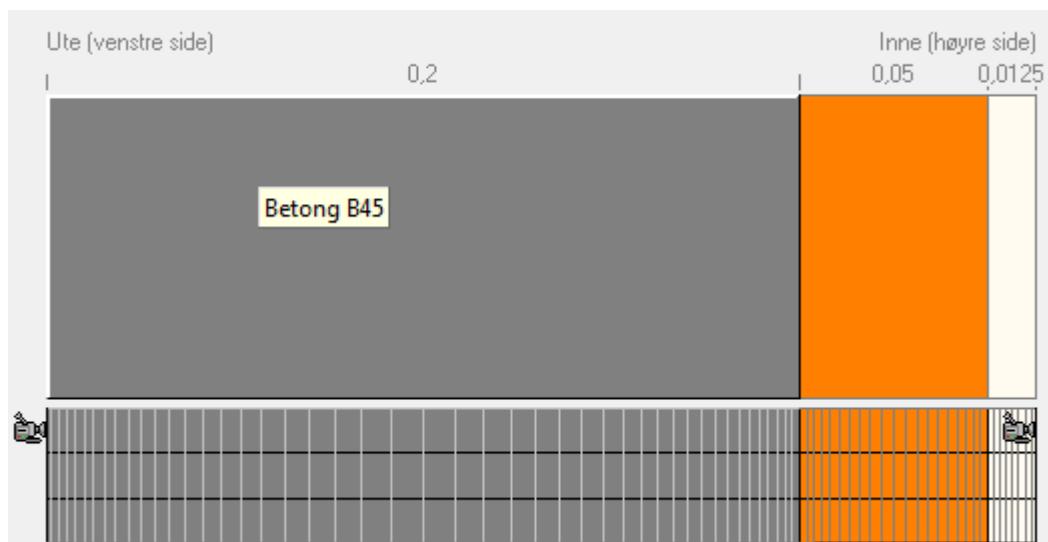
Figur 5: Uisolert betongvegg

Dette tilsvarer den innvendig isolerte ytterveggen av betong uten isolasjon. Kjelleren kan da kun brukes til lagringsplass. Materialsjiktene er beskrevet i tabell 3.

Tabell 3: Materialdata for yttervegg mot terreng av betong

Material	Tykkelse [m]	Startverdi, vanninnhold K1 [Kg/m <sup>3</sup> ]	Startverdi, vanninnhold K2+ K3 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Betong B45	0,2	132	147

#### 4. Betongvegg med bindingsverk av tre



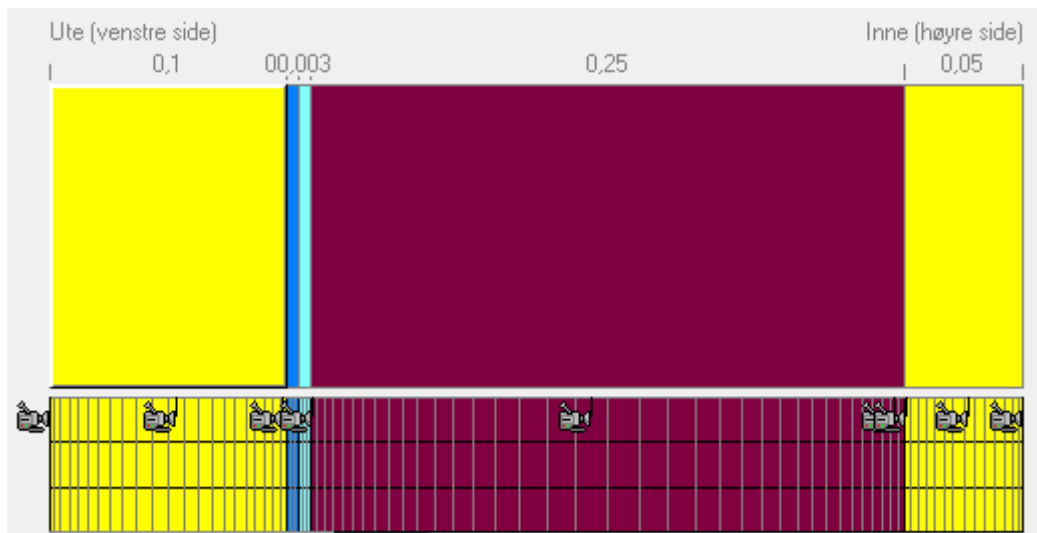
Figur 6: Materialsjikt for betongvegg med bindingsverk av tre

I denne ytterveggskonstruksjonen med innvendig utføring av tre er ikke bindingsverket isolert fra betongveggen med isolasjon slik de veiledende reglene sier. For å se på konsekvensene av dette er det tatt et snitt over veggen der treet ligger.

Tabell 4: Materialdata for yttervegg av betong med bindingsverk av tre

Material	Tykkelse [m]	Startverdi, vanninnhold K1 [Kg/m <sup>3</sup> ]	Startverdi, vanninnhold K2+ K3 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Betong B45	0,2	132	147
Gran radialt	0,05	80	600
Gipsplate	0,0125	6,3	400

## 5. Konstruksjon av lettklinker, isolert på begge sider



Figur 7: Murt vegg av lettklinker (Byggforsk 2007c)

Denne konstruksjonen av lettklinker har utvendig isolasjon av XPS og innvendig isolering med mineralull. Denne konstruksjonen er den eneste som følger den veiledende loven om minst en tredjedel av isolasjonen på utsiden, og det er i tillegg brukt grunnmursplast og isolasjonsmaterialer med høy vanndampdiffusjonsmotstand. Materialdata for de forskjellige sjiktene er gitt i tabell 5.

Tabell 5: Materialdata for yttervegg av lettklinker

Material	Tykkelse [m]	Startverdi, vanninnhold K1 [Kg/m <sup>3</sup> ]	Startverdi, vanninnhold K2+ K3 [Kg/m <sup>3</sup> ]
XPS	0,1	-	-
PVC-takbelegg	0,004	-	-
Luftsjikt	0,003	-	-
Lettklinkerstein	0,25	8	97
Mineralull	0,05	-	-
Gipsplate	0,0125	6,3	400

### 3.3.3 VALG AV KLIMADATA FOR SIMULERINGER

For bygningskonstruksjoner mot terreng er utetemperaturen definert som en sinuskurve basert på data for jordtemperatur ved dybde 1- 1,8 meter fra en rapport skrevet av Blom og Holøs (2008). Jordmassene har en stor varmekapasitet som fører til at temperatursvingningene i sinuskurven dempes og faseforskyves med dybden (Byggforsk 2007a). Den relative fuktigheten vil her være konstant 100 %. Inneklimate er beskrevet ut ifra EU-standardene som ligger inne i WUFI. Det er brukt klimadata for rom med normal fuktbelastning. For kjellerveggen av bare betong er det antatt et kjøligere klima og høyere fuktbelastning.

Uttørkingsmetodene i klimasituasjon tre kan være hvilken som helst av de som er beskrevet tidligere, og de medfører at temperaturen holdes stabil og den relative fuktigheten reduseres for å trekke fuktighet ut av konstruksjonen. I virkeligheten vil disse verdiene variere fra situasjon til situasjon, da tørketeknikken er avhengig av hvert enkelt skadetilfelle.

Tabell 6: Klimadata for simuleringer

Klimadata		Temperatur/amplitude	Dag med maks temperatur	RF (%)	Dag med maks RF
<b>K1</b>	Inneklima	21/1	3. juni	50/10	16. august
	Uteklima	11,5/3	3. august	100	-
<b>K2</b>	Inneklima	21/1	3. juni	50/10	16. august
	Uteklima	11,5/3	3. august	100	-
<b>K3</b>	Inneklima	20	-	40	-
	Uteklima	11,5/3	3. august	100	-
<b>(Uisolert betongvegg)</b>	Inneklima	17,5/3	3. juni	55/5	16. august

### 3.4 DEFINISJON FLOM

Begrepet flom har ikke en entydig definisjon. Det brukes generelt om høy vannføring og vannstand, men i denne oppgaven blir det brukt når man har oversvømmelse av land som vanligvis er tørt. Flom er et naturlig fenomen og er skyld i nesten en tredjedel av alle naturkatastrofer (Douglas et al. 2007).

Det finnes ulike årsaker til flom. Snøsmelting kan forårsake flom, men i Norge er skadeflommer nesten alltid uten unntak forårsaket av regn. De store flommene oppstår som en kombinasjon av nedbør og andre ugunstige forhold, som for eksempel begrenset kapasitet i ledningsnett, snøsmelting, frossen mark eller mett mark grunnet tidligere nedbør. Noen av de største flommene i Norges historie har vært kombinerte snøsmeltings- og regnflommer som for eksempel ”Vesleofsen” i 1995 som gav skader for ca. 1,8 mrd. kroner. (Tollan 2009)

Kombinasjonen fortetting av urbane områder og klimaforandringer har de siste årene gitt grunnlag for flere urbane flommer. I verden i dag skjer mer enn 75 % av flomskadene i urbane områder (Van et al. 2011). Denne typen flom skyldes i hovedsak at det ikke er tilstrekkelig kapasitet på ledningsnett, noe som medfører oppstuvninger og etterfølgende avrenning ved mye nedbør. Svikt i pumpestasjoner eller blokkeringer i nettet på grunn av dårlig vedlikehold kan også være en grunn til at overvannet skaper problemer. Dette inntreffer gjerne i sammenheng med ekstremt høye nedbørintensiteter, som er større enn dimensjonerende regn (Zevenbergen et al. 2011). I urbane områder blir avrenning sett på som den viktigste faktoren for flomrisiko. Den tidligere nevnte storflommen i 1995 hadde en maksimal avrenning på ca 100 l/s km<sup>2</sup>, mens for urbane strøk kan avrenning fra et 10-års regn være opp mot 10 000 l/s km<sup>2</sup> (Lindholm 2010c).

### 3.5 FLOMSKADER

Vann kan blant annet komme inn i en bygning gjennom følgende veier (Garvin & Kelly 2007):

- Murverk og murstein
- Ventilert
- Feil i bygget
- Vinduer, dører og andre åpninger
- Dørterskler
- Gap rundt elektriske innstillinger
- Utette dampsperrer
- Undergrunn lekkasje direkte via gulv og kjeller
- Sanitæranlegg i form av tilbakeslag fra et oversvømt avløpssystem

Generelt sett er korte flommer, ”flash floods”, mindre skadelige enn langvarige flommer. En flom på over 24 timer kan gi betydelige skader på en bygning. Flommens karakteristikk er

også avgjørende for skadebilde. En kyst- flom vil for eksempel gi korrosjon av metall, imens en urban flom der vannet ofte inneholder avløpsstoffer krever rengjøring og sterilisering. Det som skiller flomskader fra andre vannskader er at man er avhengig av at flomvannet trekker seg tilbake før opptørkingen kan starte. Behov for rengjøring ved urbane flommer kan forverre skadebildet da det vil gå enda lengre tid før tørkeprosessen starter (Zevenbergen et al. 2011).

Flomskader klassifiseres som direkte og indirekte, og materielle og immaterielle. Det er vanskelig å sette en pris på de immaterielle skadene, så når man sammenligner kostnader for flom ser man helst på de kostnadene for de materielle skadene. Tabell 7 viser noen eksempler på flomskader.

Tabell 7: Klassifisering av flomskader (Lindholm et al. 2007; Zevenbergen et al. 2011)

Type skade	Materielle skader	Immaterielle skader
<b>Direkte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Skader på bygninger er fysiske skader på konstruksjonen og konstruksjonsdeler som vinduer og installasjoner. Eksempler: strukturelle skader, vannskader</li> <li>- Forstyrrelse av næringsvirksomhet i flomutsatt område</li> <li>- Tap for jordbruk</li> <li>- Kostnader for opprydding og rengjøring</li> <li>- Veiskader og erosjon</li> <li>- Skader på VA-systemet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Psykiske skader</li> <li>- Historiske og kulturelle tap</li> <li>- Fysiske skader hos personer</li> <li>- Død</li> </ul>
<b>Indirekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafikkforstyrrelser (forsinkelsestid i timer)</li> <li>- Evakueringskostnader</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etterfølgende psykiske problemer, traumer</li> <li>- Ugunstige boforhold ved opprydding</li> </ul>

Flomskader på bygninger er påvirket av mange faktorer, som grovt sett kan klassifiseres slik (Zevenbergen et al. 2007):

- Virkninger på bygningen som direkte skyldes flommens karakteristikk (vanndybde, hastighet, varighet, forurensing, etc.)
- Bygningens motstand mot flom (type bygning, material, forholdsregler) og tidsavhengig motstand (flomvarsling, flomberedskap)
- Utsatt kapital, verdi og plassering av personlige eiendeler

Når store vannveier går utover sine vanlige bredder, faller skaden inn under begrepet naturskade. I slike tilfeller blir skaden dekket av Norsk Naturskadepool. Dette gjelder uansett om vannet kommer inn gjennom rør eller fra terrenget, så lenge vannstanden i et vassdrag er høyere enn det laveste nivået i den skadeutsatte bygningen. Urbane flommer som skyldes dårlig vedlikehold eller et underdimensjonert avløpsnett faller normalt utenfor begrepet naturskade (Mattsson & Stensrød 2009).

### *3.5.1 ERFARINGER FRA FLOMSKADER*

Som nevnt tidligere vil flomdybde og varighet være avgjørende for flomskaden da risiko for skader øker jo lengre inn i konstruksjonen vannet har trukket. Erfaringer viser at alder på bygningen ikke har noen direkte betydning for skadene, men at det er en stor forskjell på om bygningene er oppført før eller etter andre verdenskrig. Bygninger oppført etter krigen har generelt større skader, og det er flere årsaker til dette. Nye byggeforskrifter gir strengere krav til isolasjonstykkelse og tette sjikt, noe som forverrer skadebildet. Før krigen hadde de heller ikke innredede kjellere, og som nevnt tidligere gjør flom størst skade på bygninger med kjellere (Mattsson & Stensrød 2009).

## **3.6 ØKNING VANNSKADER OG BETYDNING FOR FORSIKRINGSSELSKAPER**

Antall vannskader i boliger og hytter økte med 55 % fra 2009 til 2010, både antall skader og erstatninger. Forsikringsselskapene hadde 78 000 innmeldte vannskader i 2010 (Neverdal 2011).





Figur 8: vannskadeerstatninger for boliger og hytter i perioden 2005-2010 (Neverdal 2011).

Figur 8 viser økningen av vannskader fra 2005- 2010. Den ekstreme økning i vannskader har mange årsaker. Sprengkulde i store deler av landet det første og det siste kvartalet i 2010 resulterte i mange vinterrelaterte skader, men en stor del av skadene skyldes kraftige regnskyld. Resultatet av intensive regnskyld kan være tilbakeslag på avløpsnettene eller oppstuvninger over terrengnivå som medfører inntrengning av overvann i kjellere. Økningen i antall innredede kjellere er også en av årsakene til økningen i skader. Skadedataene gjelder kun hendelsen som dekkes av private forsikringer, og ikke naturkatastrofer som dekkes av Norges Naturskadepool (Scheel & Hinnerichsen 2010).

Statens bygningstekniske etat opplyser at tre av fire byggeskader skyldes vann eller fuktighet. Ikke noe annet forsikringsområde øker slik som vannskader, og dette påvirker forsikringsbransjen. Forsikringsbransjen er sårbar i forhold til klimaendringer, og det er derfor viktig at de er forberedt på mulige risikoendringer forandringene kan medføre. Siden bygninger i Norge normalt er forsikret for et år av gangen, har man vanligvis mulighet til å endre forsikringspremien dersom risikoen øker. Likevel er det en fare for forsinkede eller ikke- tilstrekkelige risikoendringer.

Hovedårsaken til vannskader på bygninger er nedbør, og derfor er det brukt nedbørsdata for å utarbeide prognoser for fremtidens forsikringspremier. Norsk Regnsentral har utarbeidet en rapport hvor ulike scenarioer ble sammenlignet med nåtidens verdier. De ulike scenarioene sees i forhold til data for referanseåret 2001 og her en økning i nedbør på 5 % (scenario 1), 18 % (scenario 2) og 30 % (scenario 3). Resultatet i rapporten viser dramatiske forandringer for

risikoen for vær- relaterte skader på bygninger i følge klimascenarioene. Det moderate scenario 1 gir en økning av skadehendelser på 10 % for normal nedbør og 20 % for styrtnedbør. For de to andre scenarioene er resultatene mye mer dramatiske, med økninger på opp til 50 % og 100 % for tilsvarende regn. Dette medfører et stort behov for forebyggende midler for mange områder i Norge. Både myndighetene og forsikringsselskapene bør være aktive i å redusere risikoene og prise dem riktig (Scheel & Hinnerichsen 2010).

I Norge og mange andre europeiske land selges boligforsikringen som en pakke som også dekker andre risikoer som for eksempel brann. Alle bygninger kan bli forsikret, også dersom bygningen ligger i et område med høy flomrisiko (Haug et al. 2009). Det finnes ingen generelle bestemmelser, men enkelte forsikringsselskaper har høyere egenandel ved gjentatte vannskader, da hovedsakelig knyttet til gamle vannrør. Gjensidige har for eksempel hatt høyere egenandel etter skade nummer to hvis rørene er eldre enn 35 år.

I forhold til forsikring av kommunen stiller forsikringsselskapene ingen krav til kommunens VA-system. Krav til vedlikehold av avløpsnett eller at kommunen følger aktuelle veiledere har ingen innvirkning på forsikringen. En eventuell skadesak kan derimot gå til regress hvor forsikringsselskapet kan kreve erstatningen tilbake hvis det er åpenbare mangler ved avløpsnett (Hinnerichsen 2011).

### 3.7 STRATEGIER FOR FLOMVERN AV BYGNINGER

Forsikringsselskapene og samfunnet er avhengig av hverandre, og begge sidene er interesserte i å unngå store økninger av forsikringspremier. Derfor er det forventet innsats fra alle deler av samfunnet om å bidra innenfor de enkelte sektorene. I 1982 tok forsikringsselskapene initiativet til opprettelsen av Vannskadekontoret ved dagens SINTEF Byggforsk. Kontoret er et service- og informasjonskontor for forbrukere, forsikringsselskap, byggebransje og myndigheter. Vannskadesikre løsninger er ikke umulig teknisk sett, og vannskadekontorets mål er å øke utbredelsen av disse (Pihl 2011). Ved å øke bygningens motstandsevne mot flom, vil man redusere flomskadene, og det finnes mange måter å gjøre bygninger mer flomresistente.

Ekstrem nedbør og urbanflom er ikke et nytt problem internasjonalt. Flere steder, særlig i Europa og i USA, er det utviklet flere teknologiske løsninger for å redusere skadevirkningene fra flom. Disse deles vanligvis i fem kategorier:

- Løftet konstruksjon. Man løfter konstruksjonene slik at flomvannet ikke kan komme i kontakt og skade bygningen. Eksempler er bygninger med forhøyet inngang eller bygninger på pæler eller søyler
- Tørr – flomsikring. Man bruker spesielle tetningsmidler, belegg og utstyr for å lage den nederste delen av bygningen vanntett
- Våt – flomsikring. Man lar flomvannet kontrollert komme inn i bygningen som er bygd av materialer som ikke skades av flom
- Permanente eller midlertidige flomvoller
- Flytende konstruksjoner. Bygningen flyter opp i tilfelle flom

### 3.7.1 LØFTET KONSTRUKSJON

Man kan løfte en konstruksjon ved å løfte hele huset eller å la huset stå på sin faste plass, men med forhøyet gulv innendørs. Valg av metode avhenger av konstruksjonstype, grunnforhold og flomkarakteristikkene. For å løfte en konstruksjon separerer man bygningen fra grunnen ved hjelp av hydrauliske jekker imens den nye eller forlengede konstruksjonen bygges under. Disse kan bestå av forlengede vegger eller separate peler, pilarer, stolper eller kolonner. Dette medfører en forhøyet inngang, som strider mot prinsippet *universell utforming* og skaper hindringer for befolkningen. Universell utforming vil si utforming av bygninger, produkter og omgivelser på en slik måte at de kan brukes av alle mennesker, i så stor utstrekning som mulig, uten at det er behov for tilpasning eller spesiell utforming (Byggforsk 2001).

Bygningen kan også bli ”overtung”, noe som kan gi problemer ved for eksempel jordskjelv.

#### 3.7.1.1 Metode 1: løftet på en sammenhengende konstruksjon

Denne metoden egner seg godt der det ikke er risiko for bølger eller høy hastighet på flomvannet. Etter at bygningen er separert fra grunnen og jekket opp, er ofte det eksisterende fundamentet beholdt og veggene forlenges. De nye veggdelene er ofte laget av murstein eller

plasstøpt betong. Det eksisterende fundamentet må eventuelt forlenges eller bli gjenbygd for å tåle de økte kreftene.



*Figur 9: Bygning løftet på sammenhengende konstruksjon (FEMA 2009).*

### *3.7.1.2 Metode 2: løftet på et åpent fundament*

Ved bruk av denne metoden er bygningen løftet på individuelle, vertikale elementer. På denne måten er ikke bygningen et like stort hinder for flom som en sammenhengende konstruksjon, og fungerer derfor bedre der det er risiko for bølger eller flomvann med høy hastighet.

Pilarer av murstein eller plasstøpt betong er den vanligste måten å løfte et hus på. De tåler ikke store horisontale krefter, så denne metoden egner seg best i lavhastighetsflom. Det samme gjelder for fundamentering med stål- og trekolonner. Disse må også helst kobles sammen for å forsterkes.

Fundamentering på peler av tre, stål eller prefabrikkert betong minner litt om kolonner, men disse forankres ved peling. På denne måten er bygningen dypere forankret, og tåler derfor bedre urolige vannstander (FEMA 2009).



*Figur 10: Bygning ved kysten som er løftet på peler for å tåle mer (FEMA 2009).*

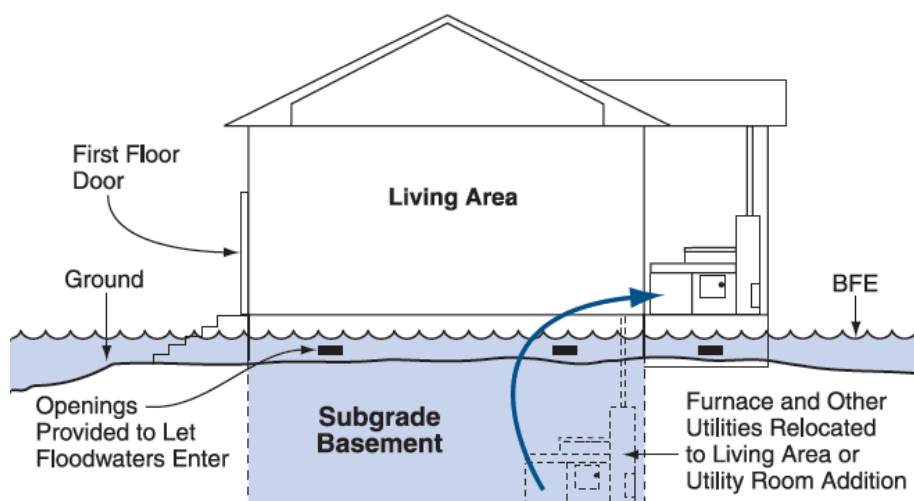
### *3.7.2 VÅTFLOMSIKRING*

Ved å våtflomsikre en bygning vil man modifisere de ubebodde delene av huset, som for eksempel kjeller, slik at vannet kan komme inn i bygningen uten å gjøre for mye skade. Meningen med å la vannet komme inn i bygningen er å få det innvendige og det utvendige hydrostatiske trykket til å bli likt. Dette bidrar til å forhindre strukturelle skader på konstruksjonen. Strategien innebærer også å flytte alle elektriske og verdifulle gjenstander opp over antatt flomhøyde, og i tillegg bygge alt under denne høyden i flomskaderesistente materialer for å minimere skadene (Manojlocic & Pasche 2007). Det vil si materialer som er i stand til å tåle lengre, direkte kontakt med flomvann uten å bli betydelig skadet. Lengre kontakt vil si minst 72 timer, og med betydelig skadet menes det at det kun er behov for ”kosmetiske reparasjoner”. Kostnadene ved kosmetiske reparasjoner skal også være mindre enn utskiftning av de berørte materialene (FEMA 2008).

Tabell 8: Oversikt over flomskaderesistente materialer og materialer man burde unngå i et område med risiko flom (FEMA 2008).

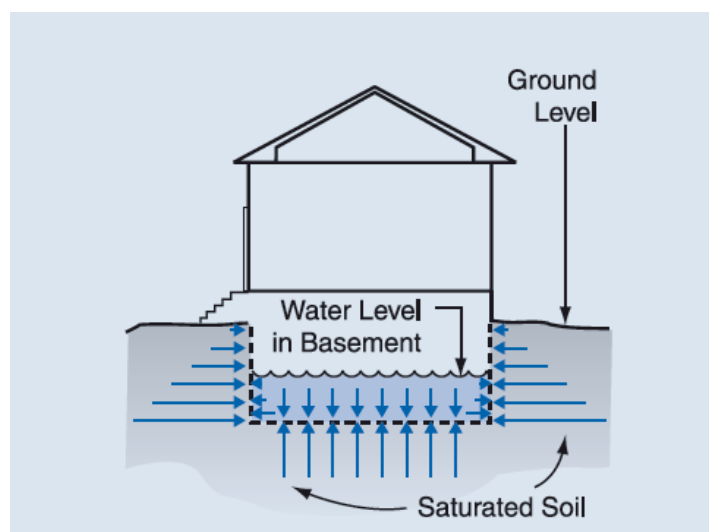
	<b>Flomskaderesistente</b>	<b>Ikke egnet</b>
<b>Strukturelle/bærende komponenter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mur, betong, lettklinkerblokker, puss</li> <li>• gipsplater med glassfiberarmering,</li> <li>• Heltre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trebaserte plater og trefiberplater</li> <li>• OSB- plater, sponplater (med høy tetthet og mineral),</li> <li>• De fleste gipsprodukter</li> </ul>
<b>Andre bygningskomponenter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lukket celleskum, Spray Polyurethane Foam (SPUF) Membranes, EPS, XPS</li> <li>• Keramiske fliser</li> <li>• Jernholdige metaller</li> <li>• Vannfast, oljebasert maling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mineralull, åpne celleskum</li> <li>• Tapet og tapetlim</li> <li>• Gulvbelegg av organisk materiale</li> <li>• Ikke-jernholdige metaller</li> </ul>

I USA har FEMA (Federal Emergency Management Agency) utarbeidet flere regler vedrørende flomvern av bygninger. Ved våtflomsikring av bygninger er det kun lov til å bruke flomskaderesistente materialer under det antatte flomnivået, og det er også regler for hva delen under dette nivået kan brukes til (FEMA 2009). I Norge finnes det for øyeblikket ingen regler på dette området (Hinnerichsen 2011).



Figur 11: Bygning med våtflomsikret kjeller under terreng (FEMA 2009).

Figur 11 viser hvordan møbler og installasjoner er flyttet over antatte flomnivå. Man ser også plassering av åpninger for å slippe inn flomvann. Åpningene er nødvendig for å slippe vann inn og har den funksjonen at de kan brukes til å regulere det hydrostatiske trykket slik at det blir likt inne og ute.



Figur 12: Ved å la vannet kontrollert slippe inn i bygningen vil man kunne regulere det hydrauliske trykket slik at man unngår strukturelle skader (FEMA 2009).

Dette er ofte den rimeligste måten å flomsikre en bygning på. Dersom flomvannstanden er høy, noe som krever at store deler av konstruksjonen må bygges eller erstattes av flomskaderesistente materialer, kan det derimot bli kostbart (FEMA 2009).

### *3.7.3 TØRRFLOMSIKRING*

Denne metoden å flomsikre en bygning på går ut på å lage konstruksjonen under det antatte flomnivået vanntett. Dette gjøres ved å dekke veggene med vanntette belegg eller ikke - gjennomtrengelige membraner. Dører, vinduer og andre åpninger under det antatte flomnivået må være utstyrt med ”skjold” i tilfelle flom, og tilbakeslagsventil må også være installert på avløpsledinger. En tørrflomsikret konstruksjon ikke vil slippe inn vann og det hydrostatiske trykket på utsiden av bygningen vil derfor være større enn på innsiden. For å unngå spekker og kollaps av konstruksjonen anbefaler man å tørrflomsikre en bygning opp til 0,9 meter (Zevenbergen et al. 2007). Oppdrift er også en viktig faktor her, da vanddybder over 0,9 meter kan løfte for eksempel et gulvdekke. Dersom man skal tørrflomsikre en bygning med kjeller er dette svært viktig for å unngå strukturelle skader.

Varigheten på flommen er også avgjørende for effektiviteten av tørrflomsikring. Etter lengre perioder med høye vannstander vil vann begynne å trekke inn i konstruksjonen, og det er derfor lite effektivt med tørrflomsikring dersom det er fare for en lengre flomvarighet. Det samme gjelder flomvann med høye hastigheter eller bølger (FEMA 2009).

#### *3.7.3.1 Vanntette kjellere av betong*

For å hindre at vann dreneres fra utbygde kjellere til fellesavløpssystemet, kan kjellerne bygges vanntette. Dette vil spesielt være effektivt for dype bygg, med kjellere i flere etasjer. Betongkonstruksjoner under grunnvannsnivå må beregnes og dimensjoneres for de aktuelle vanntrykk og opptredende laster. Dersom oppdriften overstiger konstruksjonens vekt, må konstruksjonen forankres til undergrunnen. Dette er en kostbar prosess, særlig med tanke på dimensjonering for å unngå strukturelle skader (Byggforsk 1993).

### *3.7.4 KOMBINASJON AV VÅT- OG TØRRFLOMSIKRING*

De ulike flomvernstrategiene har alle negative sider. Noen ganger vil det derfor lønne seg å benytte en kombinert løsning. En vanlig kombinasjon for bygninger med kjellere er våtflomsikring av kjelleren, og tørrflomsikring av de berørte delene av første etasje. Kjelleren



kan da kontrollert fylles med vann uten at det når det elektriske systemet, og vannskaderesistente materialer er benyttet for å minimere skadene. For bygninger uten kjeller kan man tørrflomsikre opp til ca. 0,9 meter og våtflomsikre over dette nivået (Zevenbergen et al. 2007).

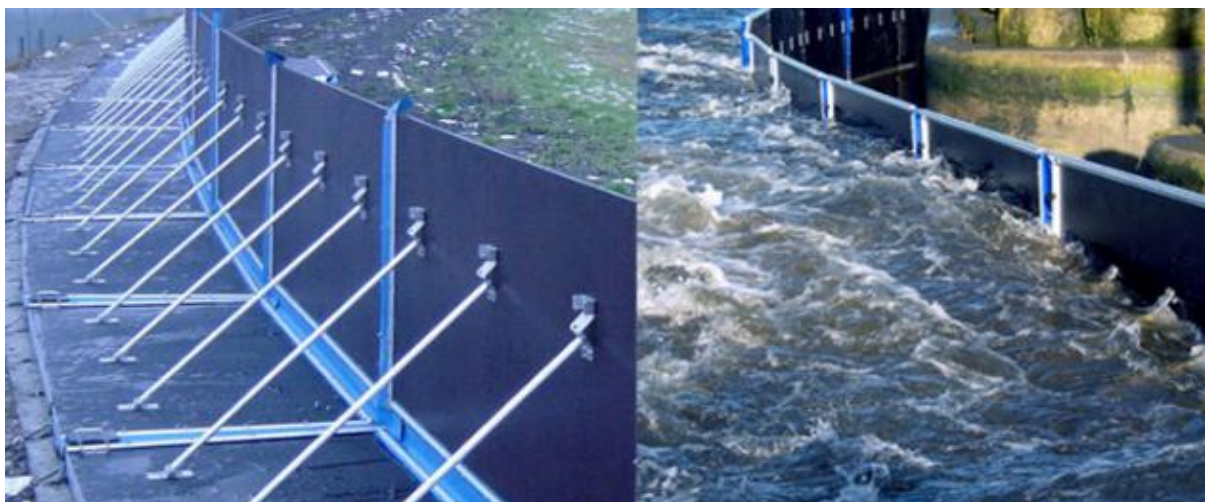
Denne kombinasjonen er økonomisk lønnsom i forhold til tørrflomsikring av hele bygget, og man reduserer risikoen for strukturelle skader ved at man reduserer oppdriftskrefter og hydrostatisk krefter på gulv og vegger.

### *3.7.5 FLOMVEGGER*

Flomvegger er metoder for å holde tilbake flomvannet, og de kan deles inn i permanente, semi- permanente og midlertidige flomvegger. De permanente flomveggene er blant annet diker laget av jord og flomvegger laget av betong eller mur. Disse kan ikke være for høye da trykket kan bli for høyt, og det i tillegg krever et stort areal. På grunn av behovet for store arealer er denne metoden ofte vanskelig å få til i urbane områder. Den siden av dikene som er utsatt for flom bør dekkes med steiner, også kalt ”riprap”, for å minimere farene for erosjon. Flomvegger er mer kostbart enn diker, og brukes vanligvis der det er begrenset med areal eller flomhastigheten er stor slik at det er fare for erosjon (FEMA 2009).

Midlertidige eller mobile flomvegger kan være for eksempel sandsekker eller vannfylte rør. Disse krever stor lagringsplass og mye arbeidskraft i tilfelle flom og forutsetter fungerende flomvarsling. Bruk av midlertidige flomvegger krever mye arbeidskraft både før og etter en flom. På grunn av det forurensede vannet kan sandsekker i tillegg havne inn under begrepet risikoavfall og må behandles deretter. Å fjerne sandsekker kan derfor også bli svært kostbart (Bjerkholt & Lindholm 2007).

Semi- permanente konstruksjoner kjennetegnes ved at de lett kan monteres på stedet, da ”grunn delen” allerede er installert. Et eksempel her er det norske AquaFence som egner seg godt i blant annet urbane strøk, da de er bedre beskyttet mot det forurensede flomvannet og lette å demontere. Her som ved de permanente flomveggene er det viktig å vite flomveiene før installering, men har den fordelen at det er lett monterbart samtidig som arealet kan benyttes i andre sammenhenger. Figur 13 viser AquaFence ferdigmontert med og uten flomvann.



*Figur 13: Det semi-permanente flomvernssystemet AquaFence kan monteres dersom det er fare for flom (AquaFence 2010).*

### 3.7.6 FLYTENDE KONSTRUKSJONER

Flytende konstruksjoner er bygd på hule betong- pontonger, isoporblokker eller en kombinasjon av disse for å gi bygningen oppdrift. Av de omtalte flomvern- strategiene er dette den mest kostbare metoden. Den krever trykk på avløpsledning, pumpe til drikkevann og fleksible, elektriske kabler. Ekstraarbeid med blant annet ledninger for å hindre skade fra flytende gjenstander og is i vannet er også nødvendig i tillegg til en inspeksjon av grunnforhold med tanke på erosjon. Flytende hus i Nederland kan håndtere en forskjell på 5,5 meter i vann- nivå, så det er en godt egnet metode dersom risikoen for høye flomvannstander er stor (Zevenbergen et al. 2007).

## 3.8 VALG AV STRATEGI

Flommens karakteristikk, den enkelte bygningen, muligheter for beredskap og lagringsplass er blant annet avgjørende for valg av metode. Tabell 9 viser sammenhengen mellom de ulike flomvernstrategiene og flomfrekvens, flomdybde og vannhastighet for flom. Flomfrekvensen har betydning for kosteffektiviteten, mens flomdybden vil ha stor innvirkning på pris av

tiltakene. Dersom vannhastigheten er stor vil den kunne gjøre store skader, som strukturelle skader på vegger og fundament. For urbane flommer har man sjelden verken høye flomdybder eller høy hastighet på flomvannet. Av den grunn vil flytende bygninger og løftet bygning på peler eller kolonner være lite aktuelt.

Uavhengig av hvilken strategi man velger, er det nødvendig med fungerende flomvarsling for at det skal bli noen skadereduserende effekt. Flomvarsling utføres i Norge av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), og denne flomvarslingstjenesten gir informasjon til kommuner og andre om flomsituasjonen i landet. NVE sine regionskontor hjelper det lokale og regionale beredskapsapparatet i en slik situasjon (NVE, N. v.-o. e. 2009).

Tabell 9: sammenheng flomvernstrategi og flomkarakteristikk (Zevenbergen et al. 2007)

	Flomvernstrategi						
	Løftet inngang	Bygning på kolonner	Bygning på peler	Tørr-flomsikring	Våt-flomsikring	Private flomvegger	Flytende bygning
Hyppige hendelser							
Sjeldne hendelser							
Lav flomdybde							
Høy flomdybde							
Høy hastighet							
Lav hastighet							

Risikonivået for flom avgjør strategi for flomvern. Strategiene for flomvern kan både brukes ved eksisterende bygninger og ved oppføring av nye bygg. Ved å se på NVE sine sonkartlegging av flomrisiko vil man se risikoen for de forskjellige flommene for det aktuelle området. Dersom risikoen er veldig høy bør man ved enkelte tilfeller vurdere og la være å bygge, og ved eksisterende bygg kan også strategier som flytting av hele bygningen tas i bruk. Denne metoden er meget kostbar og er derfor ikke beskrevet her. I tabell 10 er ulike strategier for eksisterende bygninger sammenlignet.

Tabell 10: Sammenligner strategier for eksisterende bygninger (FEMA 2009; Manojlocic & Pasche 2007).

Metode	Fordeler	Ulemper
<b>Løftet konstruksjon</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduserer flomskader vesentlig</li> <li>• Holder bygningen tørr</li> <li>• Enkel og kjent teknologi</li> <li>• Krever ikke mer areal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forandrer utseende på bygningen</li> <li>• Ikke universiell utforming, påvirker ankomsten</li> <li>• Ikke egnet for høye vannhastigheter (unntatt ved peling)</li> </ul>
<b>Tørrflomsikring</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bygningen holdes tørr</li> <li>• Krever ikke mer areal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dersom overgår antatt flomnivå, ingen skadehindring oppnådd</li> <li>• Krever tilsyn og ofte reparasjon etter flom</li> <li>• Ikke egnet for lang varighet</li> <li>• Kostbart og komplisert for eksisterende bygg</li> </ul>
<b>Våtflomsikring</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Også små tiltak er skadereduserende</li> <li>• Billigere enn andre metoder</li> <li>• Hindrer strukturelle skader</li> <li>• Bidrar til å fordrøye overvannet, bærekraftig løsning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever flomvarsling</li> <li>• Hjemmet vil bli vått innvendig og sannsynligvis forurenset av kloakk</li> <li>• Krever vedlikehold</li> <li>• Kan begrense bruk av områder under antatt flomhøyde</li> </ul>
<b>Kombinasjon våt- og tørrflomsikring</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økonomisk lønnsomt</li> <li>• Øker bygningens stabilitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begrenset bruk av våtflomsikret område</li> <li>• Krever flomvarsling</li> </ul>
<b>Flomvegger</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Permanente</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen forandringer på bygning</li> <li>• Vil ikke skade konstruksjonen på noen måte</li> <li>• Enkel og kjent teknologi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever store arealer</li> <li>• Ikke bærekraftig</li> <li>• Kostbart</li> <li>• Krever vedlikehold</li> <li>• Krever oversikt over flomveier ved plassering</li> </ul>

<b>Flomvegger</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mobile</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen forandringer på bygning</li> <li>• Kan brukes i flere områder</li> <li>• Rimelig løsning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krever flomvarsling</li> <li>• Krever arbeidskraft og lagringsplass</li> </ul>
<b>Flytende konstruksjon</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holder bygningen tørr</li> <li>• Godt egnet for høye flomnivå</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostbar og komplisert teknologi</li> </ul>

### 3.8.1 ØKONOMISK SAMMENLIGNING

Zevenbergen et al. (2007) har utarbeidet en økonomisk sammenligning mellom forskjellige flomvernstrategier. Det er som nevnt tidligere mye lettere å måle de materielle skadene, og det er disse skadene som ligger til grunn for den økonomiske sammenligningen av de ulike strategiene for flomvern av bygninger. Som referansebygg er det brukt en nederlandsk, toetasjes enebolig uten kjeller. Den har yttervegger av murstein med mellomliggende isolasjon på ti centimeter, grunnmur og fundament av betong. Boligen er innredet med blant annet kjøkken og sanitærfasiliteter. De tre strategiene som ble undersøkt var:

- 1) Tørrflomsikring opp til 0,9 meter: Referansebygget er designet for å holde flomvann ute fra bygningen opp til en høyde på 0,9 meter. Barrierer som hindrer vannet i å komme inn gjennom dører, vinduer, ventilasjonsanlegg og andre åpninger er brukt. Flyttbare skjold over dører og vinduer, ugjennomtrengelig folie og vanntett mørtel over små åpninger og vanntett gulv er brukt i tillegg til tilbakeslagsventiler på avløpssystemet.
- 2) Våtflomsikring opp til 1,2 meter: Referansebygget er her designet for å slippe inn vann opp til et visst nivå for å utjevne det hydrostatiske trykket. Alt under dette nivået er bygd i flomresistente materialer for unngå skader og for å redusere oppryddingskostnadene. Elektriske artikler og ledninger plasseres over dette nivået.

- 3) Løftet konstruksjon opp til 0,6 meter: Det løftede referansebygget er designet for å hindre flomvannet i å komme inn i bygningen. En betongtrapp ble konstruert for en forhøyet inngang.

Tabell 11: Prissammenligning av de tre flovernstrategiene (Zevenbergen et al. 2007).

Kategori	Våtflomsikring	Tørrflomsikring	Løftet konstruksjon
<b>Total kostnad</b>	€ 1 300	€ 8 000	€ 4 400
<b>Inkluderinger</b>	Flombarrierer, pumpe, to tilbakeslagsventiler, dreneringssystem	Vanntett gulv, strømmåler i skap, vanntett isolasjon (stiv, skum isolasjon med lukkede celler)	Betongvegg, sand, betongtrapp, ekstra kabler, to tilbakeslagsventiler, dreneringssystem

Tabell 11 viser den økonomiske sammenligningen av tre flomvernstrategier for nye bygninger uten kjeller. Det kommer tydelig fram at våtflomsikring er den rimeligste metoden å flomsikre huset på.

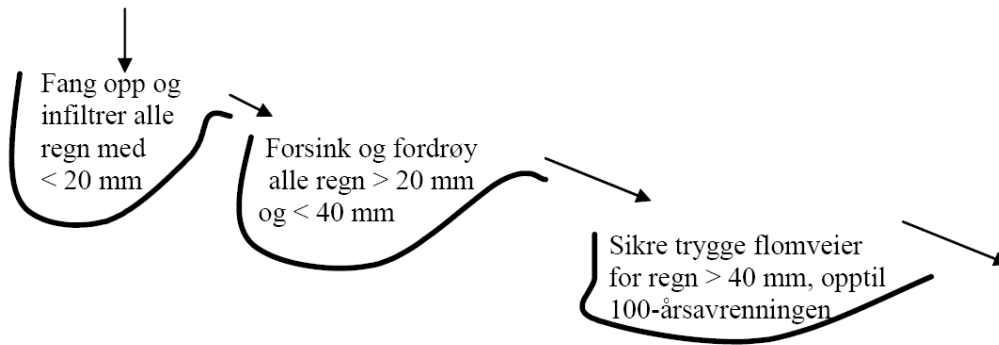
### 3.9 LOKAL OVERVANNSDISPONERING

Den økende flomproblematikken baner vei for utprøving av nye metoder og tekniske løsninger. Siden de gamle avløpssystemene ikke har kapasitet for de framtidige vannmengdene, er det nødvendig at nye utbygginger bruker LOD- metoder. LOD, eller lokal overvannsdiskonering, vil si å la vannet finne naturlige veier via infiltrasjon til grunnen og/eller renne bort via åpne vannveier og dammer. (Lindholm et al. 2005)

Hovedvisjoner for å unngå urbane flommer ved bruk av LOD metoder:

- Forebygge skader. Håndtering av overvannet for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø. Forurensing grunnet oversvømmelser skal også reduseres.
- Utnytte overvann som ressurs. Overvann har gjerne kun blitt sett på som et problem, men i de siste årene har man klart å utnytte det som en ressurs til rekreasjon og noe positivt i nærmiljøet.
- Styrke det biologiske mangfoldet. Ved blant annet bruk av infiltrasjon og åpne vannveier skal det biologiske mangfoldet fremmes.

Lokal overvannsdiskonering vil si at man ønsker å infiltrere vannet så nære kilden som mulig. Videre fokuserer man på å forsinke og fordrøye overvannet for å redusere avrenningen. Dersom dette ikke er mulig skal åpne, sikre flomveier lages i tillegg til avløpsnett. Dette forklares i figur 14 og forklares som ”treleddsstrategien”:



Figur 14: Treleddsstrategi, tallene er eksempel verdier. (Lindholm 2010c)

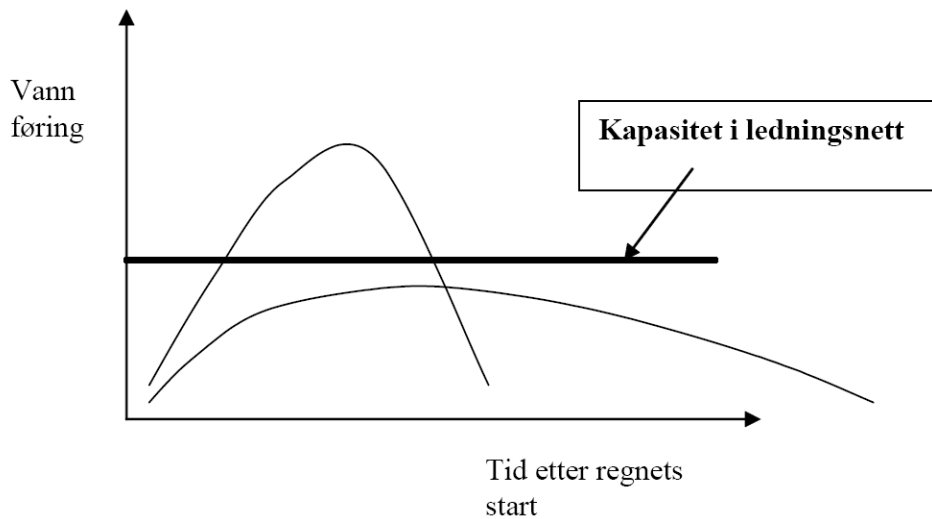
### ***Ulike former for infiltrasjon***

Overvann fra tak ledes vanligvis direkte til kommunens overvannssystem. Ved å frakoble taknedløpet og infiltrere vannet i grunnen vil man redusere tilrenningen. Dersom man har begrenset med infiltrasjonsmuligheter, kan en regntønne samle regnvannet. Grønne tak kan redusere avrenningen opp mot 50 %, og vegetasjonen består normalt av *sedumtak* som kan klare lange perioder uten å tørke ut (Lindholm 2010b).

En stor del av overvannsavrenningen kommer fra tette flater. Et alternativ kan være bruk av porøse flater, som for eksempel porøs asfalt, som slipper gjennom vann. Erfaringer viser at porøs asfalt kan fungere uten problemer i opp til 15-20 år, men burde ikke brukes der det er stor trafikk med tanke på gjentettingsfaren. (Lindholm et al. 2005)

Gresskleddede forsenkninger, kalt ”swales”, med en lett helning i avrenningsretningen vil fungere som infiltrasjon og et åpent transportsystem.

## Forsinkning og fordrøyning



Figur 15: Effekten ved å forsinke og fordrøye tilløpet til ledningsnett (Lindholm 2010c).

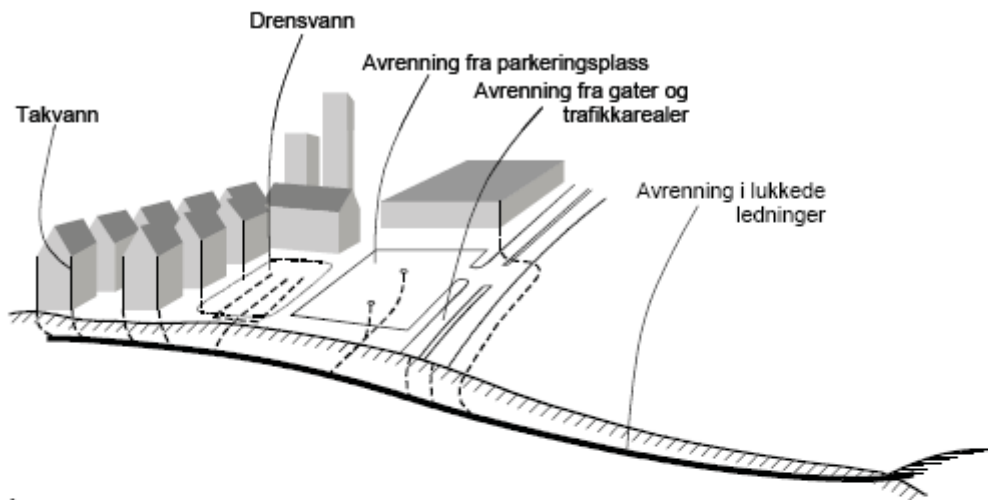
Effekten ved å forsinke avrenningen fra overvann kommer tydelig fram i figur 15. Det vil fungere som å dempe intensiteten til et regn. Fordrøyning er en midlertidig lagring av vann i et hensiktsmessig område, og en aktuell måte å skaffe fordrøyningsvolumer på er å kombinere slike arealer med områder som for eksempel ballplasser og lekeplasser. Tanken er at dette arealet sjelden brukes hvis nedbøren er så stor at det er behov for fordrøyning.

For å bremse overvannsavrenningen kan man også bruke fordrøyningsdammer med permanent vannoverflate. Dette kan være et positivt innslag i bybildet, men det er viktig med riktig utforming i forhold til sikkerhet og for å unngå algevekst. Ved anleggelse av åpne kanaler for transportering av overvannet må man for eksempel unngå for stor helning på kantene av sikkerhet og slik at man unngår erosjon.

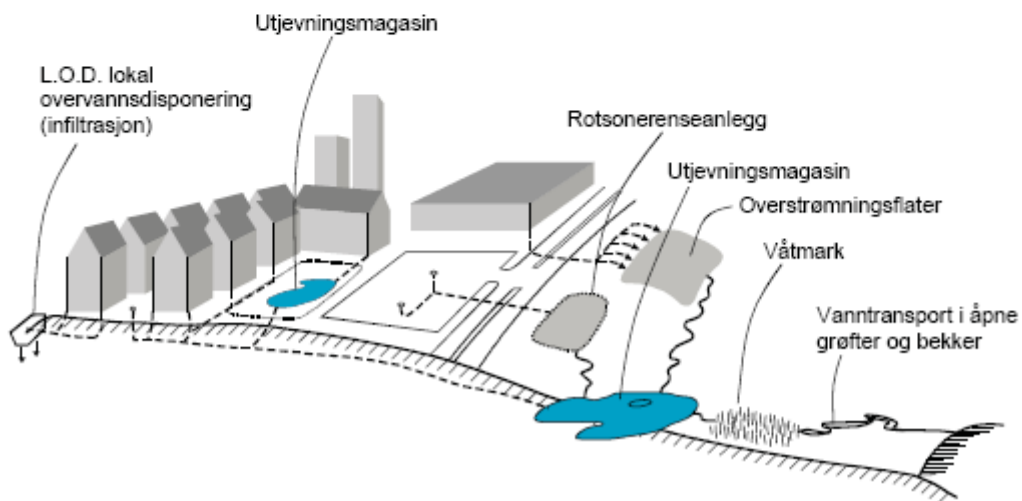
I noen tilfeller vil det lønne seg å fordrøye overvannet i rennesteinen for å redusere belastningen på ledningsnett. Dette gjøres ved å strupe gatesluk, eller ved å redusere antallet eller frakoble sluk fra ledningsnett.



### Konvensjonelt system for overvann



### Åpen og lokal håndtering av overvann



Figur 16: Konvensjonelle overvannssystemer og løsning for samme område med bruk av mer infiltrasjon og åpne løsninger (Lindholm et al. 2005).

Figur 16 illustrerer bruk av åpen og lokal overvannsdiskonering i forhold til konvensjonelle tiltak. I tabell 12 er det listet opp fordeler og ulemper ved bruk av konvensjonelle og alternative tiltak.

Tabell 12: Gunstige tiltak mot økte oversvømmelser og økte utslipp (Lindholm et al. 2007).

LOD tiltak	Fordeler	Ulemper/begrensninger
Frakobling av taknedløp	Reduserer tilrenningen til fellesnett	Kostnader for eiere, krever stort nok areal for infiltrasjon
Unngå kantstein langs kjørearealer	Dette for å la vannet i kjørefeltet ledes til grøft	Krever jordegenskaper som infiltrerer
Bruk av porøse flater	Overvannet infiltreres i grunnen	Krever jordegenskaper som infiltrerer
Våtmark	Overvannet fordrøyes	Arealkrevende
Struping av gatesluk	Reduserer toppbelastningen på nettet	Kan gi vanddammer i gatene
Anleggelse av tørre dammer, overvann sendes til offentlige arealer	Minker oversvømmelser ved at overvann fordrøyes og infiltreres i grunnen	Arealer kan ikke brukes under en flom eller før flomvannet er drenert bort
Anlegge eller øke volum i våte dammer	Minker oversvømmelser ved at overvann fordrøyes og infiltreres i grunnen	Arealkrevende
Regnbed	Infiltrerer og fordrøyer overvannet	Arealkrevende
Infiltrasjonsgrøfter eller infiltrasjonsmagasiner	Mindre oversvømmelser	Krever jordegenskaper som infiltrerer
<b>Konvensjonelle tiltak</b>		
Rehabilitering og installering større rør	Sikker løsning, lett å dimensjonere i forhold til krav.	Kostbart, krever oppgraving hvis det følger fornyelse av annet infrastruktur
Bruk av fordrøyningstanker i ledningsnett	Øker kapasiteten til nettet	Kostbart, krever oppgraving
Separering av overvann og spillvann	Reduserer overløpsutslipp	Kostbart, krever oppgraving

### 3.9.1 ÅPNE, SIKRE FLOMVEIER

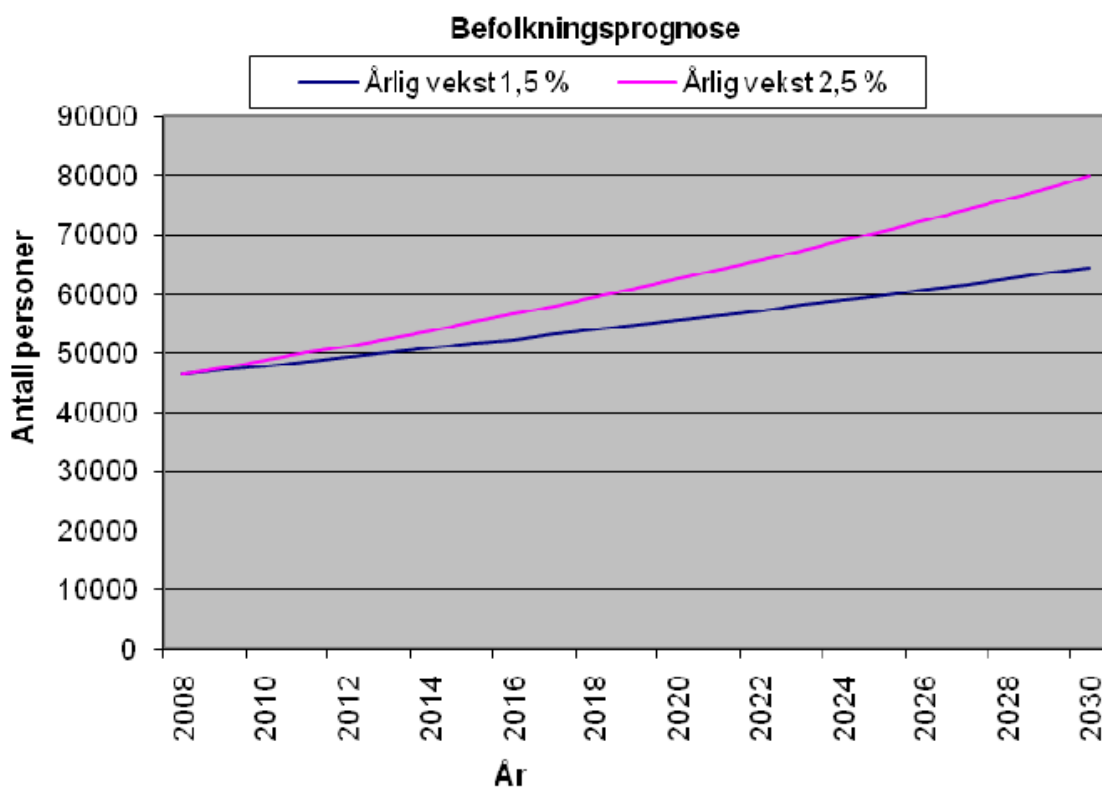
Det er umulig å bygge ut et avløpsanlegg som kan ta unna alt vann i alle tilfeller. Derfor må man planlegge åpne, sikre flomveier som vil lede vannet bort fra risikoområder slik at skader forhindres eller minimeres. For å lede vannet bort brukes fallet i terrenget, og man må sørge for at det ikke finnes hindringer eller muligheter for avsporinger på veien. Høye kantsteiner

kan gjøre gaten om til en kanal, slik at vannet ikke når fram til den omkringliggende bebyggelsen. Ved bruk av høye kantsteiner er det derimot viktig å huske nedsenkinger ved gangfelt og gatekryss slik at det ikke strider mot prinsippet universell utforming.

## 4 BESKRIVELSE CASE-SKEDSMO

### 4.1 FELTBESKRIVELSE

Skedsmo kommune ligger nordøst for Oslo, og grenser til Oslo og Lørenskog i vest, Rælingen i syd, Nittedal og Gjerdrum i nord, Sørums i nordøst og Fet i øst. Kommunens totale areal utgjør 77,2 kvadratkilometer og ligger omtrent 100 – 250 moh. Skedsmo er delt inn i seks avløpsdistrikter eller tettsteder: Lillestrøm, Kjeller, Skjetten, Strømmen, Skedsmokorset og Leirsund. Skedsmo kommune har ikke eget avløpsrenseanlegg, men er medeier i det interkommunale renseanlegget Nedre Romerrike Avløpsanlegg (NRA) sammen med Rælingen og Lørenskog. Per 2009/2010 hadde kommunen 47 565 innbyggere, men både næringsliv og bosetning i kommunen er preget av tilflytting og rask utvikling. Dette medfører en rask utvikling i innbyggertall, og i løpet av den siste tiårsperioden har det vært en økning på ca. 1000 personer per år (se figur 17). Den nye hovedplanens forutsetter en befolkningsøkning på 1,5-2 % per år, som tilsvarer 7-800 personer per år (Skedsmo kommune 2010).



Figur 17: Befolkningsprognose for Skedsmo kommune (Skedsmo kommune 2010).

Klimaendringene de senere årene har medført en økning i nedbør i kommunen. Det er da særlig en økt intensitet for regnskyll, men også en betydelig økning i totale nedbørsmengder. Den økte intensiteten gir størst utslag i overbelastning av overvannsledninger og fellesledninger, og har også her hatt store konsekvenser for antall erstatningssaker knyttet til oppstuvninger og kjelleroversvømmelser. Skedsmo kommune har som strategi å redusere overvannsmengder til kommunalt avløpsnett. Dette gjøres ved å kreve lokal håndtering av overvann ved alle nye byggesaker, bygge ut separatsystem for avløp samt å gjennomføre programmer for frakobling av takvann til avløpsnettet (Skedsmo kommune 2010).

#### *4.1.1 LILLESTRØM*

Lillestrøm er bysenteret i kommunen, og er spesielt preget av et lavtliggende, flatt terreng. Dette avløpsdistriktet består hovedsakelig av fellessystem, men de siste årene er det foretatt omlegging til separatsystem i sentrum i forbindelse med veiprosjekter og utbygging av større sentrumsbygg. Den voldsomme utbyggingen de siste årene har ført til at kommunen har vært nødt til å henge seg på de nye utbyggingene, slik at det ikke har blitt tid til å konsentrere seg om kommunaltekniske problemer i det allerede eksisterende nettet (Opheimsbakken & Vestheim 2011).

Ved utbygging ble husene i Lillestrøm bygd uten kjeller, og kombinertnettet i distriktet ble anlagt i forbindelse med etablering av boligområdene. Før krigen forbød Lillestrøm kommune huseiere å bygge kjeller, og alle hus måtte stå på påler (Gjerde 2007). Nå som kvartal for kvartal kjøpes opp, velger de fleste å bygge ut med kjeller til blant annet parkering for å utnytte areal. Noen få kjellere er bygd vanntette, men de fleste med drenering til det offentlige ledningsnettet. Når man i tillegg tar med klimaendringer og fortetting av byen ser men klart at ledningsnettet stadig blir mer overbelastet.

Ledningsnettet i Lillestrøm har tilførsel av vann fra Skedsmo, Lørenskog og Rælingen og kapasitet på ledningsnettet er åtte ganger tørrværsavrenningen (8\*500l/s). Man har allerede opplevd 5000 l/s, altså ti ganger tørrværsavrenningen, noe som høyst sannsynlig vil overgå dersom man tar bakgrunn for de tidligere nevnte faktorene. Kommunen prøver å sette krav til maks utslipp til det offentlige nettet. Alle skal dokumentere tilslippet gjerne ved bruk av vannføringsregulator. Det er også sendt ut skriv til innbyggere om frakobling av taknedløp.

Grunnforholdene i Lillestrøm består av leire og myr. Flere steder har et myrslag på en til to meter blitt drenert ut, og dette har medført setninger i terrenget. På grunn av dette opplever man at terrenget synker. De øverste grunnmassene er skiftet ut der det er bygd vei, så man har gjerne en helning fra veien til terrenget. Store bygninger er forankret til grunnen med trepeler, så her er det kun plenen utenfor husene som synker (Opheimsbakken & Vestheim 2011).

#### *4.1.2 FLOMPROBLEMATIKK LILLESTRØM*

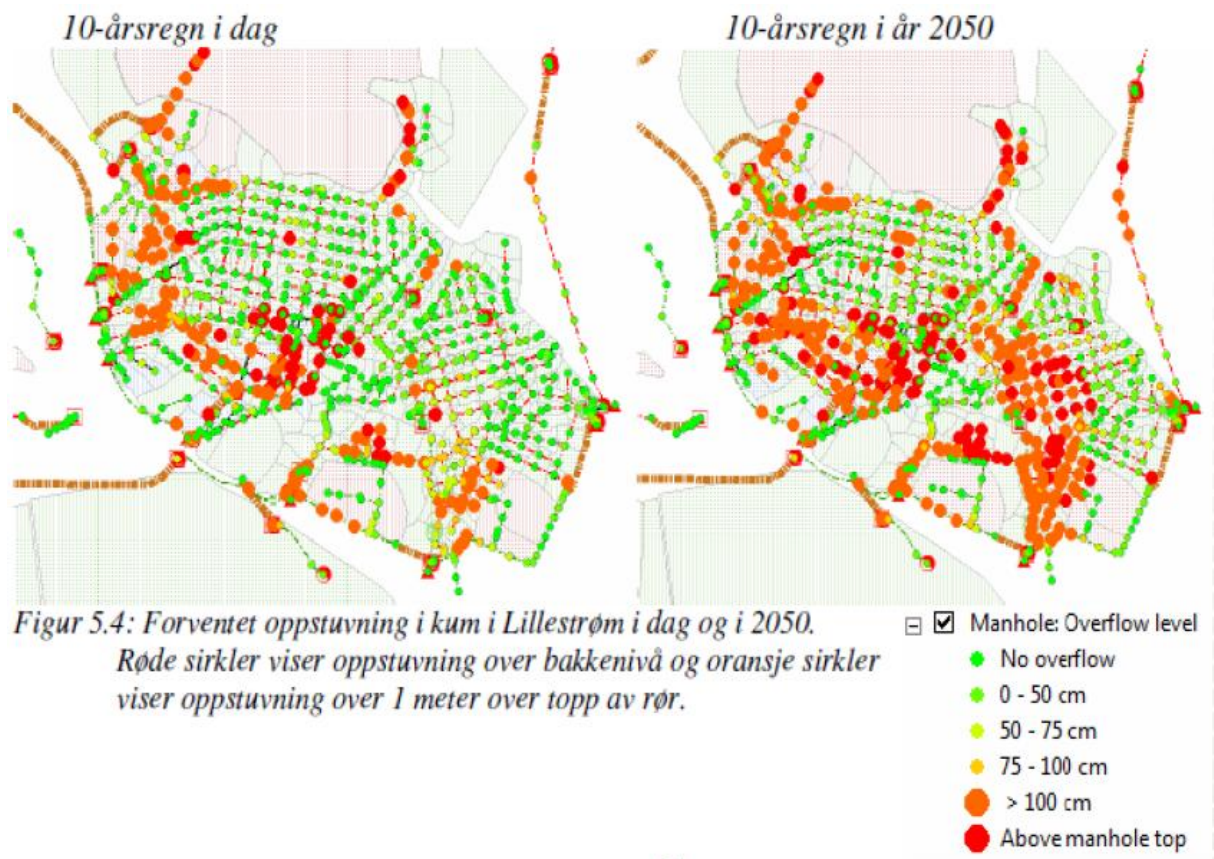
Lillestrøm har flere ganger vært rammet av flommer; i 1789 (Storofsen), 1860, 1910, 1916, 1927, 1934, 1966, 1967 og senest i 1995 (Akershusmuseet 2011). Etter storflommen i 1995 vedtok Skedsmo kommune å bygge en flomvoll langs Nitelva langs Lillestrøm. Topp av voll ble lagt på kote 106,5 meter, 0,35 meter over 500-års flommen. Det er muligheter for påbygning opp til 107,5 meter ved hjelp av sandsekker eller lignende. Flomvollen er til sammen 6,4 kilometer lang, og er inndelt i parseller. De ulike parsellene er bygd forskjellig og noen steder er flomvollen lavere med hensyn på utsikt. Her er det på en strekning på i overkant av 100 meter støpt fundamenter for AquaFence. På innsiden av vollen er det drenasjesystem med avrenning til flompumpestasjonene. Kartet i figur 19 viser flomvollen og de 14 eksisterende pumpestasjonene (markert med rødt), hvor pumpene skal ta unna vann som kommer på innsiden av flomvollen. Dette er kraftige pumper, og de er tilkoblet agregat og har en reservepumpe i tilfelle den ikke skulle fungere. Nedre Romerrike Avløpsselskap (NRA) har ansvaret for kontroll og testing av alle flomvannspumpestasjoner hvert år. Nåværende flomverk bør kunne klare en flom opp til kote 105,0. Ved varslet flom på kote 104,1 eller høyere, vil kommunen opprette beredskapssenter. Kommunen har fylt sandsekker som ligger på lager, men vil ha behov for personer utenfra for utlegging. Hver vår avholdes befaring med sjekk av vollens tilstand. Kommunen ønsker å bygge vollen til full høyde over hele, men det er en utfordring på grunn av at grunneiere ikke ønsker å miste utsikten (Opheimsbakken 2008).

Den nye VA – normen som er under produksjon har hovedfokus på de økende mengdene overvann, og det er blant annet utarbeidet nye IVF-kurver med oppdaterte nedbørsdata (Opheimsbakken & Vestheim 2011). I tillegg inneholder den krav om LOD- løsninger ved alle nye utbygginger. Her må kapasitet og avrenning dokumenteres ved beregninger (Skedsmo kommune 2010).

## 4.2 BESKRIVELSE OG ANALYSE AV UTSATT OMRÅDE

Valg av gate for flomsikring er tatt på bakgrunn av Heidi Kringstad sin masteroppgave fra 2009 "Flomskader og forurensningsutslipp i Lillestrøm. Analyse av klimaendringenes virkninger", og etter samtale med Bjørn Vestheim i Skedsmo kommune.

Med en økning i regnintensitet på 30 %, viser resultatene i Kringstads oppgave en betydelig økning i oppstuvninger over bakkenivå. Spesielt for sonen Sjøgata, som får den største økningen i oppstuvning over 0,75 meter over topp av rør fra i dag til 2050.



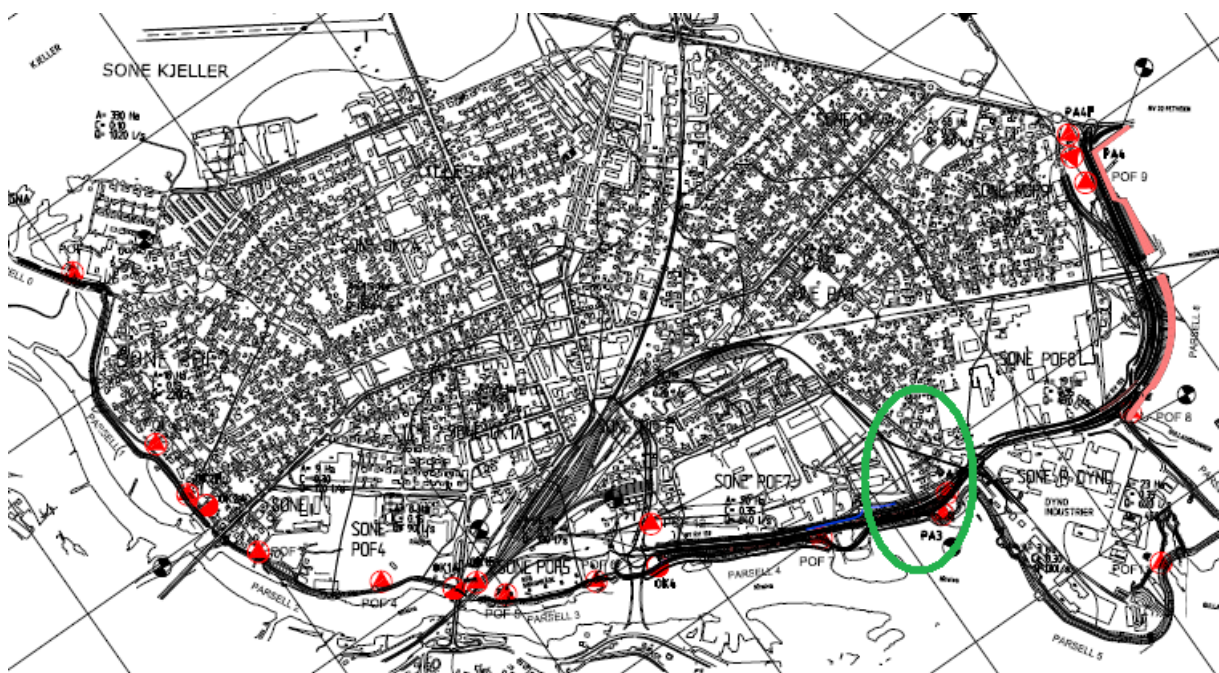
*Figur 18: Resultater fra masteroppgave (Kringstad 2009).*

Figur 18 viser økningen i oppstuvninger i avløpsnettet i Lillestrøm fra i dag til 2050. Ut i fra denne prognosen ser man at flere områder vil få problemer med urbane flommer i framtiden dersom det ikke utføres noen tiltak.

I den nye VA- normen er oppstuvningsproblemene i Lillestrøm Øst det fjerde høyeste prioriterte tiltaket. Ved prioritering av tiltaksplan for rehabilitering og fornying av

ledningsanlegg er registrerte hendelser som oppstuvning med vannskader i kjellere tillagt vekt ved prioritering av tiltakene. Tiltaket om oppgradering av pumpestasjon og ledningsnett i dårlig tilstand, samt etablere rensende overløp, vil medføre en kapasitetsøkning og en stor miljømessig kvalitetsforbedring av overløpsvannet (Skedsmo kommune 2010).

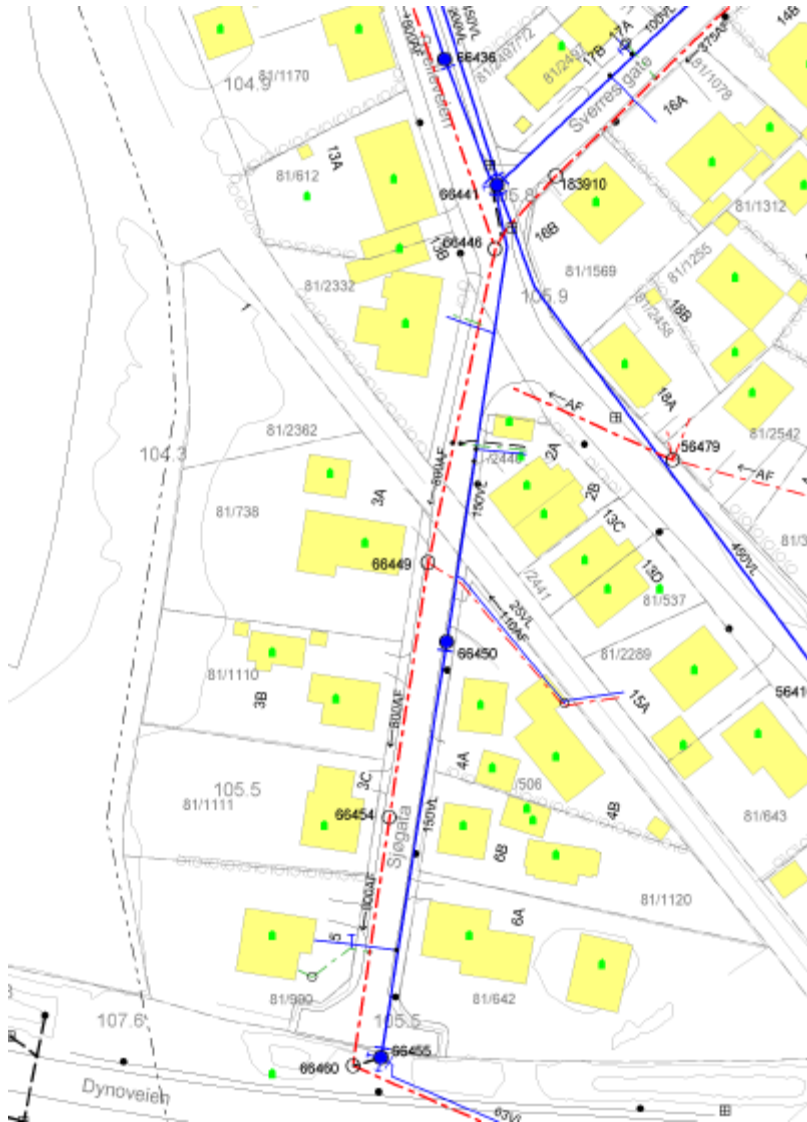
Sonen Sjøgata sliter spesielt mye med oppstuvning i ledningsnettet under kraftig nedbør. Denne sonen er 34,2 hektar, har cirka 25 % tette flater, og grenser til flomvollen. Problemet er det flate terrenget, og at de tilknyttede overløpene ikke kan senkes tilstrekkelig da dette kan medføre at Nitelva kommer inn i avløpsnettet ved høy vannstand i elva (Opheimsbakken & Vestheim 2011).



Figur 19: Kart over Lillestrøm, med plassering av flompumpene. Den grønne sirkelen viser Sjøgatas beliggenhet.

Ved valg av tiltak for flomvern ble det fokusert på Sjøgata, som er den nederste gata i sonen (se figur 19). Sjøgata går fra krysset ved Svelleveien og Sverresgate til Dynoveien i sør som vist i figur 20. Gata er preget av flatt terreng, og ligger på kote 105,5. Sjøgata og Dynoveien er avskilt med en voll med høyde på kote opp til 107,8 meter. På motsatt side av Dynoveien ligger riksvei R159, som grenser til flompumpestasjonen PA3F Sjøgata og flomvollen (Skedsmo kommune 2010).





Figur 20: Kartet viser Sjøgata med tilhørende felles- og drikkevannsnett (Skedsmo kommune 2011).

Sjøgata er den lavest liggende gata i sonen, og dersom man har en oppstuvning over bakkenivå oppstrøms er det god grunn til å anta at overvannet vil renne hit. I krysset ved Svelleveien og Sverresgate ligger det to sluk, plassert langs rennesteinene. Får man oppstuvning her, vil det renne til det laveste område som er Sjøgata.

Grunn materialet i området er av blåleire med noen innslag av siltig leire, og infiltrasjonsmulighetene er derfor dårlige. Terrenget rundt veien bærer tydelige preg av at det har sunket, og veien har en helning mot hagene, særlig mot husene på vestsiden. Ved oppstuvning over terrengnivå slik som situasjonen er nå, vil vannet renne rett til hagetomtene på denne siden. Flere av bygningene har fulgt kommunens oppfordring til frakobling av

takvann, og leder vannet på ulike måter for infiltrasjon i egen hage (se bilde 3). Alle husene i område hadde kjeller med unntak av et par. Dersom man får oppstuvninger over terrengnivå, vil inntregning av overvann i kjellerne være et reelt problem.



*Bilde 1: Sjøgata sett fra den kryssende jernbanen. Her ser man vollen i enden og hvordan terrenget har sunket. Helningen fra vei ned mot hage kommer tydelig fram.*



*Bilde 2: Sjøgata, bilde tatt fra voll*



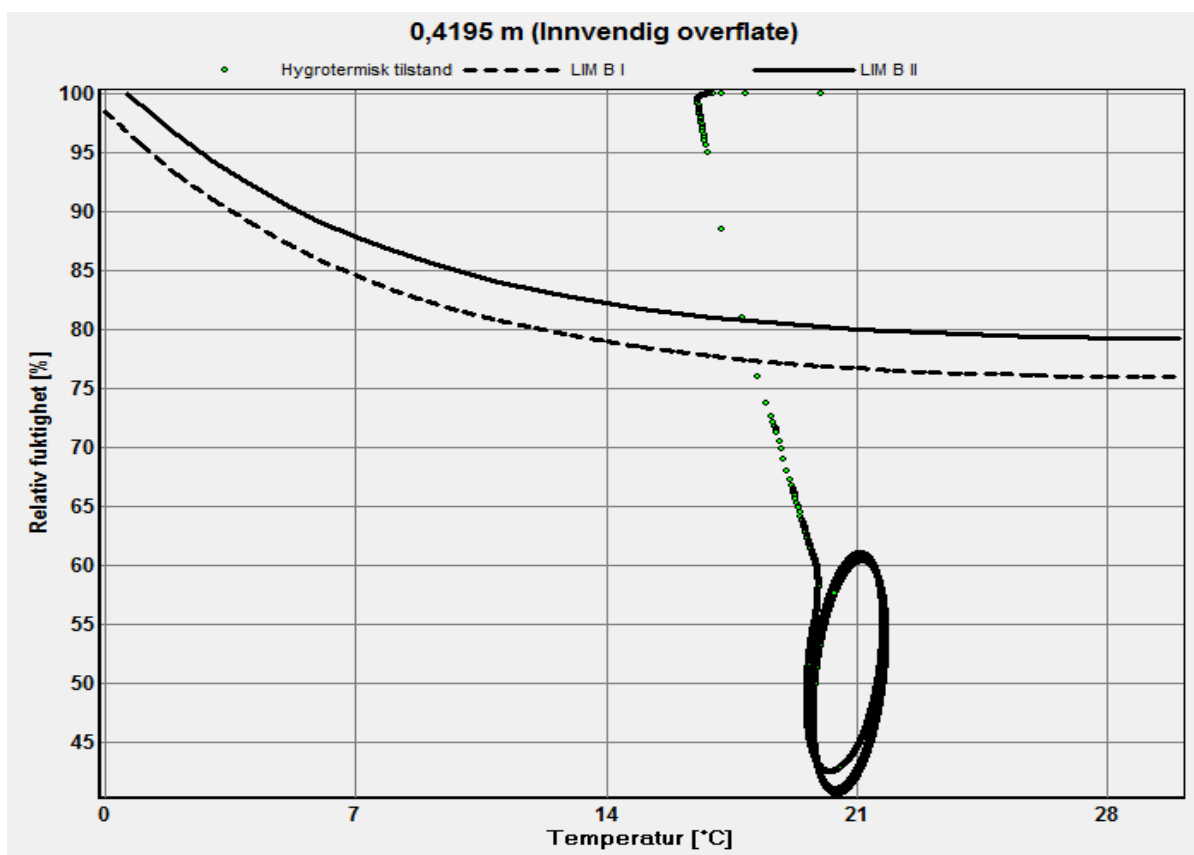
*Bilde 3: Ulike løsninger for å lede takvannet til infiltrasjon på plen*

## 5 RESULTAT SIMULERINGER

Dette avsnittet inneholder resultatene fra simuleringene gjort for de ulike konstruksjonsoppbyggingene beskrevet i avsnitt 3.3. Fremgangsmåten for å finne resultatene er vist for kun et enkelt tilfelle, da det er gjort på tilsvarende måte for de resterende tilfellene.

### 5.1 MUGGVEKST I KONSTRUKSJONENE

Det finnes flere typer bakteriell vekst, og de har forskjellige grunnlag for å vokse. I WUFI er alle typene samlet i en funksjon, som beskriver RF mot temperatur. For at det skal være mulig med bakteriell vekst er man altså avhengig av at det er varmt og fuktig nok for at bakteriene skal kunne formere seg. De tidsavhengige resultatene viser hvor mange timer det er kritisk for muggvekst ut ifra hvor mange prikker som legger seg over den heltrukne linja vist i figur 21.



Figur 21: Resultat fra simuleringer i WUFI som viser antall timer med fare for muggvekst i form av antall prikker over heltrukne linje

Antallet prikker over linja finner man ved å se hvilke timer i simuleringprosessen både den relative fuktigheten og temperaturen befinner seg over denne linja. Formel 4 viser funksjonen for linja (Sedlbauer 2001):

$$y = -3E^{-6}x^5 + 0,0002x^4 - 0,01x^3 + 0,2256x^2 - 3,174x + 101,99$$

FORMEL 4

Grafen i figur 21 varierer fra temperaturer null til 30 °C siden dette er normale temperaturer på overflaten på innsiden av bygninger. På grunn av dette er det heller ikke brukt temperaturer over 30 °C ved simulering av opptørkninger.

Tabell 13: Antall timer med fare for muggvekst

	K1	K2	K3
<b>V1: Innvendig og utvendig isolert betong</b>	0	73	51
<b>V2: Innvendig, etterisolert betong</b>	0	98	68
<b>V3: Bare betong</b>	0	30	9
<b>V4: Innvendig og utvendig isolert lettklinker</b>	0	146	84
<b>V5: Betong m/ bindingsverk i tre</b>	0	100	69

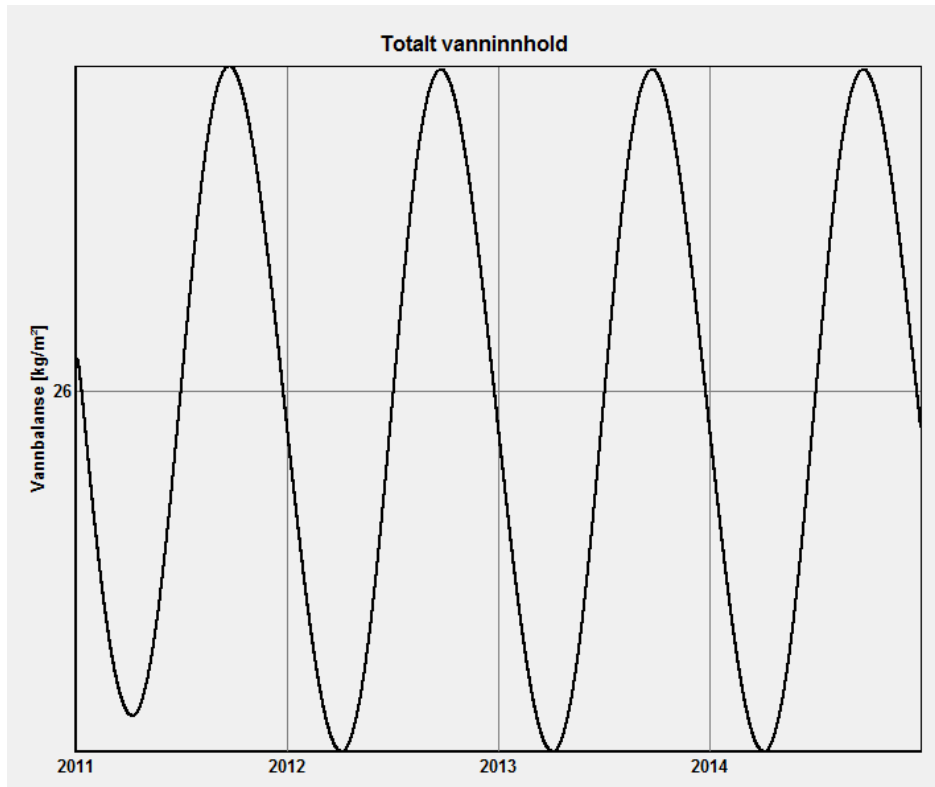
Tabell 13 viser antall timer det er fare for muggvekst i de ulike konstruksjonene. Siden man ved en flomsituasjon er avhengig av at flomvannet trekker seg tilbake, får man ikke startet simuleringene med en gang flommen inntreffer. Det kan gå lang tid før simuleringen starter, og resultatet gir derfor ikke noe klart bilde på antallet timer. Man kan derimot sammenligne de ulike veggene for å se hvilken konstruksjonsoppbygning som egner seg best i en flomsituasjon i forhold til muggvekst.

## 5.2 UTTØRKNING AV KONSTRUKSJONENE

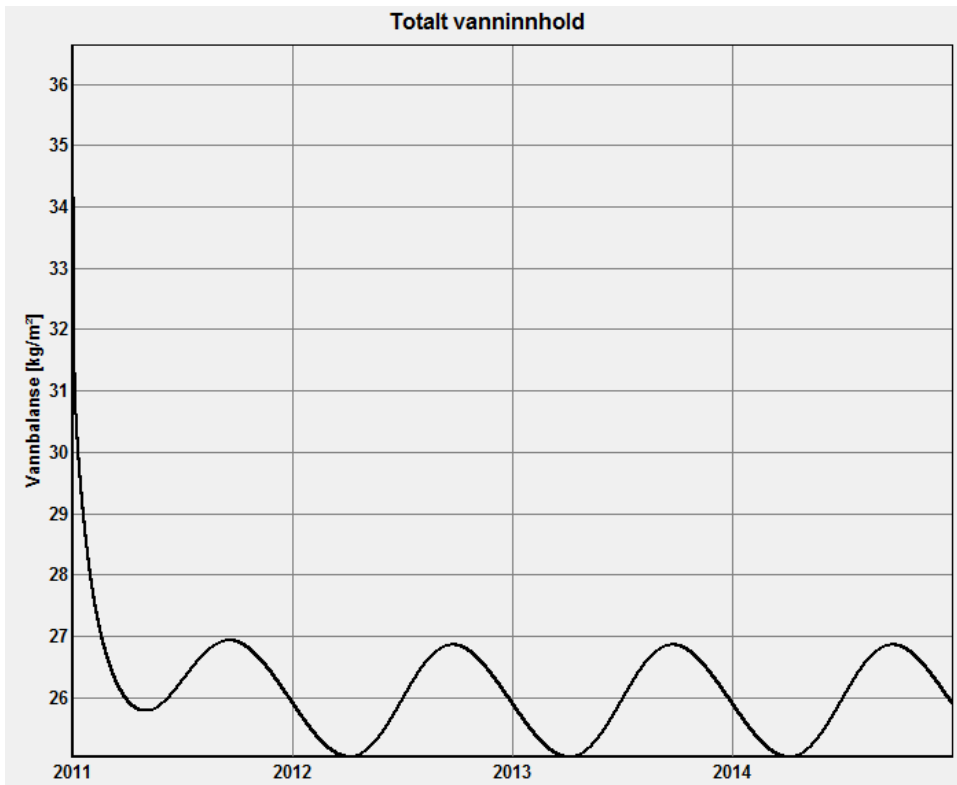
Tørketiden til konstruksjonene er den tiden det tar før hele veggen oppnår det opprinnelige vanninnholdet før flommen, altså vanninnholdet i den første klimasituasjonen.

Grafene i figurene 22-24 viser vanninnholdet i konstruksjon nummer to i alle tre klimasituasjonene. De viser vanninnholdet for konstruksjonen som ikke er utsatt for flom, og

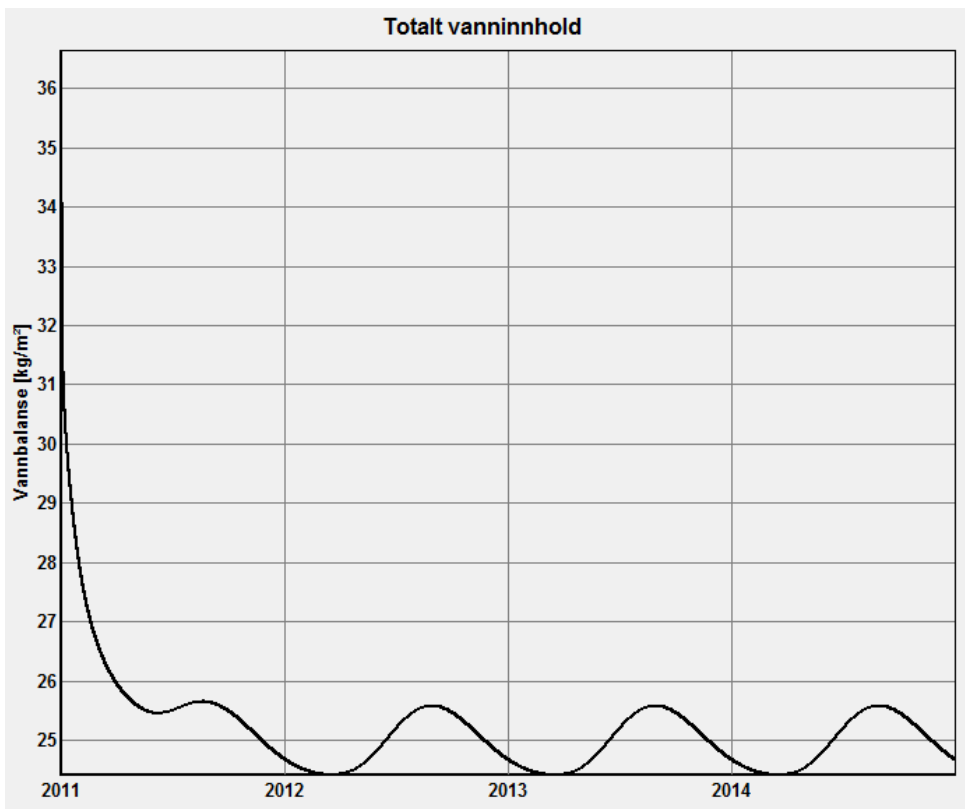
tørkeprosessen med og uten bruk av tørketeknikker. Ved å se når grafen når verdien i nullsituasjonen, kan tørketiden bestemmes. Noen konstruksjoner bruker veldig lang tid, eller oppnår aldri det samme vanninnholdet. For å ha en grense, er ikke simuleringene kjørt lenger enn tjue år. Konstruksjoner med lengre tørketid, anses som at de ikke tørker ut.



Figur 22: Vanninnholdet i klimasituasjon en



Figur 23: Vanninnholdet i klimasituasjon to



Figur 24: Vanninnholdet i klimasituasjon tre

Resultatene fra grafene for vanninnhold i de andre konstruksjonene er hentet på samme måte, og er derfor ikke inkludert i oppgaven. Verdiene for tørketid i tabell 14 er avrundede verdier, da nøyaktig avlesning av grafene er vanskelig. For klimasituasjon tre stabiliserer vanninnholdet seg på en lavere verdi enn ved de andre klimasituasjonene. Dette er fordi tørkeforholdene gir lavere fuktighet, som medfører en tørrere konstruksjon. Jeg har ikke sett på de enkelte materialene i simuleringene. Resultatet viser tørketid for hele konstruksjonen.

*Tabell 14: Hvor lang tid for å komme tilbake til nullsituasjon*

	<b>Ca. tid før konstruksjonen er tilbake til nullsituasjon uten byggtørk</b>	<b>Ca. tid før konstruksjonen er tilbake til nullsituasjon med byggtørk</b>
<b>V1</b>	>20 år	9 år
<b>V2</b>	11 måneder	9 måneder
<b>V3</b>	7 måneder	6 måneder
<b>V4</b>	6-7 år	6 år
<b>V5</b>	>20 år	>20 år



## 6 LØSNINGSMETODE CASE

Sjøgata vil potensielt være utsatt for fremtidige flomskader dersom det ikke utføres noen mottiltak. Oppstuvninger oppstrøms i nettet gjør at en utskifting til større rør i Sjøgata ikke vil forbedre situasjonen. Derfor er det sett på alternative løsninger for å håndtere overvannet.

### 6.1 TILTAK FOR Å HÅNDTERE OVERVANNET

Et stort problem i Sjøgata er at terrenget langs veien har sunket, noe som gjør det vanskelig å kontrollere overvannet ved en oppstuvning i nettet. For å unngå at det renner ned til husene kunne man ha sunket veien, noe som ville gjort det lettere å håndtere en flomsituasjon. Dette er derimot svært krevende, og vil medføre store kostnader og unødvendige problemer for beboerne. Derfor blir man nødt til å se på andre metoder for å finne den beste løsningen.

Grunnmaterialene i området gir som sagt dårlig utgangspunkt for infiltrasjon. Bruk av permeable dekker vil derfor ikke være egnet, da vannet uansett ikke vil infiltrere videre i grunnen. Det samme gjelder andre former for infiltrasjon. Hagene og de andre grønne områdene kan derimot benyttes til å fordrøye eller transportere overvannet.

På tvers av Sjøgata, fra messelokalet til hovedveien, ligger det et gammelt jernbanespor. Grunnmaterialene her er grovkornet grus og derfor egnet for å lede vann der man har tettpakket leire på hver side. Jernbanesporet kan derfor brukes som en kanal for å transportere bort overvannet.



*Bilde 4: Det gamle jernbanesporet som krysser Sjøgata på tvers.*

Tomtegrensene til bygningene på vestsiden er avskilt med busker og annen vegetasjon, og de fører til et lavereliggende område på kote 104,3. For at denne vegetasjonen skal vokse er trolig det øverste laget av leira skiftet ut med mer grovkornete materialer, noe som kan brukes til å lede vannet til det lavereliggende området mellom boligfeltet og messehallen i vest. Eventuelt kan det lages nedsenkinger eller grøfter i terrenget. Nederst i dette område lå det under befaringen en dam av oppsamlet smeltevann fra de siste dagene. I bunnen av dammen er det et sluk som fører vannet over til flompumpestasjon PA3F (langs flomvollen). Snuplassen nederst til Sjøgata har også vegetasjon på begge sider som kan brukes til å fordrøye eller lede vannet til det ubebygde, lavtliggende område for fordrøyning.



*Bilde 5: Ubebygde, lavtliggende område vest for Sjøgata med muligheter for fordrøying av overvann*



*Bilde 6: Vegetasjon på tomtegrensene som kan brukes til å transportere overvann*

Utfordringen vil være å lede vannet til vegetasjonen på tomtegrensene eller til jernbanesporet. Det kan virke som at det engang har vært grøfter langs veiene, men at disse har forsvunnet helt når terrenget har sunket. En løsning kan være å lage nye grøfter, slik at man for ledet

vannet til flomveiene og forhindre at det renner til kjellerne. Disse grøftene kan eventuelt dekket delvis eller helt med grovkornede materialer slik at transportkapasiteten opprettholdes, men at det samtidig ivaretar sikkerheten slik at ingen faller eller kjører ned i grøfta. Av estetiske årsaker kan denne løsningen også være aktuell, siden grøftene vil måtte være forholdsvis bratte på grunn av arealbegrensninger. Innkjørslene til eiendommene er et større problem. I de eksisterende innkjørslene er leira dekt av et gruslag. En mulighet vil være å legge inn en stikkrenne som rør under innkjørsel som kan motstå trykket fra kjøretøy. Røret dekket tilslutt med for eksempel grus for å holde det på plass.

## 6.2 STRATEGI FOR FLOMVERN AV BYGNINGER

Vanligvis vil LOD- tiltakene håndtere en 30-års flom (Zevenbergen et al. 2011). Løsningsmetodene nevnt i forrige underavsnitt vil derfor trolig ta unna en viss mengde vann, men ved større flommer vil vannet tilslutt nå bygningene. Da er det viktig at de er konstruert for å tåle en flom. Ved valg av flomvernstrategi for de enkelte bygningene er det flere ting som spiller inn.

Det er begrenset med areal i hagene rundt husene, så man må se bort i fra arealkrevende metoder som permanente flomvoller og diker. Det er uansett ikke snakk om noen store flomdybder, så det vil ikke være aktuelt med flytende konstruksjoner eller bygninger på høye peler. Det er viktig med et helhetlig byområde, og bygninger kan ikke skille seg for mye ut i fra nærmiljøet. Derfor vil det uansett ikke være aktuelt å flomsikre en bygning på en måte som medfører store estetiske forandringer. Av den grunn vil de mest aktuelle strategiene for flomvern av bygningene være våt- eller tørrflomsikring.

For bygningene uten kjeller kan tørrflomsikring være et riktig valg, da lave flomdybder kan begrense kostnadene ved valg av denne metoden. Der det er kjeller vil det derimot bli meget kostbart med utskifting til vanntette materialer og det vil medføre risiko for strukturelle skader. For disse bygningene vil derfor våtflomsikring eller en kombinasjon av de to egne seg best. Utskifting til flomskaderesistente materialer i allerede innredde kjellere kan være kostbart, men som sagt tidligere vil til og med små tiltak ha en skadereduserende effekt. Ved å flytte verdifulle gjenstander og alle elektriske artikler over antatt flomnivå, vil det ha en stor innvirkning på skadebildet.

## 7 DISKUSJON

### 7.1 KOMMENTARER TIL SIMULERINGENE

Alle de fem konstruksjonsoppbyggingene fungerer godt under normale forhold, men de reagerer svært forskjellig i en flomsituasjon. Betongveggen med bindingsverk av tre, viser virkningen av å plassere organiske materialer ved siden av betongen. I tabell 13 ser man at denne konstruksjonen har det klart høyeste antall timer med fare for muggvekst, noe som forklarer hvorfor man skal følge retningslinjene å unngå denne kombinasjonen uten mellomliggende isolasjon.

Resultatene viser også en tydelig forskjell på betongkonstruksjonen med isolasjon på begge sider og den som kun er etterisolert på innsiden. Ytterveggen isolert på innsiden har klart større risiko for muggvekst enn den samme veggen av bare betong. Med byggtørk har den nesten åtte ganger flere timer med grunnlag for muggvekst. På en betongvegg vil det i tillegg være enkelt å oppdage en eventuell bakteriellvekst, mens dersom veggen er etterisolert på innsiden vil det være vanskeligere siden betongveggen skjules av isolasjonen.

Konstruksjonen av lettklinker, eller Leca, har ut ifra resultatene det største potensialet for muggvekst. Dette er som nevnt tidligere den eneste konstruksjonen som oppfyller alle retningslinjene for å unngå fuktproblemer, så det er grunn til å tro at materialvalget er årsaken til det fravikende resultatet. Leca har flere porer enn betongen, noe som medfører større overflate for vannet å renne gjennom og flere steder for bakterier å feste seg. Leca brukes også blant annet i vannrensing som biologisk filter. Det fungerer ved at det vokser en biofilm på Leca-partiklene som fanger opp bakterier slik at vannet renses (Lindquist 2003). Leca-blokkene kan trolig fungere tilsvarende i en flomsituasjon, og kan være en forklaring på resultatet av simuleringene.

Effekten av byggtørk er omtrent den samme for alle konstruksjonene, og vil redusere antall timer med grunnlag for muggvekst. Det samme gjelder for tørketiden, vist i tabell 14.

Tiden før konstruksjonene er tilbake til den opprinnelige situasjonen varierer veldig for de ulike ytterveggene. Betongveggen tørker raskt ut, det samme gjør den etterisolerte veggen. Isolasjonen her er kun 50 millimeter tykk, som er en fordel med tanke på fuktproblemer.

Veggen vil derimot ha problemer i forhold til varmeisolering, da den ikke oppfyller krav til u-verdi i byggeforskriftene.

Den lange tørketiden til konstruksjonene 1 og 4 med isolasjon på både utsiden og innsiden er det mest overraskende resultatet. Disse to ytterveggene tilfredsstillt krav til u-verdi, men med mer enn tjue år tørketid vil si det samme som at de muligens aldri vil komme tilbake til sin opprinnelige situasjon. Selv om grunnlaget for muggvekst kun er til stede noen få dager, vil en fuktig konstruksjon likevel bidra til et dårlig innemiljø. Det kunne vært interessant å se en simulering av tørketiden for et passivhus. Med tykkere isolasjon og flere tette sjikt, vil en slik konstruksjon sannsynligvis aldri tørke ut, selv med bruk optimale tørkemetoder.

### *7.1.1 USIKKERHETER VED SIMULERINGER*

Hva som er akseptabel tørketid er vanskelig å si. Skadeomfanget ved en flomskade avhenger av flere ting, blant annet om konstruksjonen har vært utsatt for tidligere vannskader.

Usikkerheten i resultatene er også stor. Klimadata er definert som sinusfunksjoner eller konstante verdier. I virkeligheten beskriver ikke en slik kurve alle temperaturforhold, og er av den grunn en kilde til usikkerhet i resultatene. Unøyaktighet ved avlesning av grafene ved bestemmelse av tørketiden er også en kilde til usikkerhet. Dette gjelder også avrunding av de avleste verdiene. Resultatene i tabell 13 og 14 inneholder derfor en del usikkerhet, men siden det er brukt samme klimadata og avlesningsmetode for de ulike konstruksjonene, har jeg derfor valgt å benytte resultatene for å sammenligne de ulike ytterveggene.

## 7.2 HÅNTERING AV OVERVANN

Klimaendringene og fortettingen av de urbane områdene forsterker hverandres skadelige virkninger. Avløpsnettet er allerede overbelastet, og for at vi skal kunne leve med den økende avrenningen er man nødt til å ta i bruk nye, alternative løsninger for å redusere tilrenningen til nettet. Det er viktig å gjøre noe med overvannet før det blir et problem, altså før det når avløpsnettet.

Problemet i den utvalgte gata i Lillestrøm kommer ikke fra avrenning i dette området, men fra oppstuvninger oppstrøms i nettet. Avrenning fra resten av byen er grunnen til oppstuvningene,

og derfor er det viktig å se på disse områdene for å løse oppstuvingsproblemet i Sjøgata. Selve sentrum i Lillestrøm er omgitt av flere grønne områder, og det vil derfor være gode muligheter for å lede vannet bort til områder egnet for infiltrasjon eller da spesielt fordrøyning. De fleste bygningene i sonen Sjøgata er eneboliger eller rekkehus, hvor de aller fleste har egen hage. Hagene kan brukes til fordrøyning av overvannet og noe vann vil også infiltrere i grunnen, for eksempel gjennom sprekker i leira. Anlegging av regnbed er en mulighet for å samle opp enda mer vann, og vil være et pent innslag i hagen dersom det er gjort riktig. Enkle tiltak som frakobling av taknedløp eller bruk av regntønner kan også redusere vannmengden i ledningsnettets kraftig.

Konvensjonelle tiltak som separering av overvann og spillvann krever oppgravinger som vil gi både økonomiske og estetiske innvirkninger for nærmiljøet. For sonen Sjøgata vil dette medføre oppgraving av hager og gårdsplasser, noe som vil være synlig i lang tid etterpå.

### 7.3 UTFORMING AV BYGNINGER

For å redusere flomskadene på bygningene burde man fokusere på:

1. Bruke aktuelle LOD- tiltak for å redusere og forsinke flomvannet
2. Ha godt fungerende flomvarsling og flomberedskap
3. Forbedre bygningens motstand mot flom ved å benytte en av de omtalte flomvernstrategiene
4. Flytte utsatt kapital og verdifulle gjenstander over antatt flomnivå

I de tilfeller hvor avrenningen overgår kapasiteten til tiltakene for overvannshåndtering, vil vannet nå bygningene. Derfor må man også fokusere på utforming av bygninger for å oppnå bedre motstandsdyktighet mot flom.

Som nevnt i løsningsmetoden for gata i Lillestrøm, vil våt- og tørrflomsikring være de mest aktuelle strategiene for flomvern i urbane områder. Man ønsker et helhetlig byområde, og strategier som innebærer å løfte konstruksjonen egner seg ikke da. Samtidig vil en forhøyet inngang stride mot prinsippet om universell utforming. I følge Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven fra 1. juli 2010 skal byggverk for publikum og arbeidsbygning være universelt utformet. Dette innebærer et trinnfritt inngangsparti (Lovdata 2010).

Permanente flomvoller og diker er for arealkrevende til å benyttes i urbane områder, men kan beskytte mot elveflom slik som flomvollen i Lillestrøm. Semi- permanente eller midlertidige flomvegger kan derimot brukes, men siden dette er forholdsvis kostbart og krever god flomvarsling og tilgjengelig flomberedskap vil det ikke være mulig for alle tilfeller. Spesielt verdifulle eller betydningsfulle bygninger kan beskyttes på denne måten for å unngå at flomvannet når bygningen. Et eksempel på dette er installering av AquaFence for å beskytte et TV og radio- studio i Oslo (Bjerkholt & Lindholm 2007).

Det er ingen bærekraftig løsning å sende vannet videre. Dersom et hus lages vanntett vil det kun sende vannet, altså problemet, videre. Våtflomsikring av en bygning vil være med på å dempe flomtoppene, og vil være en mye mer bærekraftig løsning. Ved å bygge vanntette hus kan det også gi en falsk trygghet. Skader kan fortsatt skje selv om huset ikke er konstruert for å bli berørt av flom, og man burde derfor være forberedt.

Dersom det er snakk om et eksisterende bygg vil det være forholdsvis kostbart å bytte ut til flomskaderesistente materialer. Ved nye utbygginger viser den økonomiske analysen i avsnitt 3.8.1 at våtflomsikring av bygningen er mye rimeligere enn å gjøre den vanntett. For nye utbygginger i områder med flomrisiko vil derfor våtflomsikring være den mest aktuelle strategien hvis man vil bygge bærekraftig og økonomisk.

#### 7.4 ET SAMFUNN FORBEREDT PÅ URBAN FLOM

Kunnskap om de tekniske løsningene er tilgjengelig i Norge i dag, men godt utviklede teknikker vil ikke veie opp mot et dårlig varslingsystem eller utilstrekkelige planer for håndtering av en flomsituasjon.

Flomvernstrategiene brukt internasjonalt er bygd for andre forhold enn de vi har i Norge. Bygningene her til lands er konstruert tette og med tykk isolasjon på grunn av de lave temperaturene vinterstid. For å kunne våtflomsikre en bygning, vil det være utfordrende å finne fullstendig flomskaderesistente materialer som i tillegg vil opprettholde krav til varmeisolering. De tykke og tette konstruksjonene her i landet, har vanskelig for å tørke opp i forhold til de enkle konstruksjonene man blant annet har sørover i Europa. På bakgrunn av simuleringene ser man tydelig at det tar lang tid før de tette konstruksjonene tørker opp. Bygningsutviklingen i dag strider på mange områder med flere aktuelle flomvernstrategier.



Stadig strengere krav fra byggeforskrifter til maksimal u-verdi vil trolig forverre skadebildet. Passivhus, eller lavenergihus, er ekstra tette og isolerte og vil medføre en svært vanskelig og komplisert tørkeprosess. Slike hus er energibesparende, men dersom et passivhus rammes av flom vil i verste fall utskifting av hele konstruksjonen bli mye mer kostbart enn energiutgiftene som ble spart. Prinsippet om universell utforming krever terskelfrie innganger, og ved planlegging av flomveier medfører det problemer ved utforming av gater til kanaler for å lede flomvannet.

Alt i alt er det gjerne økonomien som styrer samfunnet. I tillegg til økonomisk gevinst i forhold til passivhus er det også et relevant spørsmål for utbygging av kjeller. Urbaniseringen gjør at boligprisene i byene øker, noe som gjør det mer lønnsomt med innredet kjeller. Dersom kjellerne blir flomskadet kan sluttresultat bli dyrere enn pengene som var tjent på å ha kjelleren. For å ta det på et lavere nivå kan man fokusere på personlig økonomi. Skedsmo kommune sendte ut et skriv til innbyggerne om frakobling av takvannet. På utferden til Sjøgata viste det seg at flere hadde fulgt oppfordringen fra kommunen, men trolig langt fra alle. Ved å innføre krav eller gi enkeltpersoner belønning for bruk av LOD- tiltak, vil sannsynligvis flere gå til handling for å gjennomføre oppfordringen. Flere steder internasjonalt finnes klare regler for håndtering av overvann. I Tyskland gir byer bøter til de som er tilkoblet fellessystemet, og på den måten bidrar til økt bruk av LOD. Et annet eksempel er fra Dresden hvor grunneiere må betale rundt 1,60 euro per kvadratmeter med uporøs overflate, med mindre avrenningen føres til en flate for infiltrasjon (Zevenbergen et al. 2011).

Innboforsikringer dekker brann-, vann- og tyveriskader samt andre typer uforutsette skader (Gjensidige 2011). Prognosene for skadeutviklingen omtalt i avsnitt 3.6 viser en enorm økning i vær-relaterte skader i framtiden. En slik prognose på fremtidens skadebilde vil gjøre det vanskeligere å bevise at vannskaden var uforutsett. Dersom man bor i et flomutsatt område vil det av den grunn kunne bli vanskelig å få penger tilbake på forsikringen ved vannskader som skyldes urban flom. I områder med risiko for flom burde det derfor vurderes og ikke innrede til oppholdsrom i kjelleren da dette vil forverre skadebildet kraftig.

I følge resultatene i avsnitt 5.2 har ytterveggen av bare betong den klart laveste tørketiden, men ut i fra resultatene vil det likevel ta et halvt år før den er tørr. I et område med hyppige flomhendelser kan en slik konstruksjon også medføre et dårlig inneklima. Ved nye

utbygginger er det derfor viktig å se på flomrisikoen, og eventuelt la være å bygge kjeller dersom risikoen er stor.

Simuleringene viser at bruk av riktige materialer er helt avgjørende for skadebildet. For de utvalgte konstruksjonsoppbygningene egner ikke lettklinker seg i kjellerkonstruksjoner i flomutsatte områder. Usikkerheten i resultatene er derimot store, og siden det er fokusert på hele yttervegger og ikke de enkelte materialene, vil ikke dette resultatet være gjeldende i alle sammenhenger.

For øyeblikket finnes det ingen krav for bruk av flomskaderesistente materialer i Norge. Det eksisterer ikke noe forbud mot utbygging i områder med høy flomrisiko, og samme hvor høy denne risikoen er, vil det uansett være mulig å få bygget forsikret. Internasjonalt finnes det, som nevnt tidligere, flere steder med krav for utbygging i flomrisikosoner. Med den ekstreme økningen i vannskader og prognosene for utviklingen av vær-relaterte skadehendelser her i landet, kan man tenke seg at Norge vil følge etter og det vil komme regler eller krav etter hvert.

Prosjektet "Framtidens byer" er et samarbeid mellom staten og de 13 største byene i Norge. Det fokuserer på å redusere klimagassutslippene og gjøre byene bedre å bo i. Flere grønne områder, åpne bekker og samarbeid for kartlegging av flomveier i urbane områder er noen av målene for prosjektet (Regjeringen 2011). Gjennom et slikt prosjekt vil man kunne oppnå det samarbeidet som er nødvendig for å oppnå et mer bærekraftig samfunn.

Samarbeid mellom det offentlige, næringslivet og private er avgjørende for å oppnå et samfunn som er bedre forberedt på urbane flommer. Igangsetting av skadeforebyggende tiltak skjer ikke over natta. Det er en langvarig prosess som krever samarbeid og forandringer. Interessen for klimaendringene er stor. Likevel er ikke alle klar over hvilke skader urbane områder kan utsettes for ved flom. Mange har vanskelig for å se for seg at man kan bli rammet av flom selv, og derfor velger de en rimeligere løsning og tar problemet når det kommer. God og tilgjengelig informasjon er nødvendig for å få folk beviste på de forandringene vi står ovenfor, og hvilke betydninger det har for fremtiden.

## 8 KONKLUSJON

### 8.1 KONKLUSJON

EUs flomdirektiv vil høyst sannsynlig bli gjeldende i Norge snart, noe som medfører krav til kartlegging av flomrisiko og planlegging av skadereduserende tiltak. Bruk av alternative løsninger for håndtering av overvann er nødvendig med tanke på den økende overflateavrenningen og det fremtidige skadebildet. I tillegg vil man være nødt til å gjøre bygninger mer motstandsdyktige i forhold til urban flom for å redusere omfanget av skader. Valg av flomvernstrategi bør skje på bakgrunn av flomrisikoen i det aktuelle området.

Ved nye utbygginger bør det vurderes å bygge uten kjeller dersom flomrisikoen er stor eller hvis grunnvannet står høyt. Det samme gjelder ved innredning av oppholdsrom i kjeller.

Tekniske løsninger er derimot ikke nok for å oppnå et samfunn som er mer motstandsdyktig mot urbane flommer. For å bli bedre rustet for fremtiden krever urbant flomvern også et helt nytt tankesett i forhold til utforming og styring av byene. Aspekter som arealbruk og utforming av boliger må integreres i politikken for å oppnå ønsket resultat.

For at flomrisikokartleggingen skal tas hensyn til, er det nødvendig å få den inn i reguleringsplanene. De tekniske løsningene er tilgjengelige, men siden det finnes få krav i forhold til utførelse velger mange å benytte konvensjonell teknologi. Ved å definere noen krav eller fokusere på økonomi, enten i form av belønning eller bøter, kan det føre til handling og bruk av mer alternative og bærekraftige løsninger.

### 8.2 FORBEDRINGER

Oppgavens tema er svært omfattende, noe som har medført en rekke avgrensninger. Av tidsmessige årsaker har det vært nødvendig og la være å fokusere på flere aktuelle områder som for eksempel risikokartlegging.

For case- studiet kunne løsningsmetoden inneholdt flere forslag til løsninger, og det kunne vært gitt en bedre og mer nøyaktig beskrivelse av disse tiltakene.

Usikkerheten i simuleringene kunne vært begrenset ved og blant annet definere klimasituasjonene bedre. Avlesningen fra grafene kunne også vært mer nøyaktig.

I denne oppgaven kunne man ha sett nærmere på erfaringer fra flomskader i Norge. Dette ville gjort det mulig å sammenligne resultatene i oppgaven med noe reelt. Tiltakene for å oppnå mer motstandsdyktige urbane miljøer som er nevnt i diskusjonen kunne i tillegg vært illustrert og sammenlignet med flere eksempler.

### 8.3 VIDERE ARBEID

En endelig konklusjon i forhold til valg av materialer i flomutsatte områder krever videre og mer inngående arbeid. På bakgrunn av resultatene i simuleringene ville det derfor vært ønskelig å se på ulike materialer, og hvordan de fungerer i en flomsituasjon under norske forhold. På den måten kunne det vært mulig å få en oversikt over hva som kan regnes som flomskaderesistente materialer her til lands, og hva man burde unngå i bygninger i flomutsatte områder.

I tillegg ville det vært veldig interessant å se hvordan et passivhus reagerer dersom det blir utsatt for en flom.

Valg av flomvernstrategi for bygningene i Sjøgata kunne vært mer inngående og detaljert. På grunn av tidsbegrensninger ble det ikke mulighet til å se på konstruksjonsoppbygningen til hver enkelt kjeller. Gjennom å skaffe denne informasjonen ville det vært ønskelig å se om det er gjennomførbart å våtflomsikre en slik bygning.

## 9 REFERANSER

- Akershusmuseet. (2011). *Flom*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.akersmus.no/?mid=259&pid=209> (lest 15.04.2011).
- AquaFence. (2010). *En ny generasjon flomvern*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.aquafence.com/norway/index.html> (lest 27.04.2011).
- Bjerkholt, J. & Lindholm, O. (2007). An Innovative Semi-permanent Flood Protection Structure- Alternative to Sandbags and Supplements to Conventional Earth Embankments. I: Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A. & Zevenbergen, C. (red.) *Advances in Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis.
- Blom, P. & Holøs, S. B. (2008). *Moisture Content in Insulated Basement Walls*. Nordic Symposium on Building Physics, Copenhagen, s. 6 s.
- Brunborg, H. & Texmon, I. (2009). Fortsatt sentralisering. Regionale befolkningsframskrivninger 2002-2020. *SSB*.
- Byggforsk. (1993). 520.055 Vanntette betongkonstruksjoner under grunnvannsnivå. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (1997). 700.119 Fukt i bygninger. Uttørking. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (1998). 514.221 Fuktsikring av bygninger. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (2001). 220.300 Universell utforming, utforming som passer alle. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (2002). 727.113 Innredning av oppholdsrom i eksisterende kjeller. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (2005). 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (2007a). 471.014 U-verdier. Bygningsdeler under terreng. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (2007b). 471.023 Energikrav til bygninger. Omfordeling av varmetap. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Byggforsk. (2007c). 523.111 Yttervegger mot terreng. Varmeisolering og tetting. *Byggforsk kunnskapssystemer*.
- Douglas, I., Kobold, M., Lawson, N., Pasche, E. & White, I. (2007). Characterisation of Urban Streams and Urban Flooding. I: Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A. & Zevenbergen, C. (red.) *Advances in Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis.
- Edvardsen, K. I., Ramstad, T. Ø. & Haug, T. (2006). *Trehus*. Håndbok, b. 53. Oslo: Instituttet. 333 s. s.
- European Parliament and the Council. (2007). *Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks*. Strasbourg.
- FEMA. (2008). *Flood Damage- Resistant Materials Requirements for Buildings Located in Special Flood Hazard Areas in accordance with the National Flood Insurance Program*. FEMA (red.).
- FEMA. (2009). *An Overview of the Retrofitting Methods*. library, F. (red.). Homeowner's guide to retrofitting. Six ways to protect your home from flooding.: FEMA.
- Garvin, S. & Kelly, D. J. (2007). Flood Repair Standards for Buildings. I: Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A. & Zevenbergen, C. (red.) *Advances in Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis.
- Gjensidige. (2011). *Innbo Avant*. I: forsikring, G. (red.). Tilgjengelig fra:  
<https://www.gjensidige.no/Privat/Organisasjonsmedlem/KOL/Innbo-Avant> (lest 12.05.2011).

- Gjerde, L. (2007). Vannveiene i Skedsmo. Tilgjengelig fra: <http://www.naturveilederne.no/Vannveiene%20i%20Skedsmo.pdf>.
- Haug, O., Dimakos, X. K., Vårdal, J., Aldrin, M. & Meze-Hausken, E. (2009). Future building water loss projections posed by climate change *Norwegian Computing Center Gjensidige Insurance*.
- Hinnerichsen, M. (2011). *Personlig meddelelse*. <http://www.wufi-pro.com/>. (2010). *Introduction WUFI*.
- Kringstad, H. (2009). *Flomskader og forurensningsutslipp i Lillestrøm. Analyse av klimaendringenes virkninger*. . Ås: Universitetet for miljø og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., SINTEF & Jakobsen, G. (2005). Veiledning i overvannshåndtering. *NORVAR-rapport*. 46 s.
- Lindholm, O., Nie, L. & Bjerkholt, J. (2007). Klimaeffektens betydning for oppstuvninger og forurensningsutslipp fra avløpssystemer i byer. 78.
- Lindholm, O. (2010a). *Forelesningnotat fra THT300 Vassdragsplanlegging og VA-systemer, "Helhetlig urban flomplanlegging"* Upublisert manuskript.
- Lindholm, O. (2010b). *Forelesningnotat fra THT300 Vassdragsplanlegging og VA-systemer, "Lokal håndtering av overvann og åpne overvannsløsninger"*. Upublisert manuskript.
- Lindholm, O. (2010c). *Urban flom- Økning i flomskader og utslipp. Mulige kompenserende tiltak*. 33 s. Upublisert manuskript.
- Lindquist, A. (2003). *About water treatment*. Helsingborg: Kemira Kemwater.
- Lovdata. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift)*
- Manojlocic, N. & Pasche, E. (2007). FloReTo - Web Based Advisory Tool for Flood Mitigation Strategies for Existing Buildings. I: Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A. & Zevenbergen, C. (red.) *Advances in Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis.
- Mattsson, J. & Stensrød, O. (2009). *Håndbok om vannskader: årsak, undersøkelser, tiltak og gjenoppbygging*. Oslo: Mycoteam. 223 s.
- Neverdal, S. (2011). *Frostskader for en milliard kroner i fjor*: FNO- Finansnæringens Fellesorganisasjon.
- NVE. (2009). *EUs flomdirektiv*. Tilgjengelig fra: <http://nve.no/no/Flom-og-skred/Flomdirektivet/>.
- NVE, N. v.-o. e. (2009). *Flomvarsling*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Flom-og-skred/Flomvarsling-og-beredskap/> (lest 27.04.2011).
- Opheimsbakken, O. I. (2008). *Skedsmo kommune flomsikring*. Lillestrøm. Upublisert manuskript.
- Opheimsbakken, O. I. & Vestheim, B. (2011). *Personlig meddelelse Skedsmo kommune*. Lillestrøm.
- Pihl, A. (2011). Ekstrem vannskade-rekord.
- RegClim. (2010). Klimaet i Norge om 50 år.
- Regjeringen. (2011). *Framtidens byer*. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/sub/framtidensbyer/forside.html?id=551422> (lest 09.05.2011).
- Scheel, I. & Hinnerichsen, M. (2010). The Impact of Climate Change on Insurance Risk: A Study of the Effect of Climate Change Scenarios in Norway. I: Regnsentral, N. (red.). 16 s.
- Sedlbauer, K. (2001). *Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen (Predictuion of mould manifestation on and in building parts)*. Stuttgart: University of Stuttgart, Fraunhofer Institute for Building Physics.

- Skedsmo kommune. (2010). Hovedplan Avløp 2011-2014.
- Skedsmo kommune. (2011). *Utsnitt Sjøgata*. Lillestrøm: Skedsmo kommune, kommunalteknisk avdeling.
- Thue, J. V. & Uvløkk, S. (1998). *Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner*. Trondheim. 199 s.
- Tollan, A. (2009). *Flom*. Oslo: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <http://www.snl.no/flom> (lest 03.03.2011).
- Van, M. A., Heilemann, K., Morris, M. W., Royet, P. & Zevenbergen, C. (2011). FloodProBE: technologies for improved safety of the built environment in relation to flood events. *Environmental Science & Policy*, In Press, Corrected Proof.
- Zevenbergen, C., Gersonius, B., Puyan, N. & van Herk, S. (2007). Economic Feasibility Study of Flood Proofing Domestic Dwellings. I: Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A. & Zevenbergen, C. (red.) *Advances in Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis.
- Zevenbergen, C., Cashman, A., Evelpidou, N., Pasche, E., Garvin, S. & Ashley, R. (2011). *Urban Flood Management*. London: Taylor & Francis. 322 s.