

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Fakultet for miljøvitenskap og teknologi

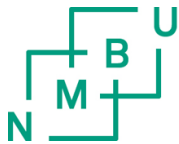
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2015
30 stp

Fuktighetsproblemer forårsaket av høy grunnvannstand, flom og kapilærsuging; drøfting av mulige løsninger



Marina Luciane Allgayer Jensen



Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for matematiske realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Som avsluttende oppgave for studieprogrammet Byggteknikk og Arkitektur våren 2015. Oppgaven er skrevet i samarbeid med UFGRS, CREA, SENGE og Allgayer Engenharia i Porto Alegre i Brasil og dreier seg om fuktighetsproblem forårsaket av kapillærsuging i forbindelse med høy grunnvannstand og flom med drøfting av mulige løsninger. Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng med emnekode M30-IMT.

På de fleste boligene, som er bygd av mur eller betong, er fuktighet i gulv og vegger en stor utfordring for både ingeniør og konstruktør. Jeg presiserte i denne masteroppgaven problemet med oppstigende fukt fra fundamentet, pekte på viktige årsaker til periodisk høy grunnvannstand, flom og følgelig kapillærsuging, analyserte grundig eksisterende metoder og fikk fram noen nye gjennomførbare tiltak/løsninger. Sammenlignet gamle og nye metoder med datasimulering av fuktighetsmengde og temperaturforskjell.

Det er ikke sikkert at jeg fant endelige løsninger for et så bredt og komplisert tema som fuktighet er, men har startet en diskusjon som kommer til å bidra til å tenke nytt og se fram til nye ideer og løsninger, basert på området lokale ressurser.

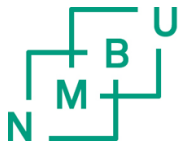
I arbeidet med oppgaven vil jeg takke Tormod Aurlien og Thomas Kringlebotn Thiis ved IMT for veiledning og oppfølging. En stor takk retter jeg også til Barbara Lindauer fra WUFI i Tyskland for å ha lånt meg lisens for WUFI2D og Dimitrios Kraniotis for å ha hjulpet meg med oppsetning av WUFI'S programmet.

Jeg vil også takke Luiz Carlos fra UFGRS, og Alexandre Damas fra SENGE, CREA og Allgayer engenharia som gjennom oppgaven har vært behjelpelig med spørsmål vedrørende fuktproblematikken, sluttelig takker jeg produsenter og leverandører som med stor interesse har gitt informasjon om de aktuelle bygningsmaterialene.

Til slutt vil jeg takke mine venner for god støtte og korrekturlesing gjennom oppgavetiden!

Ås, mai 2015

Marina Luciane Allgayer Jensen



Sammendrag

Høy grunnvannstand og flom er alvorlige fenomener som kan være natur og/eller menneskeskapt og ofte være hovedårsak til fuktproblemer i boliger eller bygninger.

Masteroppgaven tok for seg problemet med oppstigende fukt fra fundamentet som er forårsaket av kapillærsuging av vann eller fuktighet fra grunnen. Videre har i grove trekk eksisterende behandlinger/ løsninger av dette problemet blitt gjennomgått og deretter har det blitt foreslått gjennomførbare nye løsninger.

Det er benyttet programvarene WUFI 1D og 2D til simulering av fuktighetsmengde, relativ fuktighet, temperaturforskjell og muggvekst fra en eksisterende konstruksjon(case 5) med bare et betongsjikt og sammenlignet denne med de fire nye utviklede tiltak(cases).

For å utsette tiltakene/casene for ekstremværforhold ble det laget en egendefinert klimafil. Hvor det sto tolv regnperioder med nedbørsintensitet på ca.3,3 mm per time med ca.6 dagers varighet. Disse tolv regnperiodene ble fordelt i løpet av en beregningsperiode på et år.

Sluttelig ble det foretatt en vurderingsanalyse mellom alle tiltakene(cases) og valgt den gunstigste tiltaksløsningen, basert på utviklingen av fuktighetsmengde, relativ fuktighet, temperaturforskjell og muggvekst gjennom ett års-perioden.

Summary

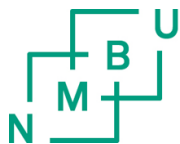
High groundwater levels and flooding are serious phenomena which may be natural and / or manmade and often leading cause of moisture problems in homes or buildings.

Master's thesis dealt with the problem of rising damp from the foundations that are caused by capillary suction of water or moisture from the ground. Moreover, roughly existing treatments / solutions of this problem has been reviewed and then it has been suggested feasible new solutions.

It is used software WUFI 1D and 2D simulation of moisture amount, relative humidity, temperature difference and mold growth from an existing design (case 5) with only a concrete layer and compared this with the four new developed measures (cases).

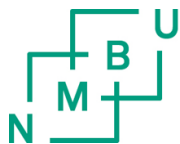
To postpone measures / cases for extreme conditions was made a custom climate file. Where it stood twelve rainy periods of rainfall intensity on ca.3,3 mm per hour with about 6 days. These twelve rain periods was broken during one calculation period of a year.

Finally, it was made an evaluation analysis between all measures (cases) and selected the most favorable measures solution, based on the development of the amount of moisture, relative humidity, temperature difference and mold growth through one-year period.

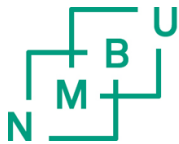


Innholdsfortegnelse

Forord.....	2
Sammendrag	3
Summary	3
Nomenklaturliste.....	6
1. Innledning.....	7
2. Teori.....	8
2.1. Litt om klimaendring	8
2.2. Høy grunnvannstand	9
2.3. Flom.....	10
2.4. Fukt i bygg	13
2.5. Kapillærsuging	14
2.6. Fuktighet forårsaket av kapillærsuging	17
3. Eksisterende tiltak/løsninger.....	18
3.1. Generell beskrivelse	18
3.2. Ventilasjon og oppvarming.....	19
3.3. Avledning av overflatevann og takvann	20
3.4. Utvendig isolering og drenering	21
3.4.1. Løsning 1.....	21
3.4.2. Løsning 2.....	22
3.5. Utvendig dampåpen isolering	24
3.6. Innvendig etterisolering	25
3.7. Elektrosmose	27
3.7.1. Gjennomgang av den kjemiske reaksjonen.....	27
3.7.2. Praktisk bruk av elektrosmose	28
3.8. Innbygging av en fuktsperre	29
3.9. Innføring av et metallsjikt.....	30
3.10. Skrittvis uthugging av ett sjikt i teglkonstruksjoner	31
3.11. Horisontal injisering av vannavvisende eller tettende væsker	31
3.12. Senkning av grunnvannstand	32



4.	Metode og oppsett.....	33
4.1.	WUFI 1D kontra WUFI 2D.....	33
4.2.	Prosjektoppbygging for WUFI 1D og WUFI 2D.....	34
4.3.	Prosjektoppbygging for WUFI 1D.....	35
4.3.1.	Component(Komponent).....	35
4.3.2.	Control(kontroll).....	38
4.3.3.	Climate(overflate/klimaforhold).....	39
4.4.	Prosjektoppbygging for WUFI 2D.....	42
4.4.1.	Geometry(geometri).....	42
4.4.2.	Grid (beregningceller).....	42
4.4.3.	Materials(materialer).....	44
4.4.4.	Initial Conditions (startbetingelser).....	45
4.4.5.	Surface/Climate (overflate/Klima).....	45
4.4.6.	Sources (kilder).....	48
4.4.7.	Computational Parameters (beregningsparametere).....	48
4.4.8.	Processing (prosessering).....	49
5.	Resultat av numerisk simulering.....	50
5.1.	Foreslåtte tiltak.....	50
5.2.	Casebetingelser for WUFI-beregninger.....	52
5.3.	Veggkonstruksjon for hver case.....	54
5.4.	Grafene fra Filmsimuleringen i WUFI 1D.....	57
5.5.	Grafer.....	60
5.6.	Forklaring av Isopleths- grafen i forbindelse med muggvekst.....	68
5.7.	Sannsynligheten for muggvekstfare i WUFI 1D og 2D.....	70
5.8.	Diskusjon.....	74
	Konklusjon.....	77
	Referanser.....	78



Nomenklaturliste

CREA	-	Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia
SENGE	-	Sindicato dos engenheiros
UFRGS	-	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
NVE	-	Norges vassdrag og energidirektorat
Cicero	-	Senter for klimaforskning
FN	-	Forente nasjoner
FN's klimapanel	-	Internasjonal institusjon opprettet av FN-organene Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) og FNs miljøprogram (UNEP) i 1988
WTA recommendation	-	W issenschaftlich- T echnische A rbeitsgemeinschaft für B auwerkserhaltung und D enkmalpflege (International Association for Science and Technology of Building Maintenance and the Preservation of Monuments)

1. Innledning

Høy grunnvannstand og flom er alvorlige fenomener som kan være natur og/eller menneskeskapt og ofte være hovedårsak til fuktproblemer i boliger eller bygninger. Masteroppgaven skal ta for seg problemet med oppstigende fukt fra fundamentet som er forårsaket av kapillærsuging av vann eller fuktighet fra grunnen. Samtidig skal det settes spørsmål ved hvorfor dagens bygningsfundamenter ikke er beskyttet nok mot vann eller fuktighet og hva som kan gjøres for å forbedre eller løse dette problemet.

Masteroppgaven skal gjennomgå de følgende punkter underveis:

- Først skal det gis kortfattede beskrivelser om klimaendring, høy grunnvannstand, flom, generelle fuktighetsårsaker, kapillærsuging, kapillærområdet, litt om hygroskopiske og ikke hygroskopiske materialer og forklaring på hvordan det oppstår oppstigende fukt fra fundamentet.
- Videre beskrive kjente tiltak mot fuktproblemer som finnes tilgjengelig i Norge.
- For å utsette tiltakene/casene for ekstremværforhold skal det lages en egendefinert klimafil, hvor det skal stå tolv regnperioder med nedbørsintensitet på ca.3,3 mm per time med ca.6 dagers varighet. Disse tolv regnperiodene skal bli fordelt i løpet av en beregningsperiode på et år.
- Det skal vises metode og oppsett for WUFI 1D og 2D, hvilke data som er satt inn i programmene.
- Så skal det foreslås fire gjennomførbare løsninger/cases for behandling av oppstigende fukt.
- Deretter skal det benyttes programvarene WUFI 1D og 2D til simulering av fuktighetsmengde, relativ fuktighet, temperaturforskjell og muggvekst fra den eksisterende konstruksjonen(case 5) med bare et betongsjikt og sammenligne denne med de fire nye utviklede tiltak(cases).
- Og til slutt foretas en vurderingsanalyse mellom disse tiltakene(cases) og velge den gunstigste løsningen, basert på utviklingen av fuktighetsmengde, relativ fuktighet, temperaturforskjeller og muggvekst gjennom en 1- års periode.

2. Teori

2.1. Litt om klimaendring

Drivhuseffekt og klimaendring er temaer som livlig er blitt diskutert gjennom flere ti-år både av forskere og andre.

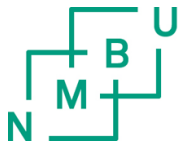
Siden den industrielle revolusjon har verden produsert i et stadig økende tempo og utnyttet jordas ressurser uten tanke på annet enn profit. Dermed har de i stadig stigende grad generert en forurensning verden ikke har sett maken til. En ond sirkel som trenger sterke krefter for å brytes. FN's klimapanel og Cicero er organisasjoner som sitter med tallmateriale etter vitenskapelige målinger foretatt over mange år og forteller at det globale klimaet har endret seg gjennom årene også vindstyrke, regn og snømengde er endret.

I følge Cicero skyldes den naturlige drivhuseffekten tilstedeværelse av skyer og klimagasser (drivhusgasser) som er vanndamp (H_2O), karbondioksid (CO_2), metan (CH_4), lystgass (N_2O), og ozon (O_3). Drivhuseffekt oppstår når deler av solens stråling (infrarødstråling) trenger gjennom skyene, hvor deler av disse fester seg og delvis absorberes i atmosfæren og resten av strålingen reflekteres tilbake til verdensrommet. Store deler av strålingen som normalt reflekteres tilbake til verdensrommet er bremsset opp av klimagasser og akkumuleres i atmosfæren. Jo større klimagasskonsentrasjonen er på jorda, jo mer klimagass blir lagret i atmosfæren, slik at det oppstår en drivhuseffekt (oppvarming), mellom jordkloden og atmosfæren.

Siden verden ble industrialisert, d.v.s. rundt 1750, har karbondioksid-konsentrasjonen steget med ca. 39%, metangass med 151% og lystgass med 17%. Denne stigningen skyldes menneskeskapte utslipp som har bidratt til større drivhuseffekt og en ubalanse av naturlige klimagasser i atmosfæren. Av økningen på 39% CO_2 , er 60% av disse menneskeskapte utslipp som hovedsaklig skyldes bruk av fossilt brensel (kull, olje og gass) og avskoging i tropiske strøk.

Hvis man ser på problemet drivgasseffekt som helhet, viser det seg å være et svært sammensatt og følsomt tema og at små endringer på jordas klimasystem vil innebære store konsekvenser for menneskeheten. Naturen opererer i et eget kretsløp, der utslipp og opptak går i balanse. Dette kan f.eks. påvises ved at råtnende trær (vegetasjon) slipper ut CO_2 og at levende trær tar opp CO_2 gjennom fotosyntese-prosessen. Derimot er ikke vårt CO_2 -utslipp tatt med i dette kretsløpet, d.v.s. at når vi bruker f.eks. fossilt brensel får vi tak i noe som er lagret i havbunnen fra lang tid tilbake og som naturen selv ikke får utnyttet. Vårt CO_2 -utslipp gir et overskudd i atmosfæren som blir lagret over lang tid.

Konsekvenser av drivhuseffekten kan allerede være synlig i Norge. Iflg. mediene og meteorologisk institutt, viser statistikken at den årlige nedbøren har økt med 20% siden 1900, hvor kraftigste økning skjedde fra 1980 og framover til vår tid. Prognosen sier at nedbørsmengden vil øke med ca. 30% de neste 75 årene. Samtidig vil det bli flere dager med mye nedbør og større nedbørsmengder over hele landet.



Iflg. kildene vises det til en betydelig økning av snømengden i fjellområdene og indre strøk av Nord-Norge, mens det har falt mindre snø i lavlandet og langs kysten. P.g.a. klimaendringen smelter nå snø hurtigere og tidligere, noe som ofte kan føre til vårfloam i elvene, særlig i innlandet. Kildene anser også at frem til 2050 vil den økte nedbøren føre til økte snømengder i fjellområdene, mens resten av landet vil få økt temperatur og føre til mer nedbør som vil komme som regn vinterstid. Dette vil også påvirke snøsesongen som da blir kortere.

Det er påvist at frem til 2050 vil økt nedbør føre til økte snømengder i fjellområdene. Og i resten av landet vil økt temperatur føre til mer nedbør, som hovedsaklig vil komme som regn også vinterstid. Snøsesongen vil bli kortere. I lavlandet blir snødekket 2–3 måneder kortere enn i dag. I lavtliggende områder blir snøen nesten helt borte i mange år, men det blir fortsatt enkelte år med betydelig snøfall.

Det har blitt registrert uvanlig mange flomtilfeller i Norge siden 2010. I områder hvor største flom er regnflom, vil sjansen for flom bli større enn på andre steder. I de fleste områder langs kysten vil flomstørrelsen øke fra 20% til 60% i løpet av de neste 75 årene. Sannsynligheten for flomhendelser vil også øke i hele landet, ekstreme nedbørsperioder vil på kort tid gi større lokale regnflommer.

Tettbygde strøk er di mest utsatte for skredfare av mange grunner, blant disse kan være underdimensjonering av avløpsnett og terrengforhold som ikke er egnet til så mange boliger per areal. Under nedbørsperioder kan avløpsnett bli overfylt med vann som igjen kan øke faren for flomskred eller sørpeskred. På steder hvor det finnes dårlige terrengforhold, med moreneleire e.l., kan det oppstå jordskred p.g.a. ekstremnedbør.

Det er også blitt registrert at under de siste 50 årene har vindstyrken økt fra 6% til 8% på deler av Østlandet og Sørlandet. Det kan vises gjennom klimamodeller at høye vindstyrker kan forekomme oftere. Det er forventet at Østlandet og deler av Nordlandskysten får størst vindøkning.

Når det gjelder det globale havnivået, har det steget med tre millimeter årlig. Etter 75 år vil det stige med mellom 30 centimeter og én meter. P.g.a. geografisk beliggenhet og landheving etter siste istid, vil havnivået i Norge stige mest på Vestlandet og i Nord-Norge og mindre på Østlandet og i Trøndelag. Det anslås at det kommer til å bli en relativt liten havøkning innerst Oslofjorden i dette århundre på grunn av landheving, i motsetning til kyststripen sørover der havnivået vil øke gradvis. Mot slutten av dette århundre viser beregningen at havnivået i Oslo vil variere mellom -0,2 og 0,5 meter og i Kristiansand blir det mellom 0,2 og 0,8 meter.

2.2.Høy grunnvannstand

Årets variasjon i grunnvannstand er resultatet mellom tilførsel og tap av vann i jord. Tilførselen skjer vanligvis gjennom nedbør, regn og snøsmelting, og tap skjer gjennom fordampning og drenering av vassdragene. Største delen av vannet fra vassdragene har først gått gjennom grunnvannet og resten har kommet direkte fra overflateavrenning til vassdragene. Lavvann i vassdragene er forårsaket av

grunnvannstilsig. Når tilførselen av vann er større enn tapet, kan det oppstå høy grunnvannstand. Dette vil skje når alle porene i jorda er fylt med vann (der hvor metningspunktet er oppnådd).

Dypet til grunnvannet og jordas porøsitet definerer hastigheten på grunnvannstandsendingen (differanse mellom tilførsel og tap). Der hvor klimatiske forhold og jordtype har en avgjørende betydning, f.eks. store grunnvannsmagasiner som består av sandavsetninger, er mindre påvirket enn små grunnvannsmagasiner som består av morenejord. På elvesletter langs vassdrag i sandavsetninger er grunnvannstand ofte kontrollert av variasjoner i elvens vannstand.

Det finnes mange grunner til at høy grunnvannstand kan oppstå. Blant de mest relevante er snøsmelting og nedbør. Kalde vintre kan føre til frosne jordlager (tele), og dette medfører at grunnvannet fryser. Det største faremomentet oppstår når snøen over frosset jordlag begynner å smelte, d.v.s. når porene i jorda ikke er i stand til å absorbere mer av overvannet. Eller når det plutselig kommer unormalt mye nedbør. Da vil jordporene bli fylt opp med vann (oppnå metningspunktet), og dermed øke sjansen for høy grunnvannstand og i verste fall flom.

2.3. Flom

Flomfenomenet kan primært oppstå på grunn av stor vannføring i en elv (gå over sine bredder). Denne vannstrømmen kan ha mange årsaker, blant annet snøsmelting fra fjellene, nedbørmengde og fortetning forårsaket av ismasser i elveløpet, utrasinger som temporært demmer opp elven, eller høyt tidevann nær utløpet.

Flomtyper

Flom kan oppstå på grunn av bare snøsmelting, kombinasjon snø/regn, bare regn, langvarig regnvær, som følge av skybrudd, isgangsflommer, Jökullhlaup, flom som skyldes ras/oppdemning og flom kombinert med stormflo.

Ved flom som oppstår på grunn av snøsmelting kan det vanligvis ta to til tre uker før vannstanden normaliserer seg igjen, se figur 1. Her i Norge er det et fenomen som hovedsakelig skjer i innlandet. På grunn av lufttemperaturen, har snøsmelting en særpreget døgnvariasjon, noe som blir påvist gjennom hele flomforløpet. Etter at flommen har oppstått, har regnvær en forverringseffekt som vil øke flomnivået og samtidig smelte snølaget fortere. Dette medfører en økning i den totale vannmengden som kan få katastrofale følger.



Figur 1: Flom forårsaket av bare snøsmelting (NVE, klima, ekstremvær og flom)

Her i Norge forekommer det ofte vinterflommer av typen smeltevann og regn. Dette skjer særlig langs kysten. Et godt eksempel skjedde i Vesleofsen i 1995, som var en av de største flomkatastrofene i Norge noensinne.

Regnflom kan oppstå her i landet, særlig om sommeren, se figur 2. Den kan ha kort varighet dersom det skyldes bygenedbør. Disse kan være svært intense hvis de har sammenheng med en evt. høy lokal nedbør. Enkelte steder i landet, kan regnflommen variere mellom 100 og 200 mm pr. døgn, mens døgnnedbør i tropene er målt til over 1000 mm flere steder. Til sammenligning gir snøsmelting vanligvis 10 til 25 mm pr. døgn, selv om sterkere smelting forekommer. Til gjengjeld dekker snøsmeltingen samtidig store områder.



Figur 2: Flom forårsaket av regn (NVE, klima, ekstremvær og flom)

En annen interessant flomtype oppstår ved uttappinger av bredemte sjøer, såkalt jökulhlaup, som kan oppstå når bredemningen smelter eller gir etter for vannmassene, se figur 3. Et eksempel er flommen i den Islandske Jökulhlaup. Der var det vulkansk aktivitet som smeltet bre-isen. Et annet godt eksempel skjedde på Island i 1996, etter uttapping av Grimsvötn under Vatnajökull.



Figur 3: Flom forårsaket av Jökulhlaup (NVE, klima, ekstremvær og flom)

Menneskelig påvirkning

Menneskene kan påvirke og forverre naturskapte flomsituasjoner på mange forskjellige måter. Dette kan eksempelvis skje ved stadig økende skoghogst, dårlig planlagte tettbebygde strøk, eller ha for mange unødvendige veianlegg, se figur 4. Disse faktorene vil bidra med å minske vann- infiltrasjon og fordampning i bakken og dermed øke avrenningen som videre vil øke vannhastigheten i vassdrag. Dette kan forbedres ved kanalisering, utretting av elveløp, drenering i tettsteder og forbygninger langs elveløp. Klimaendringer naturlige/ menneskeskapte og eller begge - kan følge til hyppigere og større flommer. For å minske flomskader, kan det settes inn forskjellige tiltak for å beskytte arealer bak dikene, men dette kan også medføre økt flomrisiko nedstrøms. Det kan også bygges reguleringsmagasiner for å oppnå elektrisitets- produksjon og samtidig bidra til flomdempning som også kan ha en flomdempende effekt.



Figur 4: Flom forårsaket av skoghogst og/eller dårlig planlagte tettbebygde strøk(NVE, klima, ekstremvær og flom)

2.4.Fukt i bygg

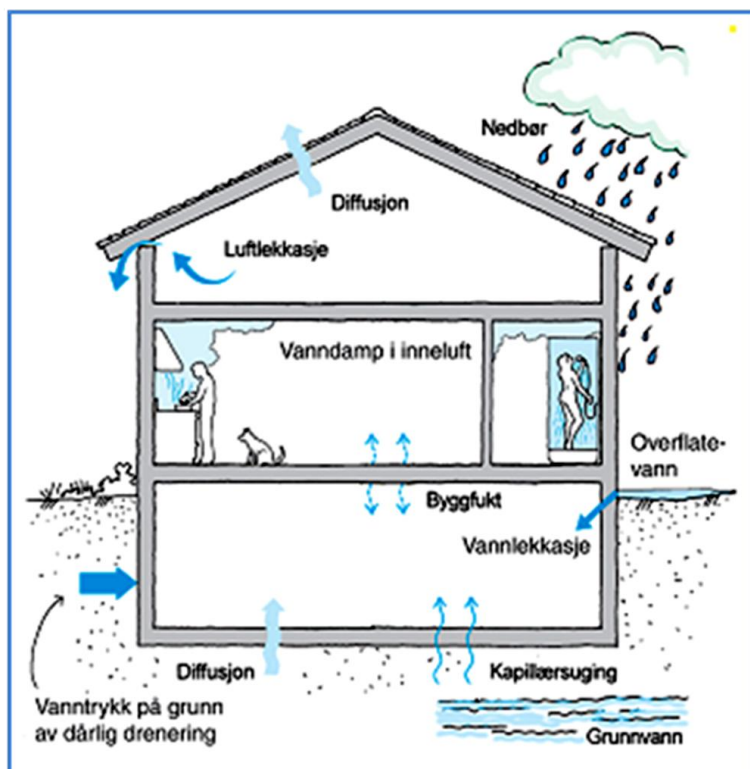
I følge BKS side 421.132-Fukt i bygninger teorigrunnlag, er det statistisk påvist at 60 til 80% av alle bygningene, som er undersøkt har fått skader p.g.a. fukt eller virkninger av fukt, se figur5.

Disse problemene relaterer seg til vanligvis:

- Regn
- Luftfuktighet ute og/eller inne
- Byggfukt
- Fuktighet i grunnforhold
- Våtromslekkasjer
- Lekkasje i VVS-installasjoner

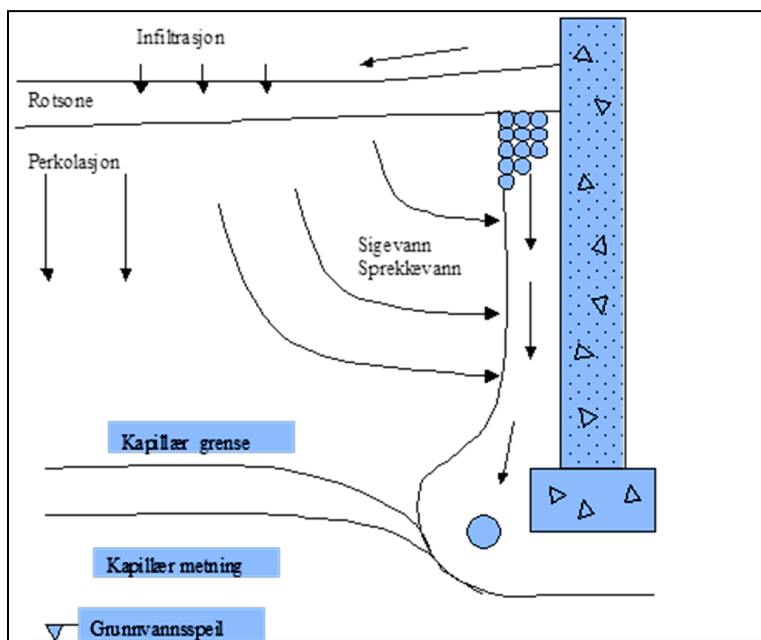
Viktige mekanismer for fukttransport:

- Dampdiffusjon: Skjer ved utveksling av vanndampmengde innen og utenfra.
- Luftlekkasje eller fuktkonveksjon: Vanndamp blir transportert gjennom luftlekkasje
- **Kapillærsuging** : Vann blir overført gjennom kapillærene eller materialporene^{*}
- Væskestrømning: Forårsaket av vannlekkasje



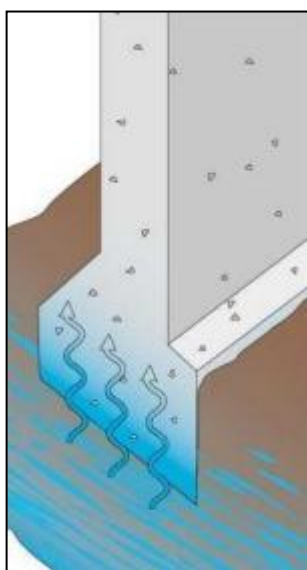
Figur 5: Viser de mest vanlige fuktighets årsakene som kan forekomme i en bolig (BKS, 421.132 Fukt i bygninger teorigrunnlag)

Denne rapporten skal fokusere på forbindelsen mellom høy grunnvannstand og kapillærsuging. Den skal vise konsekvensene av hva grunnvannsfuktighet kan forårsake på bygningens fundament og oppover, se figur 6.



Figur 6: Forbindelsen mellom høy grunnvannstand og kapillærsuging (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

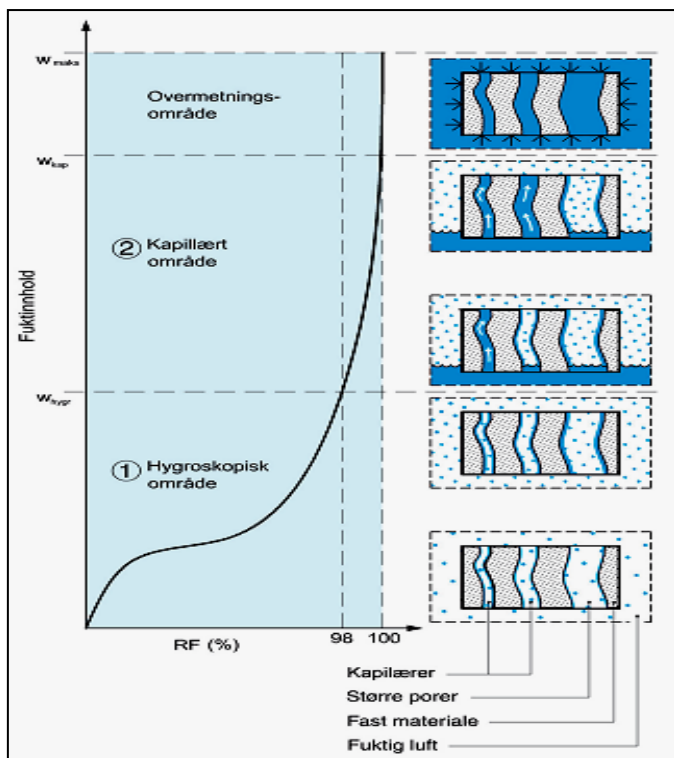
2.5.Kapillærsuging



Kapillærsuging er betegnelsen for materialets evne til å absorbere vann. Når f.eks. et tynt glassrør settes ned i vann, vil de kapillære kreftene trekke vannet opp i røret, se figur 7. Jo større risiko for bygningsmaterialer har til å ta opp vann, jo større risiko er det for vanntransport gjennom gulv og vegger (bygningdeler under terreng). Dette kan bli katastrofalt for hele bygningen som i verste fall kan bryte sammen eller kollapse på grunn av svekket konstruksjon. For å unngå at kapillærsuging, er det anbefalt å bruke et kapillærbrytende sjikt som kan være grus og/eller isolasjon under konstruksjonen.

Denne rapporten vil ta for seg forskjellige typer sjikt som finnes tilgjengelig i dag og vise deres fordeler og ulemper, basert på dataanalyse iht. fuktighetsnivå og romtemperatur.

Figur 7: Materialets evne til å absorbere vann (Rockwool, kapillærsug- og bryting)



Figur 8: Fuktighetsabsorpsjon av porøse materialer i bygninger

En poremodell har blitt plassert ved siden av en sorpsjonskurve området.

Fuktigs absorpsjonen skjer i to adskilte faser:

1. Hygroskopisk optak, noe som skjer gjennom lagring av materialet i luften og av dampmolekyler som bindes til poreveggene.
2. Kapillært optak av vann fra en vannkilde(vannspeil) der små og middels store porer fylles ved hjelp av kapillærkrefter(hårrørsvirkning). Samtidig foregår vanntransport i de større porene som ikke er vannfylt.

Hygroskopiske og ikke hygroskopiske materialer

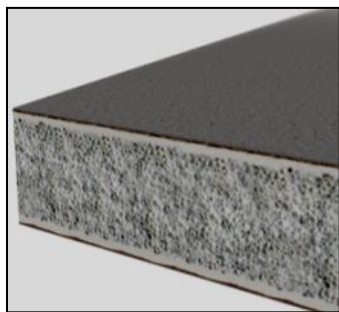
Hygroskopisk er en betegnelse på stoffer som trekker til seg fuktighet (vanndamp) fra omgivelsene. Det fins mange materialer som er hygroskopiske, f.eks. tre, honning, etanol, konsentrert svovelsyre og konsentrert natriumhydroksid. Noen stoffer, som f.eks. kalsiumklorid er så hygroskopiske at de tar opp så mye vann at de løses opp i det.

Når det gjelder bygningsmaterialer, disse kan deles i:

- Hygroskopisk - Når materialmasse er avhengig av vannabsorpsjonsmengden, for eksempel i lettbetong og gips, se figur 9.
- Ikke hygroskopisk - Når materialmasse hovedsakelig er konstant uansett fuktighetsmengden i atmosfæren, for eksempel i rød leire og naturstein, se figurene 10 og 11.

Kapillært område

I følge BKS-grafen til venstre, se figur 8: Når den relative fuktigheten(RF) har oppnådd metningspunktet (d.v.s. over 98%) og beveger seg mot kapillærområdet (har passert W_{vgp} og går mot W_{kap}). Vil det ved kontinuerlig vanninnstrømning foregå kapillærsuging som over tid kan skape en kapillærforstørrelse. Denne prosessen vil danne kondensvann inntil det oppnås en kapillærmetning(W_{kap}). Det vil fortsatt være en del større porer som er over kapillærstørrelse og som ikke er helt fylt med vann. De fleste materialer kan ta opp vesentlig mer fukt i det kapillære området enn i det hygroskopiske.



Figur 9: Gipsplate



Figur 10: Teglstein(rødleire)



Figur 11: Naturstein

Undersøkelser om variasjoner på innendørs relativ luftfuktighet i bygninger er avgjørende for å bestemme kravene til hygrotermisk komfort, holdbarhet, økonomi, helse og hygiene. En høy verdi av innendørs relativ luftfuktighet kan føre til veggfukt og overflatekondens, som igjen kan gi grobunn for mugg, skade på materialer og konstruksjonselementer og føre til reduksjon av luftkvaliteten.

De fleste av konstruksjonsmaterialene som brukes i dag er porøse. Blant disse har de fleste sammenkoblede porer. Det er denne særpregede struktur som gjør at disse materialene både kan absorbere og feste fuktighet til seg slik at de mister sine opprinnelige fysiske egenskaper.

Porøse materialer kan absorbere fuktighet iht. tre fysiske mekanismer:

- Adsorpsjon av luftens vanndamp
- Kapillaritet ved kontakt med vann i væske- og solid- fase
- Vanndampkondensering i materialets innside etter at metningspunktet er oppnådd.

Mengden akkumulert fuktighet i porøse materialer er hovedsaklig knyttet til følgende faktorer:

- Materialets egenskap i sine opprinnelige faste former
- Materialets tetthet, størrelse og porearrangement
- Fysisk-kjemisk interaksjon mellom ulike faser (solid / væske / gass)
- Termodynamiske betingelser anvendt til materialene (trykk og temperatur)

Forskere har de siste årene studert hvilken påvirkning hygroskopiske materialer har på bygninger i forhold til variasjon av relativ fuktighet(RF). Og de har kommet fram til et standardisert resultat og en matematisk beregning/differensialligning, som gir et tilnærmet svar på hvor mye fuktighet(RF) en bygning har. Basert på hvilken type bygningsmateriale som er brukt i konstruksjonen. Det ble i utgangspunktet brukt matematiske modeller kombinert med laboratorieforsøk. Den innvendige RF- variasjonen(vanndampvariasjonen i rommet) ble basert på massens energibevaring som sier at:

Vanndampvariasjonen er lik summen av vanndampstrømmene mellom innsiden og utsiden av rommet.

$$ds = \sum dv_{\text{inne}} + dv_{\text{ute}}$$

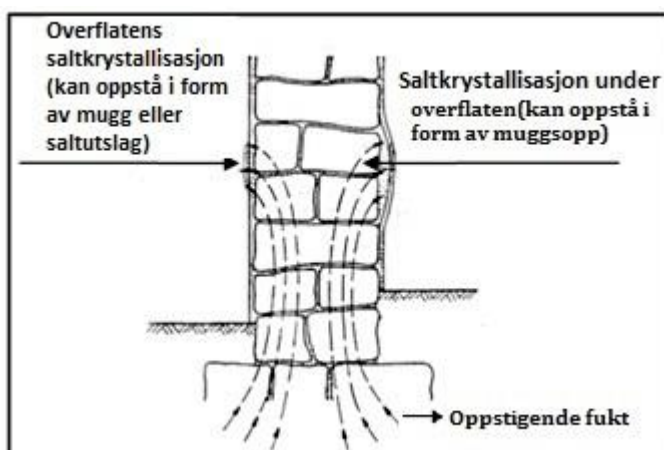
Vanndampvariasjon på innsiden av rommet er avhengig av:

- Fluksen fra utside til innside
- Fluksen fra innside til utside
- Vanndampsutveksling med hygroskopiske overflater
- Vanndampsutveksling mellom rommet og mennesker
- Fordampning av flytende vann
- Overflatekondens
- Avfuktere

2.6. Fuktighet forårsaket av kapillærsuging

Oppstigende fukt fra fundamentet

Når konstruksjonsmaterialene kommer i kontakt med vann eller fuktig jord, vil disse absorbere fuktighet meget raskt. Vannet vil delvis fordampe fra gulvet og resten absorberes i veggene - særlig i fuktig klima. Av den grunn har noen bygninger et par isolerende sjikt over bakken, men dette kan være mangelfullt da fuktigheten kan trekke gjennom skjøtene, d.v.s. ikke å være nok beskyttende for bygningsstrukturen, se figur 12.



Figur 12: Oppstigende fukt som kommer fra fundamentet
(http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Humidade_Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf)

Denne type fuktighet påvirker vanligvis bredden av veggen med en høyde på mellom 50 til 120 cm og oppstår i løpet av året, under forskjellige forhold, avhengig av nedbørsmengde. Fuktighetstypen kan sees som indre eller ytre flekker. Inne i veggen kan saltutslag løsne veggtabletet eller vises i form av muggsopp. Utvendig kan den opptre i form av mose, se figur 13.



Figur 13: Fuktinfiltrasjon fra fundamentet som danner saltutslag på utsiden av murveggen.
(<http://www.dicaseiras.com/2010/02/10/guia-completo-como-combater-eliminar-prevenir-humidade/>)

Fuktigheten i veggene stiger vanligvis til mellom 50 og 120 cm. Disse høydene kan være lavere når vegg/ skillevegg er ventilert og/eller dersom murverk har mindre saltmengde i grunnen. I motsatt fall kan fuktigheten være høyere når vegg/murvegg har høyere saltmengde eller hvis fordampning i gulvbetong hindres av gulvbelegg eller lignende.

Når salt kommer i kontakt med luft, dannes det flekker både innvendig og utvendig på veggene i form av mugg eller saltutslag. Dette kan sees ved forekomst av mose i området. Det innebærer at gulvbeleggene gradvis vil ødelegge veggene gjennom indirekte fuktighetsinduksjon. Jo raskere fuktinfiltrasjonen er, jo høyere vanninnhold og stigende saltmengde. Denne typen fuktighetsproblemer kan lett skilles fra de andre typene på grunn av stor arealpåvirkning.

3. Eksisterende tiltak/løsninger

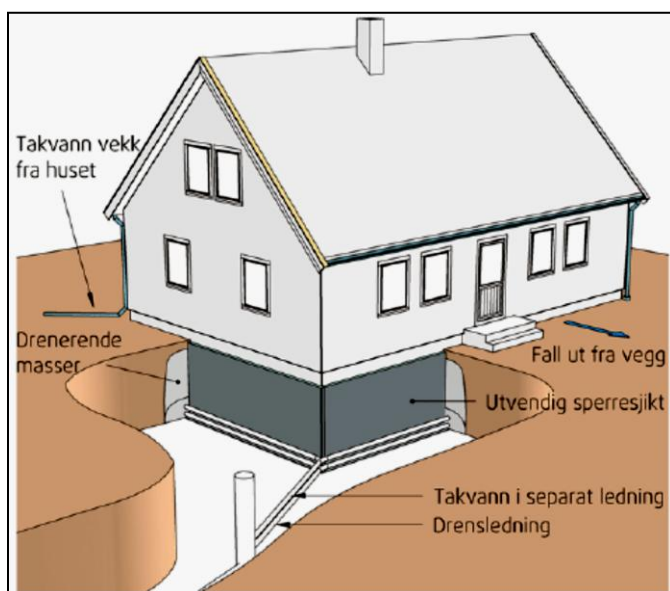
3.1. Generell beskrivelse

Utbedringsmuligheter for fuktskader i kjelleryttervegger kan foregå ved:

- Sette på eller å øke ventilasjonseffekten og oppvarming i kjelleren
- Oppgraving og skifting av dreneringsmasse
- Legging av ny drensledning og drenerende masser inntil veggen

- Montering/påføring av nytt tettesjikt på veggen Grunnmursplate av plast (knasteplate) er anbefalt som utvendig kapillærbrytende og vannavvisende sjikt
- Anlegging av passende fall på grunnen bort fra bygget
- Anbefalt legging av grunnmursplate og påføring av vannavvisende puss(tette sår, støpereir og hull) eller slemming på grunnmur
- Montering av hele eller deler av varmeisolasjon på utsiden av ytterveggen

I følge BKS- rapport nr.83, er det anbefalt at den utvendige isolasjonen går i hele veggens høyde. Varmeisolasjonen plasseres vanligvis på utsiden av en grunnmursplate men hvis det for eksempel benyttes en såkalt drensplate sløyfes gjerne grunnmursplaten (krever at veggen bak er fri for utettheter). En drensplate er en varmeisolasjonsplate med en åpen vannledende struktur eller med vertikale riller, som altså vil kunne få en kombinert effekt av å være drenerende og kapillærbrytende. Utvendig er drensplaten dekket med en fiberduk som hindrer inntrengning av finstoffer, se figur 14.



Figur 14: Denne illustrasjonen viser prosedyrene for gjennomføring av fuktens utbedringstiltak, ved oppgraving og utskifting av gammel dreneringsmasse kombinert med montering av drensledning, utvendig sperresjikt og utvendig isolasjon. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)

3.2. Ventilasjon og oppvarming

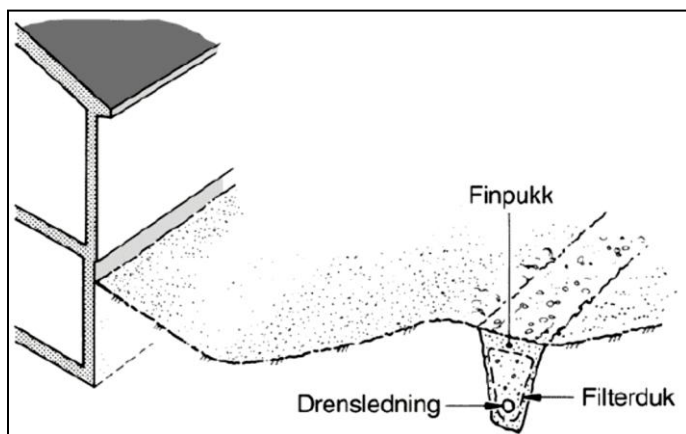
Sette på eller å øke ventilasjonseffekten og oppvarming i kjelleren, det kan redusere overflatefuktigheten som kommer fra grunnen. Denne metoden kan brukes som et supplement ved fuktighets eliminering i kjellerrom. Bruk av kun ventilasjon og oppvarming, særlig i gamle murkjellere kan redusere fuktighet men føre til økning av saltutslag og krystallisering og i verste fall forvitring av mørtelfugene i tilfelle kjelleren har stått uoppvarmet, se figur 15.



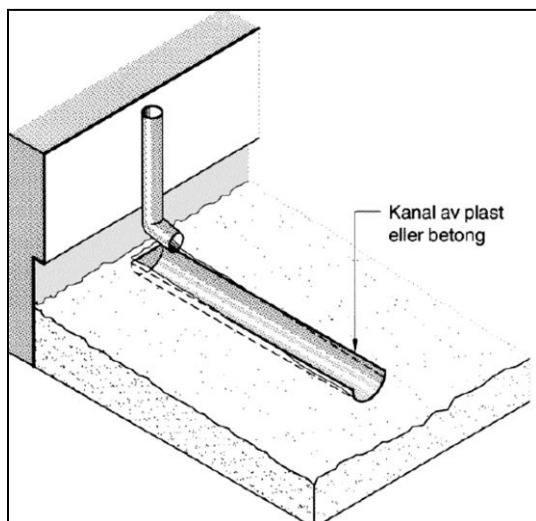
Figur 15: Kjellerens ventilering kan foregå gjennom avtrekksvifter, luftventiler eller vinduer; og til oppvarming kan brukes div. typer varmeapparater.

3.3. Avledning av overflatevann og takvann

I følge BKS- side 727121, bør terrenget ha et minimumsfall på 1:50 og minst avstand på 3m. Dersom tomta har for lite fall og en stor vannansamling må vannet bli avledet ved hjelp av en drengsrøft, renner eller kantstein. Ved upålitelig fuktsikring, anbefales ikke bruk av Blomsterbed e.l. nær veggen. Vannet fra taket må enten avledes på terrenget eller gjennom en tett ledning som fører vannet til en kum eller en grøft, se figur 16 og 17.



Figur 16: Avskjærende drengsrøft reduserer vannpåkjenningen på yttervegger(BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

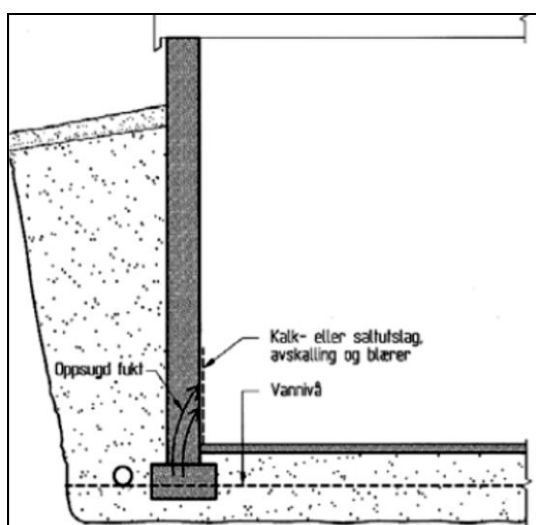


Figur 17: Ved utkast for taknedløp må overflaten ha godt fall og så tett overflate at vannet renner vekk. Lengden på renna bør tilsvare fyllingshøyden på kjellerveggen (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

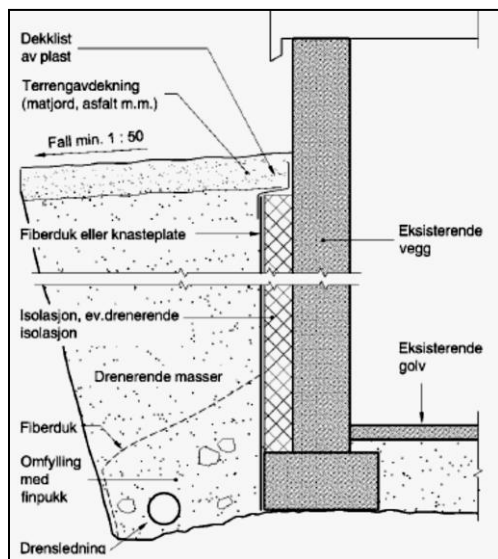
3.4. Utvendig isolering og drenering

3.4.1. Løsning 1

Fuktsikring og utvendig isolering med isolering av sokkel over terreng kan løse problemer tilknyttet innvendig fukt kondens, fukt lekkasje og drenering. Det legges en ny drensledning med et fall på minst 1:200 eller 200 mm lavere enn overkant av betonggulvet. Det anbefales å bruke finpukk med kornstørrelse mellom 4 og 16 mm. Fiberduk er i denne forbindelsen brukt som et skillelag for å separere finpukken og andre finere masser, se figurene 18 og 19.



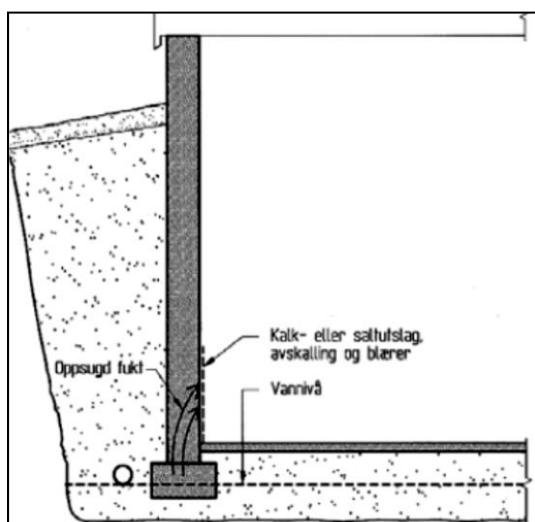
Figur 18: Figuren viser at det foregår kapillærsuging fra grunnen og oppsugd fukt fra våt dreneringsmasse. Dette fører til saltutslag/kalk, avskalling og blærer. (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)



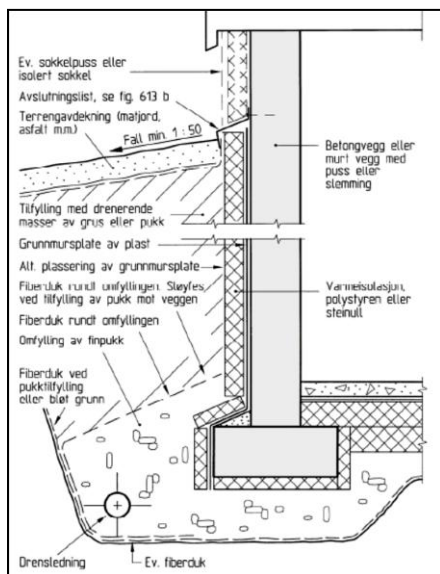
Figur 19: Figuren viser utvendig isolert yttervegg. Ved murte vegger, der det finnes sår eller utettheter må det rettes opp og i tilfelle behandles med vanntett, dampåpen puss eller slemming. (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

3.4.2. Løsning 2

For oppvarmet kjeller bør ytterveggene isoleres, mest mulig på betongvegg (helst 100 mm eller mer). Tidligere erfaringer fra innvendig isolerte kjellere, viser at disse blir svært utsatt for muggvekst og råte, forårsaket av fuktkondensering. Dette skjer fordi fukten som kommer utenfra ikke får mulighet til å tørke ut på grunn av høy innvendig relativ fuktighet (høy RF). Det er viktig at utvendig isolasjon dekker hele veggghøyden. Der det ikke er mulig må det isoleres innvendig i tillegg, se figurene 20 og 21.



Figur 20: Figuren viser at det foregår kapillærsuging fra grunnen og oppsugd fukt fra våt dreneringsmasse. Dette fører til saltutslag/kalk, avskalling og blærer. (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)



Figur 21: Figuren viser varmeisolering av kjelleryttervegg, iht. SINTEF og BKS er denne løsningen kun anbefalt til oppvarmet kjeller. (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

EPS eller XPS er de mest vanlige utvendige isolasjonstypene. Det skal legges grunnmurplater mellom isolasjons og mursjikt. For å gi bedre uttørkningsmulighet for grunnmuren kan det legges grunnmursplater etter isolasjonen. I følge BKS er EPS mer dampåpen enn XPS, se figur 22.



Figur 22: Bildeforklaring:

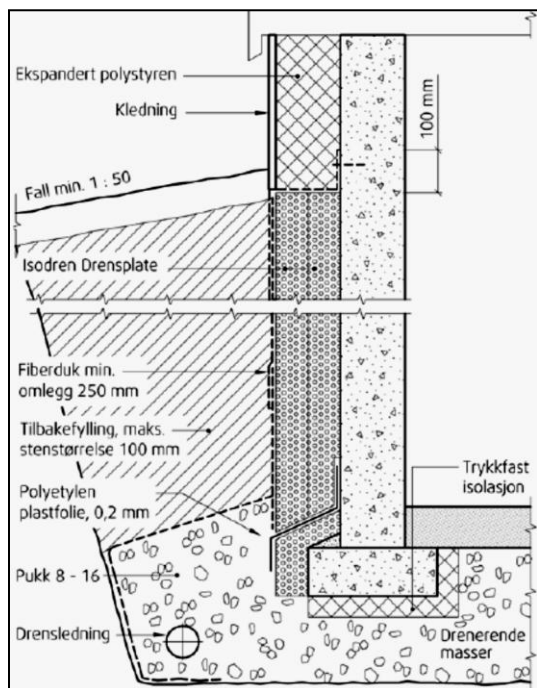
- Øverste plate i illustrasjon er en XPS- plate (violett)
- Nederste plate er en EPS- plate (hvit)

(<https://www.flickr.com/photos/klifbilder/6806759707/>)

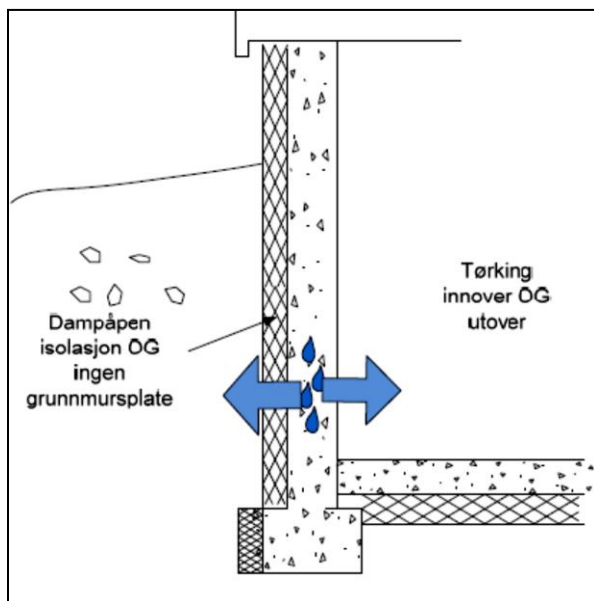
3.5. Utvendig dampåpen isolering

Dersom kjelleren skal oppvarmes, kan det brukes Isodren Drensplate, som er mer poreåpen enn vanlige EPS- plater. Isodrenplatene består av sammenlimte polystyrenkuler med et kontinuerlig luftrom mellom kulene som plasseres rett på grunnmurs sjiktet. Ved bruk av utvendig dampåpen isolasjon (Isodren) oppnås det en toveis uttørking av fuktskadet kjellervegg. Med de andre utvendige isolasjons metodene måtte all uttørking av kjellerveggen fuktighet kun foregå innenfra, noe som ville implisere i veldig lang tid.

Det er nevnt i BKS- Rapport nr.83, at jo høyere innetemperaturen er jo hurtigere går uttørkingen. Dette skjer fordi uttørking prosessen foregår gjennom isolasjon på grunn av damptrykkforskjell mellom grunnmur og jord, forårsaket av temperaturforskjellen over isolasjonen. Rapporten fraråder bruk av innvendig tilleggisolasjon ved bruk av Isodren Drensplate - i hvert fall mens uttørkningsprosessen foregår. Det er også viktig å nevne at grunnmursplate av plast (knasteplate) må monteres på utsiden av isolasjonen og ikke mellom isolasjon og grunnmur, se figurene 23 og 24.



Figur 23: Tegningen viser plasseringen av Isodren Drensplate som er brukt i forbindelse med utvendig isolering av kjelleryttervegg. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)



Figur 24: Tegningen viser hvordan en toveis uttørring av fuktskadede kjellervegg foregår. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)

3.6. Innvendig etterisolering

Denne metoden er anbefalt ved fuktig kjellervegg, såkalt "mindre fuktproblem". Ved evt. bruk av isolasjon, bør begrensning ikke overstige 50 mm for å hindre kondensproblemer på innsiden av grunnmursplaten. Det er også frarådet bruk av dampsperre mellom kledning og isolasjon, uansett må kledningen være lufttett. Denne metoden fritar ikke for omlegging av drenerør på tomte, se figur 25.

De tre viktigste problemene denne løsningen fokuserer på er:

- Risiko for kondens eller høy RF på innsiden av grunnmursplaten.
- Mulighet for uttørring av kjellerveggen via luftspalten mellom grunnmursplate og vegg.
- Risiko for biologisk aktivitet (for eksempel muggvekst) i luftspalten.

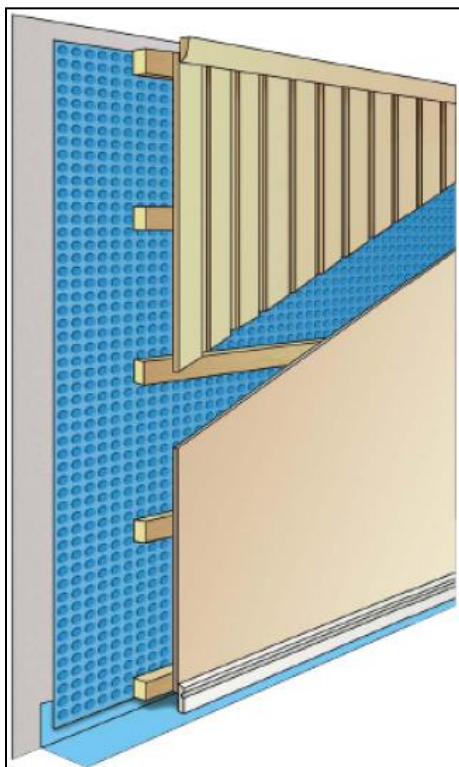
BKS- Rapporten vurderte også dampmotstand på innvendig kledning/sperresjikt, varmemotstand til eksisterende grunnmur, innvendig luftfuktighetsnivå, uteklime og dybde under terreng.

Slike konklusjoner er kommet fram:

- Innvendig isolasjon må ikke være tykkere enn 50 mm. På grunn av kondensfaren og muggvekstrisikoen i utforingen.
- Ved eksisterende grunnmur med en relativ høy varmemotstand, f.eks. grunnmur som er bygd av lettklinker eller et isolasjonssjikt som tilsvarer 50 mm varmeisolasjon, kan da isolasjon i

utforingen ligge mellom 50 og 100 mm. Eller omvendt, hvis eksisterende grunnmur har relativ lav varmemotstand, bør det brukes utforingsisolasjon som er tynnere enn 50 mm eller hvis mulig, ingen isolasjon i det hele tatt.

- Metoden er avhengig av mengde innvendig luftfuktighet. Dess høyere den er, dess mindre isolasjonstykkelse kan tillates, på grunn av høy RF som vil medføre kondensrisiko. Hvis kjelleren inneholder bad eller vaskerom, bør isolasjon sløyfes i utforingen. I godt ventilerte kjellerrom, som f.eks. mekanisk ventilerte rom, kan større isolasjonstykkelse aksepteres.
- Dampsperre mellom kledning og isolasjon er ikke anbefalt for denne metoden, siden det forventes bruk av trebaserte kledninger eller plater som har relativt dampåpen overflatebehandling.
- Det viste seg at utvendig klima har direkte påvirkning for Innvendig relativ fuktighet. Jo lavere temperatur, jo høyere RF og større risiko for kondens og muggvekst. Under slike forhold kan derfor bruk av utforingsisolasjon ikke anbefales.
- Det ble påvist at høyeste risiko for høy RF og kondens ligger over terrengnivå.

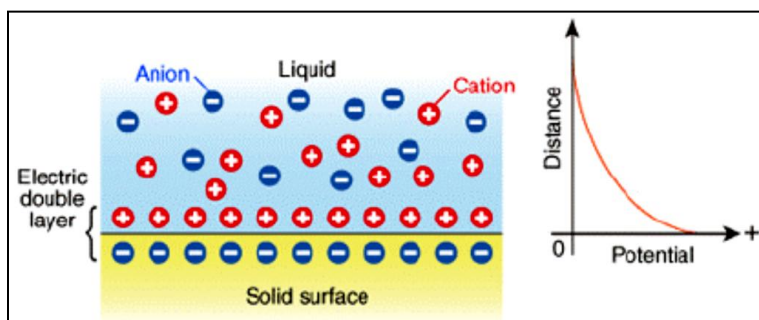


Figur 25: Tegningen viser montering av knasteplate på innsiden av kjellervegg, medfølgende innvendig utlekting og kledning. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)

3.7. Elektrosmose

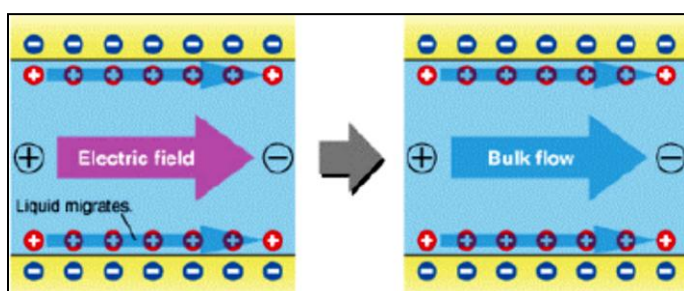
3.7.1. Gjennomgang av den kjemiske reaksjonen

Denne metoden er brukt siden tidlig på 1800-tallet og besto i å utsette et fuktig finkornet materiale for en potensialforskjell. Resultatet av dette var en positiv vannstrøm fra den positive elektroden (katoden) mot den negative elektroden (anoden). Metoden ble for alvor tatt i praktisk bruk på 1930-tallet i Sveits, i forbindelse med uttørking av murveggkonstruksjoner. Det finnes i dag mange varianter av elektrosmose og det brukes hovedsaklig i forbindelse med uttørking av konstruksjoner som er i kontakt med fuktig grunn (utsatt for kapillærsuging). Elektrosmoseprosessen foregår kun i porøse materialer som tegl og betong som har jevnt poresystem (kapillærer) som er helt eller delvis fylt med vann. Når kapillærene blir utsatt for en potensialforskjell, vil kapillærveggene ofte få et negativt potensial. Det er vanlig at vannet i kapillærene (porene) skal inneholde ujevne mengder ioner og elektroner, hvor ioner beveger seg mot elektroner som resulterer i negative kapillærvegger. Videre vil det dannes et elektrisk dobbeltlag ved kapillærveggene, se figur 26.



Figur 26: Forekomsten av dobbelt elektrisk lag på overflaten av kapillærens overflate. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)

Etter at dette elektriske feltet er laget, vil hvert av ionene ta med seg en liten vannandel, som vil bli dratt med sammen inni i kapillærene på grunn av vannets viskøse krefter, se figur 27. Det betyr at en liten og konstant væsketransport blir dannet.



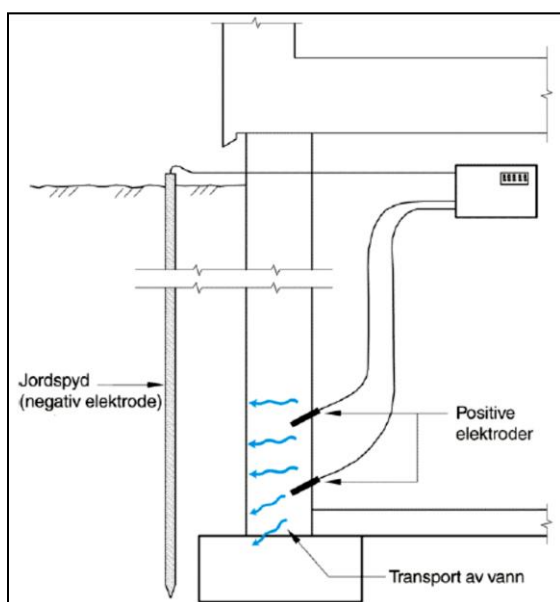
Figur 27: I vannstrømmen finnes det mengder av ioner og elektroner, hvor disse ionene vanligvis beveger seg mot elektroner. Denne reaksjonen gjør at vannet blir transportert til midten av kapillærene. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)

Elektrosmosens effektivitet er avhengig av saltkonsentrasjon i porevannet (antall ioner), må ikke være større enn 0,1 mol/liter. Ved høye konsentrasjoner vil det primært foregå en elektrolyse, som automatisk vil redusere saltinnholdet gjennom ionetransport og elektrodereaksjoner. Etter at

saltinnholdet er redusert til akseptabelt nivå, vil elektroosmosen starte på nytt. Det er viktig at kapillærene(porene) ikke er for store, fordi ionene vil være avhengig av å frakte vannet til midten av porene. Materialer med fine porer som tegl, betong og mørtel vil normalt sett passe til elektroosmose. Elektroosmoseeffekten er direkte proporsjonal med den påtrykte potensialforskjellen. En reell opptørkingseffekt vil sannsynligvis først finne sted ved spenninger over 20 Volt. En høy PH-verdi, d.v.s. at basisk poremiljøer er positive. Høy PH-verdi som finnes i betong og murverk er gunstige for Elektroosmoseeffekten. I materialer med positiv ladning som f.eks. kalksandstein og kalkmørtel eller sure vannløsninger, vil det skje at disse materialene blir positivt ladet i stedet for negativt. I utgangspunktet vil dette føre til i en motsatt reaksjon, der væskestrømmen går motsatt vei - mot den positive elektroden. Dette betyr i praksis at konstruksjonen blir fuktet opp. Elektroosmose er ikke anbefalt for poremiljøer der PH-verdien ligger under 3,5-4, fordi risiko for inversprosess er meget stor. Surt grunnvann kan også forårsake forsuring av porevannet og reversere prosessen. Vanntransport er mer effektiv i grunnforhold av leire enn av sand på grunn av PH-verdier som er henholdsvis 6,5 og 6.

3.7.2. Praktisk bruk av elektroosmose

Metoden baserer seg på å fjerne fuktighet fra kjellerveggene med pulserende likestrøm. Først skal det bores og støpes inn i veggene elektrodeplugger (anoder), som også kan være kabler eller ledninger. Deretter slås ned et jordspyd (katode) i grunnen på utsiden eller grunnmuren innenfra. Til slutt installeres en styringsenhet(som gir strømpulser) med ledninger til anode og katode, slik at grunnen inngår i strømkretsen. Systemet virker med et lavt spenningsnivå (25–30 volt) og lav effekt (5 watt). Hvis det finnes større sprekker og riss i kjellerveggene, må disse repareres før elektroosmosesystemer plasseres. Det finnes på markedet trådløse elektroosmose- systemer der man kan plassere en impulsgiver sentralt i bygget, se figur 28.



Figur 28: Prinsipp for vannutdriving ved elektroosmose. (BKS,727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

Anbefalinger:

- Pulserende likestrøm er muligens mer driftssikker og hensiktsmessig enn rene likestrømsanlegg.
- Elektroosmose fungerer ikke når porene blir for store og derfor sprekker, støpeskjøter og hull må repareres.
- Materialets porestørrelse, PH, Type grunnvann og saltinnhold bør vurderes før elektroosmose- metoden evt. settes i gang (velges).
- Det er viktig å teste at elektroosmosemetoden fungerer for bygningen. Dette kan gjøres ved å sette to elektroder(en anode og en katode) inn i den fuktigste kjellerveggen med 0,5 m avstand og kobles til systemet. I løpet av to dager kan man se om uttørking virker.
- Uttørking i prøveveggene bør godkjennes med et fuktmålingsapparat og dermed bør dokumenteres før evt. elektroosmoseanlegget blir montert permanent. For å unngå feil, like etter at anlegget er montert, bør de samme veggene måles og dokumenteres på nytt for å bekrefte at elektroosmoseapparatet er riktig montert.

3.8. Innbygging av en fuktsperre

Denne metoden er anbefalt for problemer med oppstigende fukt fra fundamentet(kapillærsuging). Metoden går ut på å bygge inn et vanntett horisontalt lag/sjikt, som kan være av metall eller folie ved gulvnivå, slik at fukten hindres å komme opp igjen i vegg. Dette blir gjort ved å sage opp/skjære et lite stykke, på 10-20 mm tykkelse, bortover vegg og deretter legges inn fuktsperresjiktet og til slutt tettes åpningen med hurtigherdende mørtel, se figurene 29 og 30.



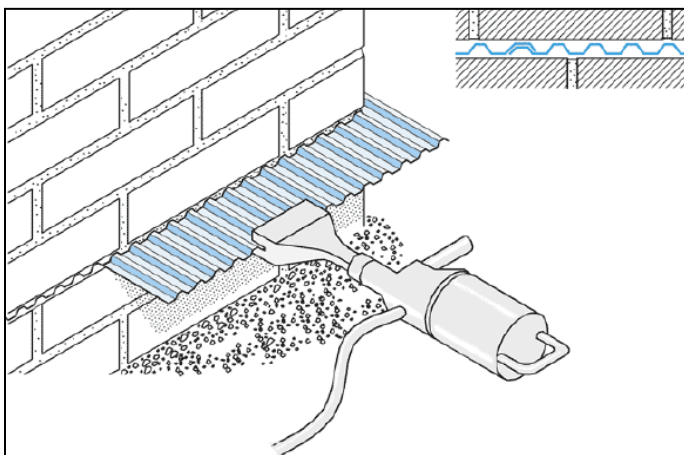
Figur 29: Skjæringsprosessen som foregår automatisk med elektrisk sag. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)



Figur 30: Skjæringsprosessen som foregår manuelt med elektrisk sag. (Sintef, Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger)

3.9. Innføring av et metallsjikt

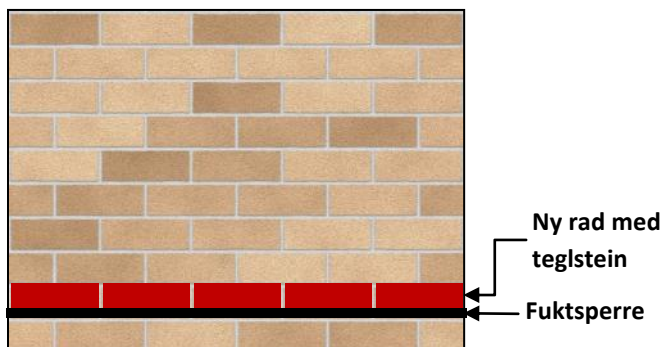
Hensikten med denne metoden er den samme som på Innbygging av en fuktsperre, å hindre oppstigende fuktighet fra grunnen. Forskjellen her er at et vanntett metallsjikt blir presset inn i mørtelfugen (plassert ved gulvnivå) ved hjelp av en trykklufthammer med ca. 1100-1450 slag pr minutt. Metallsjiktene skal være av rustfritt stål og skal overlappe hverandre slik at fuktlekkasje unngås, se figur 31.



Figur 31: Metallsjiktet blir presset inn i mørtelfugen ved hjelp av en trykklufthammer. (BKS, 727.121 Fukt i kjellere årsaker og utbedring)

3.10. Skrittvis uthugging av ett sjikt i teglkonstruksjoner

Formålet med denne metoden er omtrent den samme som ved de to forrige metodene, å hindre oppstigende fuktighet fra grunnen. Det går ut på å hogge ut et sjikt i teglkonstruksjonen (laget som er plassert ved gulvnivå). Deretter legges det inn en fuktsperre som kan være metall eller folie og til slutt mures inn en ny rad med teglstein, se figur 32.



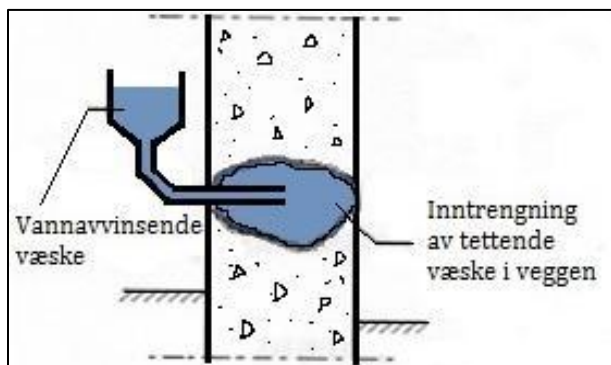
Figur 32: Det legges inn en fuktsperre som kan være metall eller folie og til slutt mures inn en ny rad med teglstein.

3.11. Horizontal injisering av vannavvisende eller tettende væsker

Ved diffusjons- prinsippet bores det horisontale hull med 10-20 cm avstand mellom hver og 2/3 del av veggens tykkelse over terrengnivå (minst 15 cm over terrenget). Deretter injiseres vannavvisende væske ved å sette inn i hvert hull et tipasset rør eller slange festet i ei flaske med vannavvisende væske og til slutt festes disse flaskene på veggen. Når flaskene er tomme tas de ut av veggen og hullene tettes med hurtigherdende mørtel, se figurene 33 og 34.



Figur 33: Ved injeksjonsprinsippet bores det først horisontale hull med 10-20 cm avstand mellom hvert hull. (http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Humidade_Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf)



Figur 34: Deretter brukes det ei flaske med et tilpasset rør eller slange for å injisere vannavvisende væske i veggen. (http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Humidade_Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf)

3.12. Senkning av grunnvannstand

Prinsippet går ut på å senke drensivået og dermed grunnvannsnivået, se figur 35.

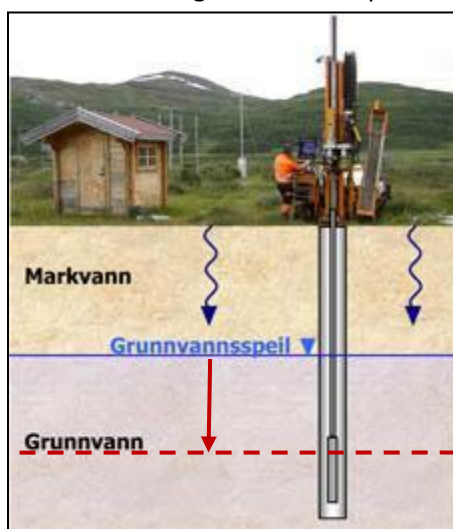
Denne metoden anbefales når:

- Fuktskader skyldes fukt som suges opp fra grunnen.
- Når de andre metodene ikke virker.

Frarådes:

- Hvis veggfundamentet står i vann eller i kapillærforbindelse med fuktig grunn, kan det bli setning på huset og dette kan forverre situasjonen ytterligere.

* Krever derfor geoteknisk ekspertise til å utføre jobben.



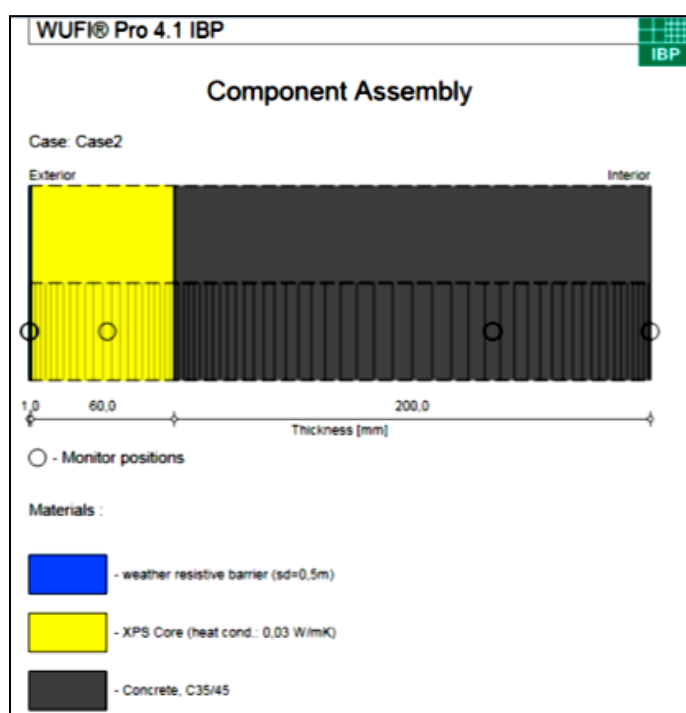
Figur 35: Illustrasjonen viser hvordan senking av grunnvannstand foregår. (http://www.grunnvann.no/overvaking_generelt.php)

4. Metode og oppsett

4.1. WUFI 1D kontra WUFI 2D

WUFI er et dataprogram som ble utviklet på Institutt for byggfysikk (IBP) på Fraunhofer i Tyskland. Programmet foretar datasimulering av fuktighet og varmetransport for bygninger. Det kan gjøres endimensjonalt med WUFI 1D og todimensjonalt med WUFI 2D.

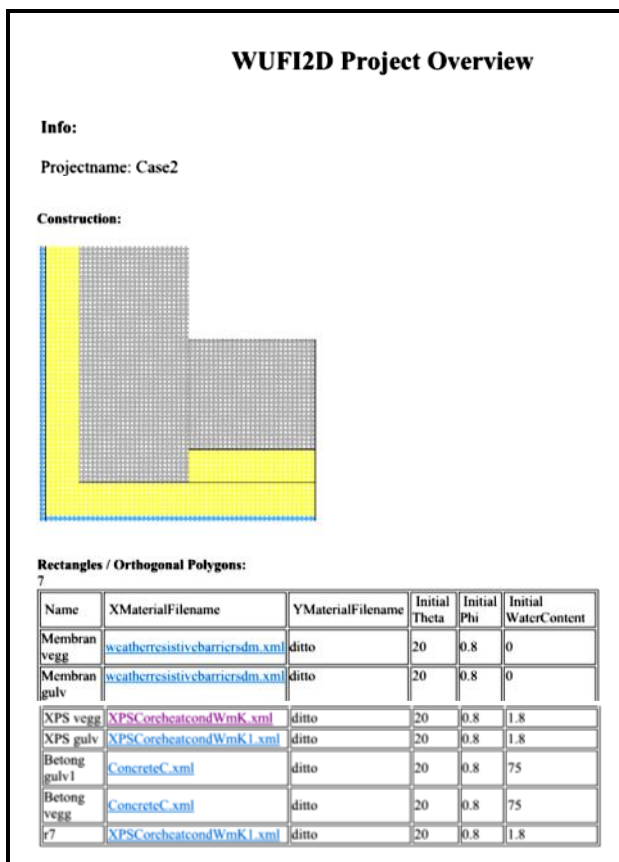
Med WUFI 1D, kan det kun simuleres en endimensjonal bygningsdel av gangen, sjiktene er definert på forhånd med fast størrelse og med forskjellige klimatiske belastninger. Det er ikke mulig å vise fuktlekkasje på et spesifikt sted med dette programmet fordi alt står predefinert, se figur 36.



Figur 36: Endimensjonal simulering med WUFI 1D

WUFI 2D opererer med samme database som WUFI 1D, men forskjellen er at det må tegnes i 2D for hvert sjikt i form av rektangler, ved hjelp av datamus. Korreksjoner av eventuelle feilstørrelser kan gjøres ved manuelle innstillinger av XY- koordinatene, som vises på figuren 37. Dette programmet egner seg utmerket til simulering av f.eks. vann eller fuktlekkasje i en fuktsperre eller membransjikt, og kan analysere forskjellige konstruksjonspunkter samtidig.

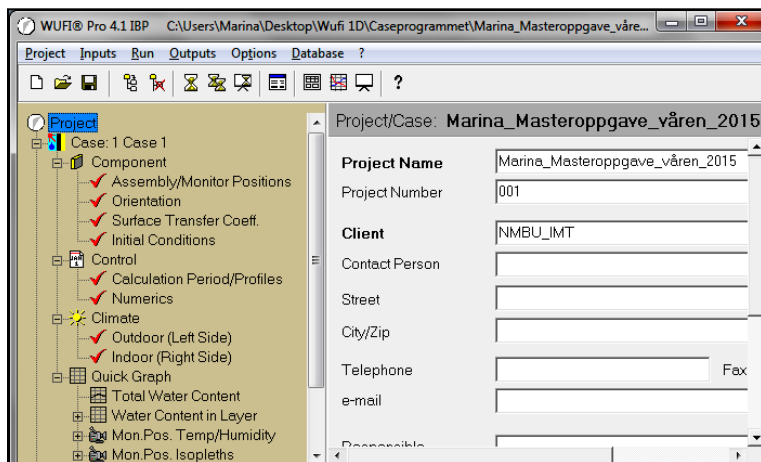
Database for WUFI 1D innebærer predefinerte veggsjikt, fast materialdatabase, utvendige og innvendige standard klimaforhold. Den største materialdatabasen kommer fra Fraunhofer IBT-Tale, der hvor de har testet og utviklet materialene i sitt eget laboratorium.



Figur 37: Todimensjonal simulering med WUFI2D

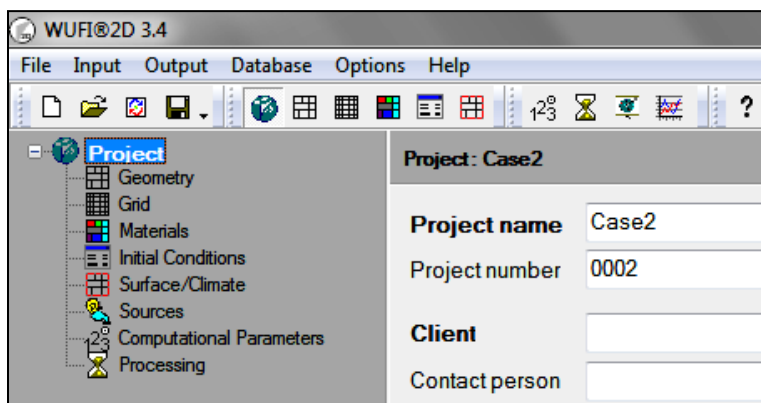
4.2. Prosjektoppbygging for WUFI 1D og WUFI 2D

Figur 38 viser hvordan prosjektoppbygging for WUFI 1D er fordelt. Den er delt i tre hovedgrupper; Komponent, Kontroll og Klima.



Figur 38: Prosjektoppbygging for WUFI 1D

Figuren 39 viser hvordan prosjektoppbygging for WUFI 2D er arrangert. Den er delt i åtte hovedgrupper; Geometri, beregningscelle, material, startbetingelser, overflate/klima, kilder, dataparameter og prosessering.



Figur 39: Prosjektoppbygging for WUFI 2D

4.3. Prosjektoppbygging for WUFI 1D

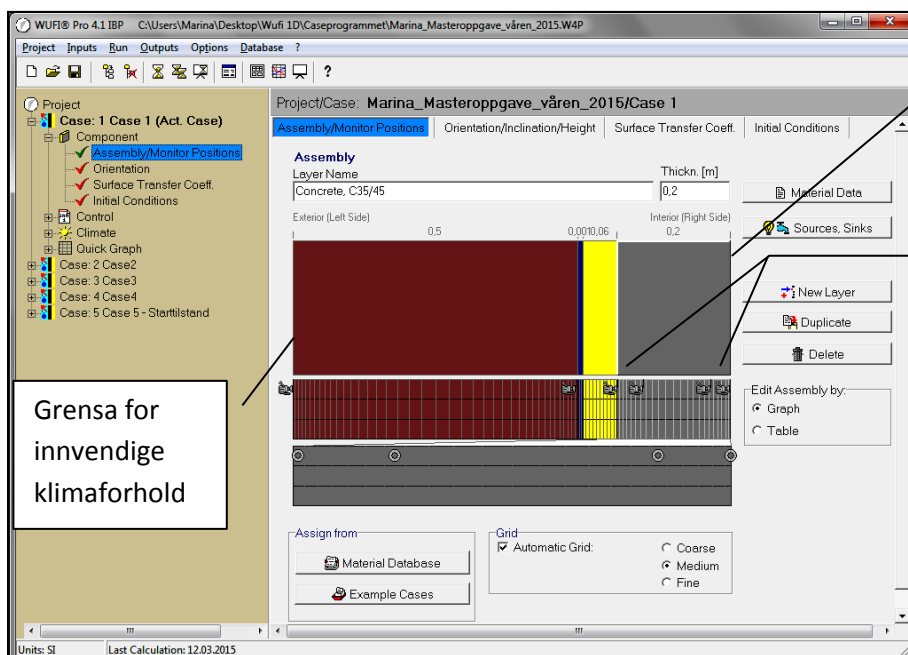
4.3.1. Component(Komponent)

Assembly/Monitor Positions(montering/monitor stillinger)

Her i Assembly(montering) skal man velge materialtype og tykkelse i materialdatabase som ligger under til venstre for layer- illustrasjonen. Grensene for utvendig overflate og klimaforhold(Exterior Surface) tilsvarer den venstre siden av konstruksjonsdelen og Innvendig overflate og klimaforhold(Interior Surface) den høyre siden.

Monitorene er plassert på ytre og indre posisjoner for hvert materialsjikt. I tillegg er det satt to ekstra monitorer enda lengre inn i den indre delen av betongsjiktet, slik at det ble lettere å identifisere vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og spor av muggvekst.

Figur 40 viser hvordan monitorstillinger (monitor positions) står montert i forhold til hvert enkelt veggsjikt.



Grensa for
innvendige
klimaforhold

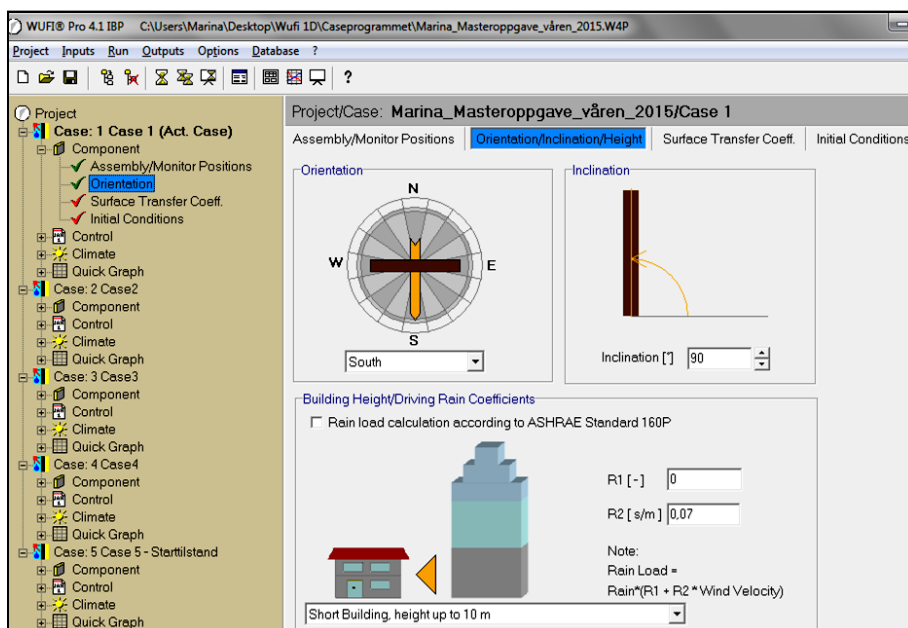
Grensa for utvendige
klimaforhold

Monitorer er satt i
betongsjiktet for å filme
veggenes temperatur og
fuktighet gjennom en
valgt tidsperiode.

Figur 40: I WUFI 1D er det plassert to monitorer, en i den ytterste delen og en i den innerste delen av betongveggen.

Orientation (orientering, helning, høyde)

Her ble det valgt sørlig retning som orientering, helning på 90° som tilsvarer veggvinkel og bygningshøyde inntil 10 meter som tilsvarer lave bygninger. Bygningshøyde er avgjørende for beregning av slagregnpåkjening (R1) og vindbelastning (R2). Her ble R1 lik null og R2 lik 0,07, se figur 41.



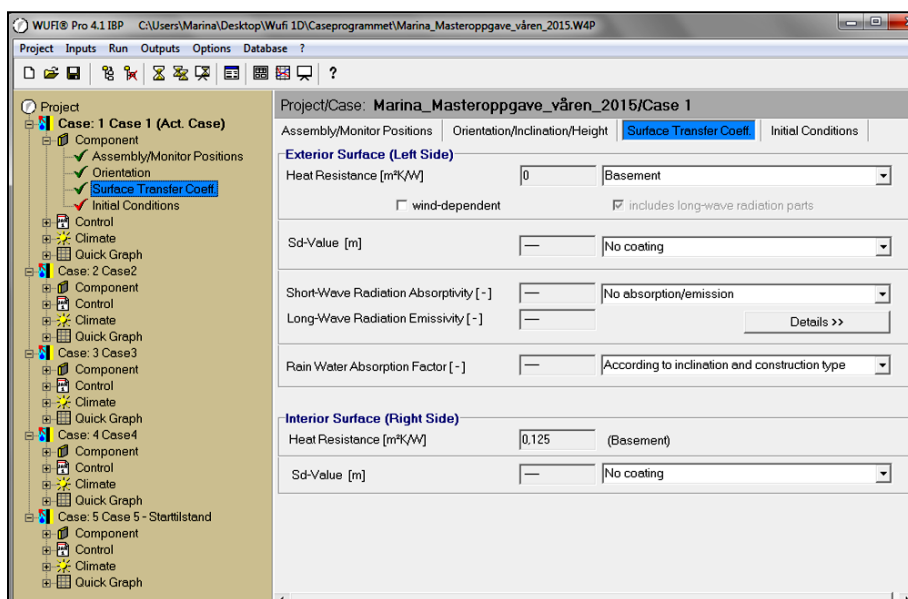
Figur 41: Illustrasjonen viser oppsetting av orientering, helning og høyde.

Surface Transfer Coefficient(overflate-koeffisient)

Koeffisientene for utvendig overflate ble kortbølget strålings-absorpsjon og langbølget- strålings emissivitet lik null fordi det ble valgt kjeller.

Sd-verdi er lik null fordi det finnes ingen luftlagtykkelse eller dampmotstand mellom veggskiktene.

Koeffisientene for innvendig overflate for varmebestandighet(Heat Resistance) ble like 0,125 og sd-verdi ble lik null p.g.a. kjellervalg, se figur 42.



Figur 42: Illustrasjonen viser oppsetting av overflate-koeffisient.

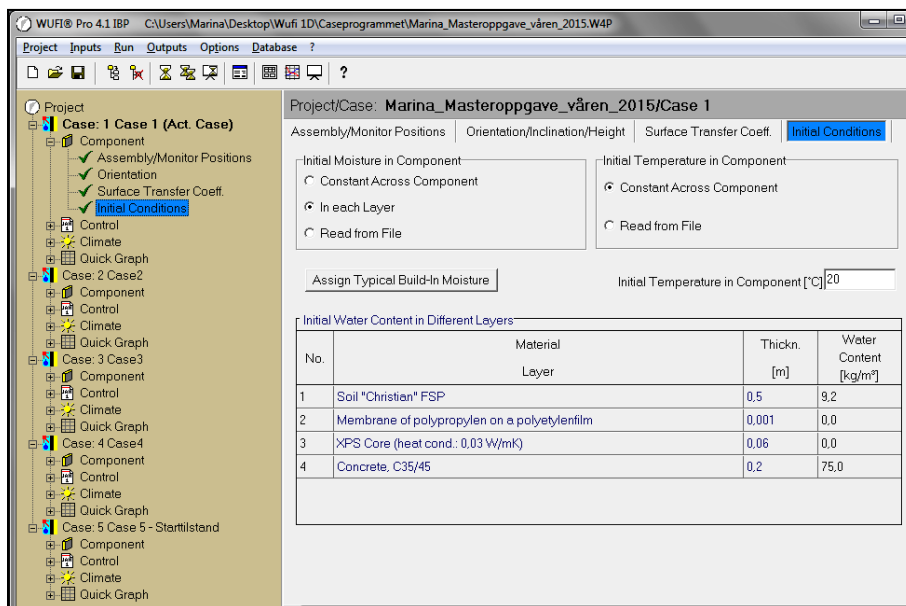
Initial Conditions(startbetingelser)

Startbetingelser er delt i to blokker, startfuktighet i veggskiktet(Initial Moisture in Component) og starttemperatur i veggskiktet(Initial Temperature in Component).

Her i startfuktighets-parameteret (Initial Moisture in Component) ble startfuktigheten beregnet i hvert enkelt lag av veggskiktene(In each layer).

Vedrørende starttemperaturen (Initial Temperature in Component) ble det valgt et konstant temperaturparameter som går gjennom veggskiktene(Constant Across Component).

I figur 43 vises startfuktigheten til de forhåndsvalgte veggskiktene. For eksempel i Case 1 har et 200 millimeter C35/45betongskikt fått vanninnholds- starteverdien på 75,0 kg/m³.



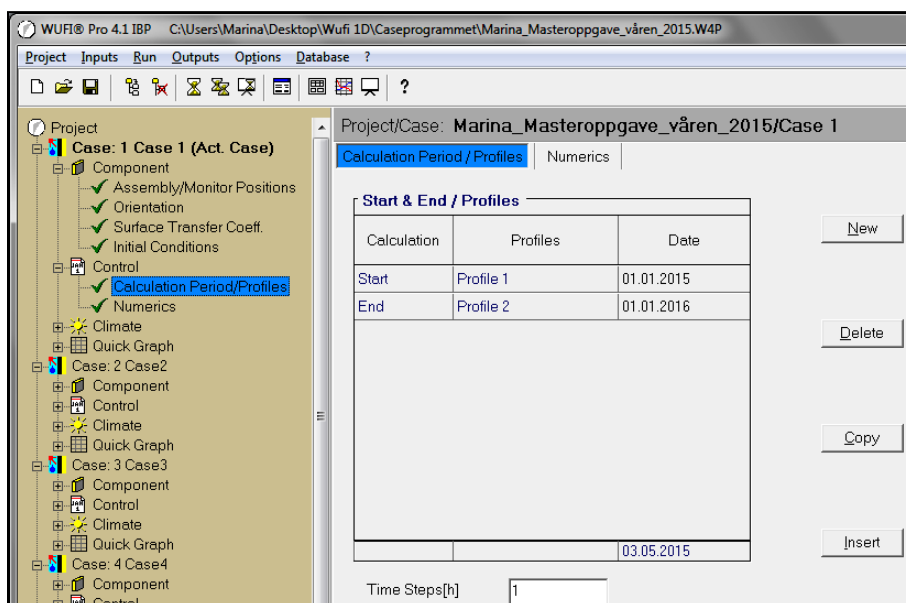
Figur 43: Illustrasjonen viser oppsetning av startbetingelser.

4.3.2. Control(kontroll)

Calculation Period/Profiles(beregningsperiode/profiler)

Beregningsperioden ble definert fra 01.01.2015 til 01.01.2016 og klokkeslett blir beregnet automatisk fra kl.0:00.

Tidsskritt(Timesteps[h]) er satt automatisk til en time som er standardverdi for klimadata og som er basert på timeobservasjoner, se figur 44.



Figur 44: Illustrasjonen viser oppsetning av beregningsperiode og profiler.

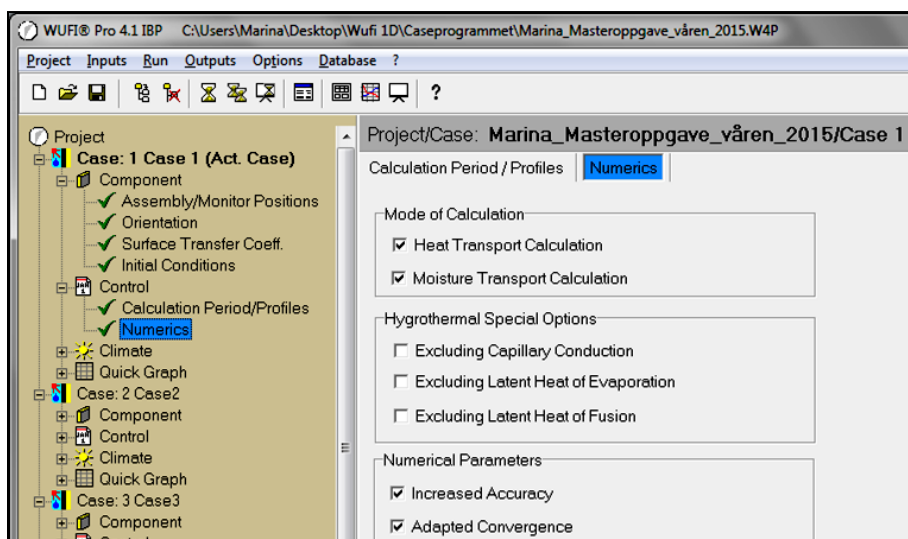
Numerics(numerisk parameter)

I beregningsmodellen(mode of Calculation) er det valgt Fukt- og varmetransport(Heat Transport, Moisture Transport).

Hygrotermiske spesialinnstillinger (Hygrothermal Special Options), her er det ekskludert; kapillærledning (Capillary Conduction), latent varme ved kondensering og/ fordampning(Latent Heat of Evaporation and Latent Heat of Fusion).

Det ble valgt både økt nøyaktighet(Increased Accuracy) og konvergensforbedring (Adapted Convergence), slik at eventuelle numeriske problemer reduseres/unngås, se figur 45.

Konvergensforbedring betyr å forbedre tilnærmedesverdier som konvergerer(verdier som går parallelt mot uendelig).



Figur 45: Illustrasjonen viser oppsetting for numerisk parameter.

4.3.3. Climate(overflate/klimaforhold)

Klimaparameteret er delt i to vinduer. Et for uteklima og det andre for inneklimate.

WUFI 1D tar hensyn til regnbelastning, solstråling og nattutstråling avhengig av komponentens eksponeringsretning og helning. Temperatur- og fuktighetstilskudd kan bestemmes for inneklimate. Innendørs dampinnhold er avhengig av det aktuelle dampinnhold utendørs.

For WUFI1D er grensen for innvendige klimaforhold tilsvarende den høyre veggen og for utvendige den venstre. Kan sees i figur 40 på begynnelsen av side 36.

Outdoor(Left Side)/utvendig klimaforhold

Under simuleringen av WUFI- programmene ble det brukt en egendefinert klimafil(wac-fil) for utvendige klimaforhold. Den egendefinerte klimafilen inneholdt ekstremt mye nedbør mange dager på rad i en viss periode noen ganger i løpet av en ett-års periode, se figur 46.

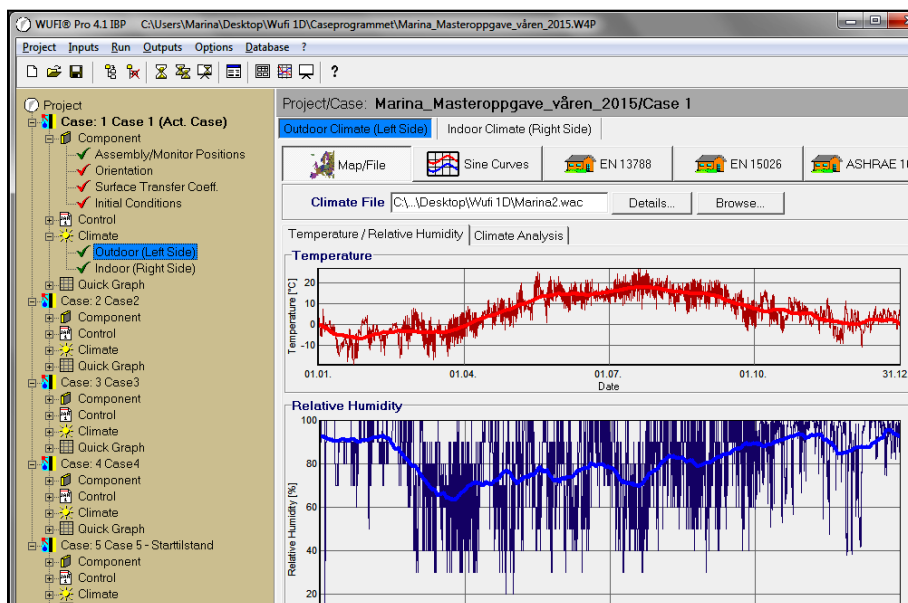
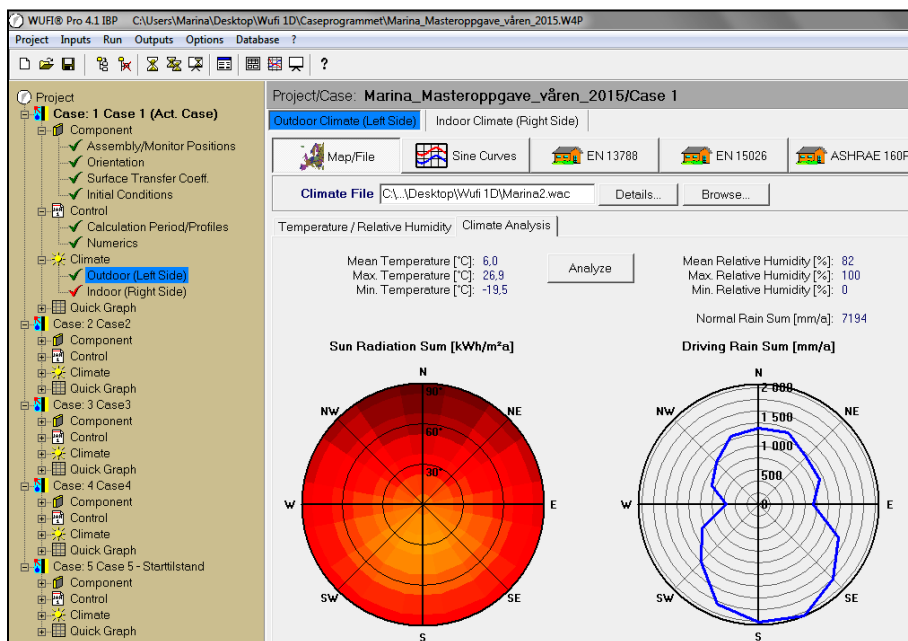


Fig 46: Viser utvendig klimaforhold fra WUFI1D med egen definert klimafil (Marina2.wac).

Deretter ble det valgt klimaanalyse (Climate Analysis) for å beregne solstrålingsmengde (Sun Radiations Sum[kWh/m²a]) og total slagregnmengde (Driving Rain Sum[mm/a]) for den egen definerte klimafilen. Figur 46 viser at slagregnmengde ble på 7194mm/a ved en relativ fuktighet på 82% og en middeltemperatur på 6°C, se figur 47.



Figur 47: Her er det foretatt en klimaanalyse for å undersøke solstrålingsmengde.

Indoor(Right Side)/innvendig klimaforhold

Det Innvendige klimaforholdet ble basert på EN15026-standard, som er standard for de hygrotermiske ytelser til bygningskomponenter og bygningsdeler. Den er brukt i forbindelse med vurderingen av fukkttransport til beregning av numerisk simulering, se figur 48.

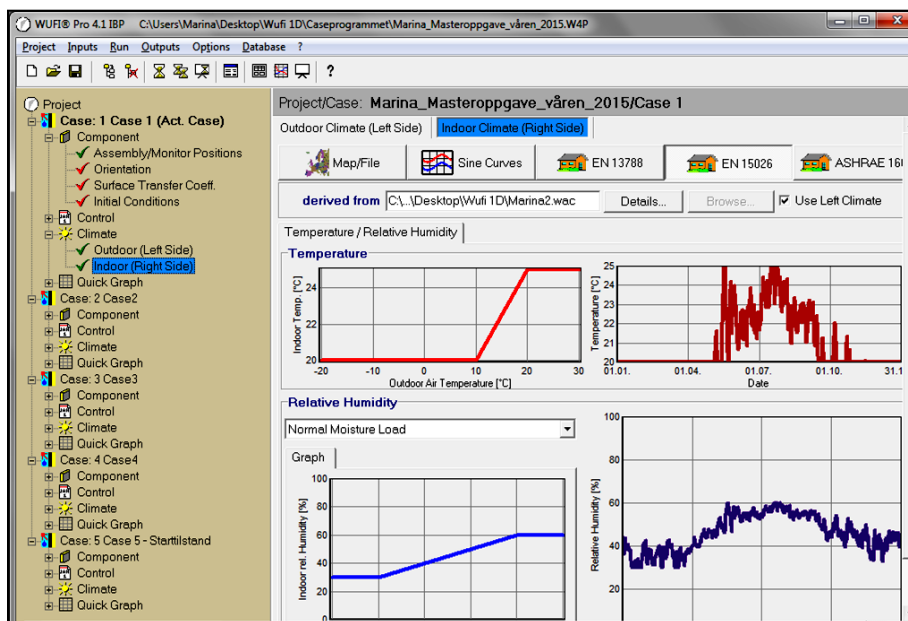


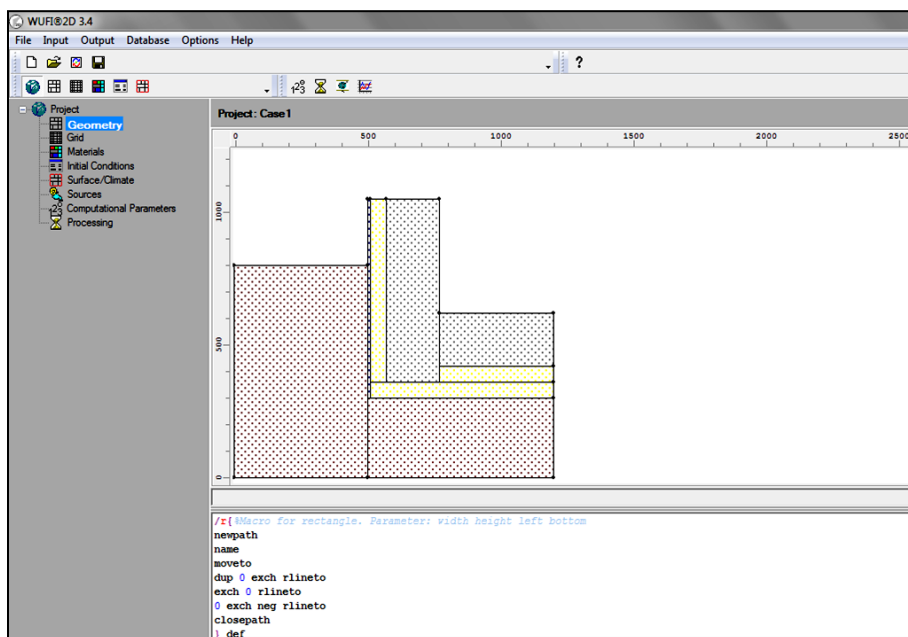
Fig 48: Viser innvendig klimaforhold fra WUFI1D basert på EN15026.

4.4. Prosjektoppbygging for WUFI 2D

4.4.1. Geometry (geometri)

Figuren 49 viser dialogboksen for den strukturelle geometri av X- og Y- koordinater.

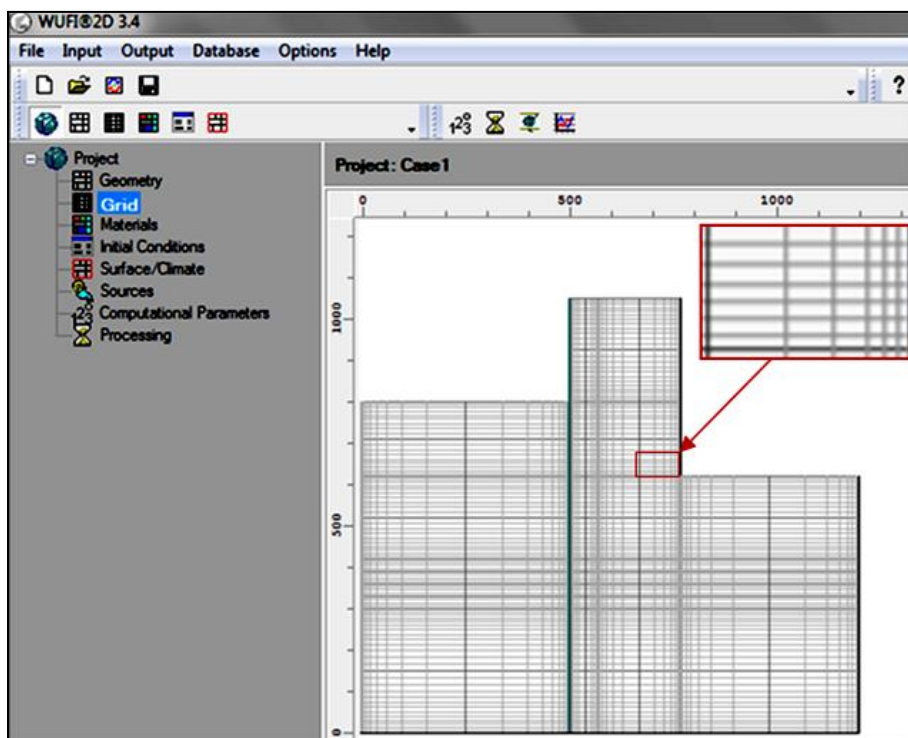
Hvert enkelt materiale blir trukket i form av rektangler som kan justeres gjennom en ledertekst under tegningen, i form av koordinatsystem (høyde [y], lengde [x], avs. fra veggen, avs. fra gulvet). P.g.a. at WUFI 2D- programmet baserer seg på numeriske metoder, kan det ikke trekkes i trekantet eller sirkulært mønster.



Figur 49: Illustrasjonen viser oppsetting av geometri (geometry).

4.4.2. Grid (beregningceller)

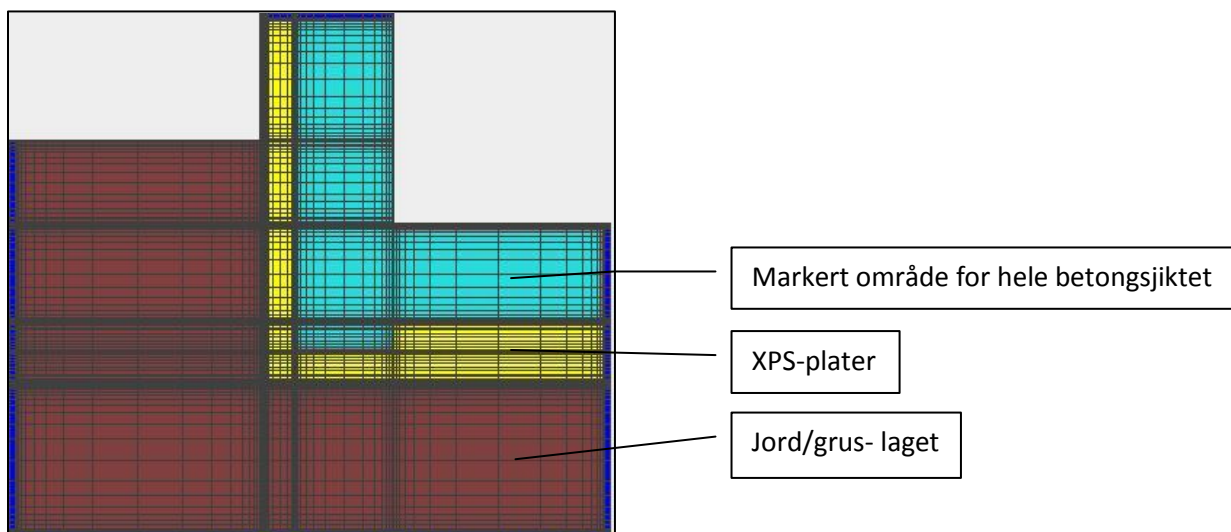
Programmet baserer sine utregninger på numeriske metoder, som gjør krav på at komponenter deles inn i ulike gitterelementer (beregningceller). Gitterelementene er firkanter i forskjellige størrelser, hvor den nærmeste terskelen er inndelt i små nettingelementer og det midterste laget er større gitterelementer. WUFI 2D foreslår et automatisk system for gitterdivisjon, men hvis det er nødvendig kan det bestemmes manuell gitternøyaktighet gjennom tre forskjellige nivåer; fine, medium og grove. Nivåene kan spesifiseres i både X- og Y-retningen. Mer gitternøyaktighet betyr mer nøyaktige anslag, men også økt beregningstid, se figur 50.



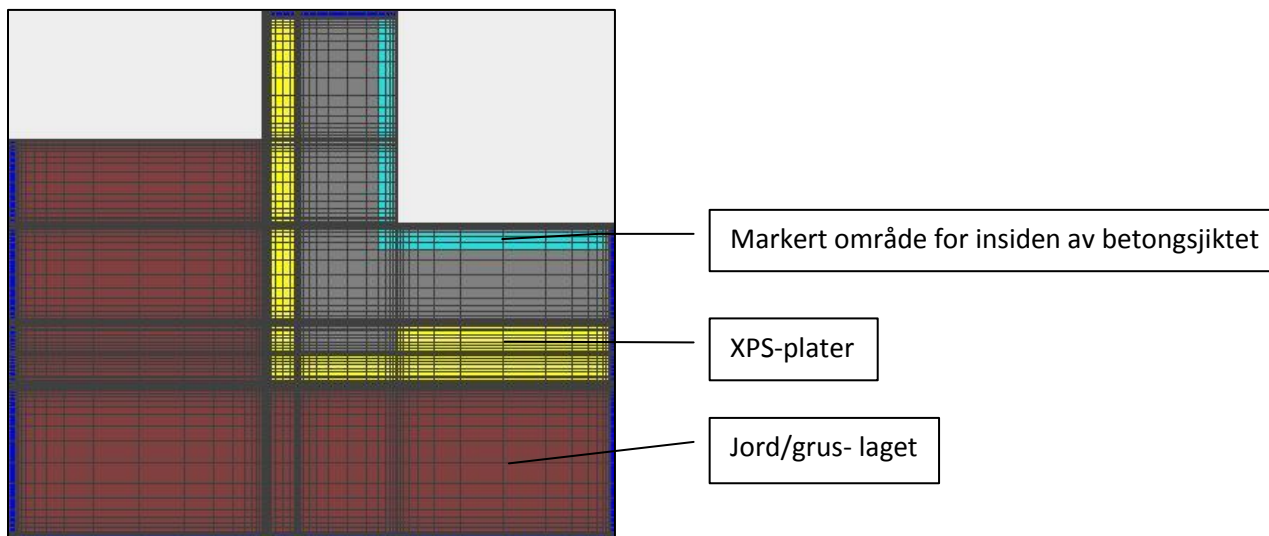
Figur 50: Illustrasjonen viser oppsetting for gitterelementer(beregningsceller).

Simuleringsarealet

Under simuleringen av vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og muggvekstfare ble hele og insiden av betongsjiktet valgt, se figur 51 og 52.



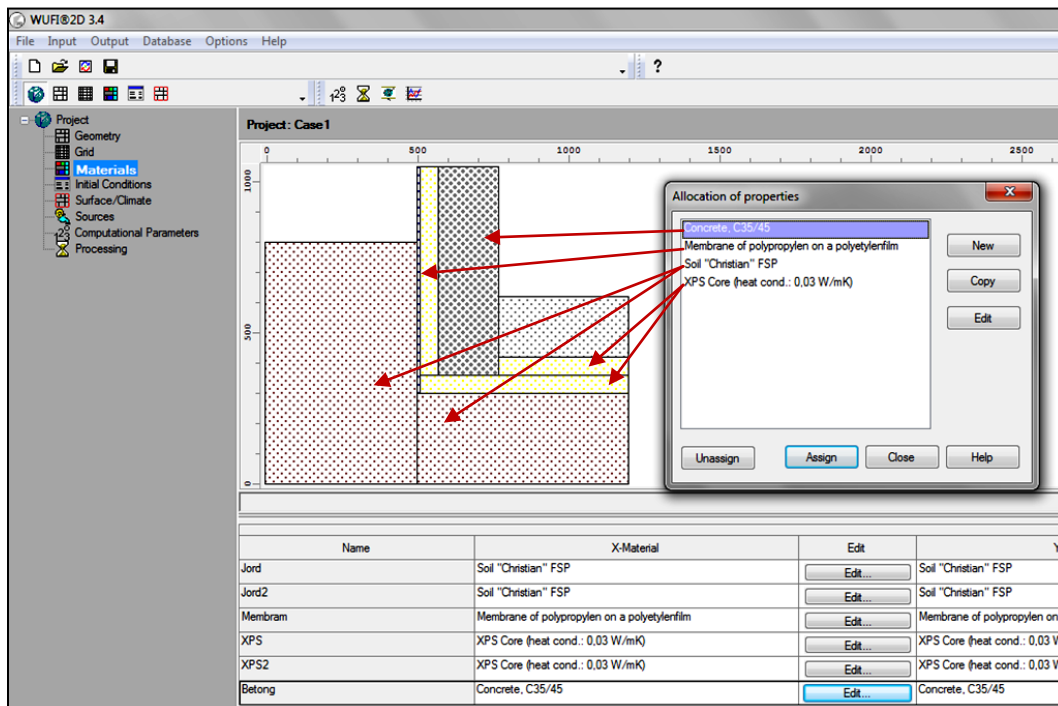
Figur 51: I WUFI 2D, den delen som er markert i turkis-farge tilsvarer hele konstruksjonens betongsjikt.



Figur 52: I WUFI 2D, den delen som er markert i turkis-farge tilsvarer innsiden av konstruksjonens betongsjikt.

4.4.3. Materials(materialer)

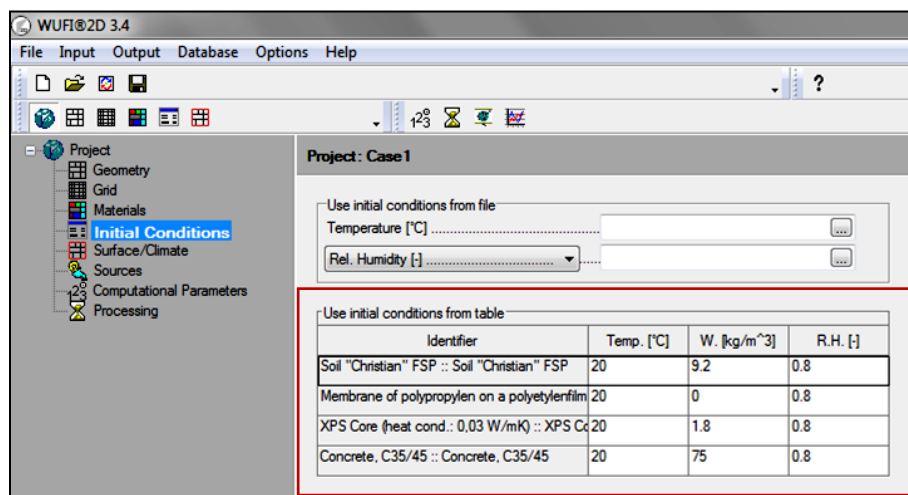
Videre i prosessen ble materialtype bestemt for hvert lag fra programmets materialdatabase, se figur 53. Den største database er Fraunhofer IBP- tallet, der hvor de har testet og utviklet materialene i sitt eget laboratorium. Der er også inkludert svensk og norsk materialdatabase.



Figur 53: Illustrasjonen viser oppseting for materialtype.

4.4.4. Initial Conditions (startbetingelser)

Her er det tatt utgangspunkt i startbetingelser fra tabellen nedenfor. Relativ Fuktighet beregnes i [%], fuktighetsinnhold i [kg / m^3] og temperatur i $^{\circ}\text{C}$, se figur 54.



Figur 54: Illustrasjonen viser oppsetting av startbetingelser.

4.4.5. Surface/Climate (overflate/Klima)

Her er det valgt utvendige -, innvendige, -adiabatiske og underjordiske klimaforhold.

Deretter skal det innstilles for overflatekoeffisientene og , som vist i WUFI 1D, se figur 54.

Til slutt velges klimaalternativene nedenfor, figurene 55, 56 og 57 . For ytterligere informasjon se i WUFI 1D- beskrivelse for overflate og klimaforhold (side 39).

Adiabatisk forhold er en lukket omgivelse som er uten luftutveksling.

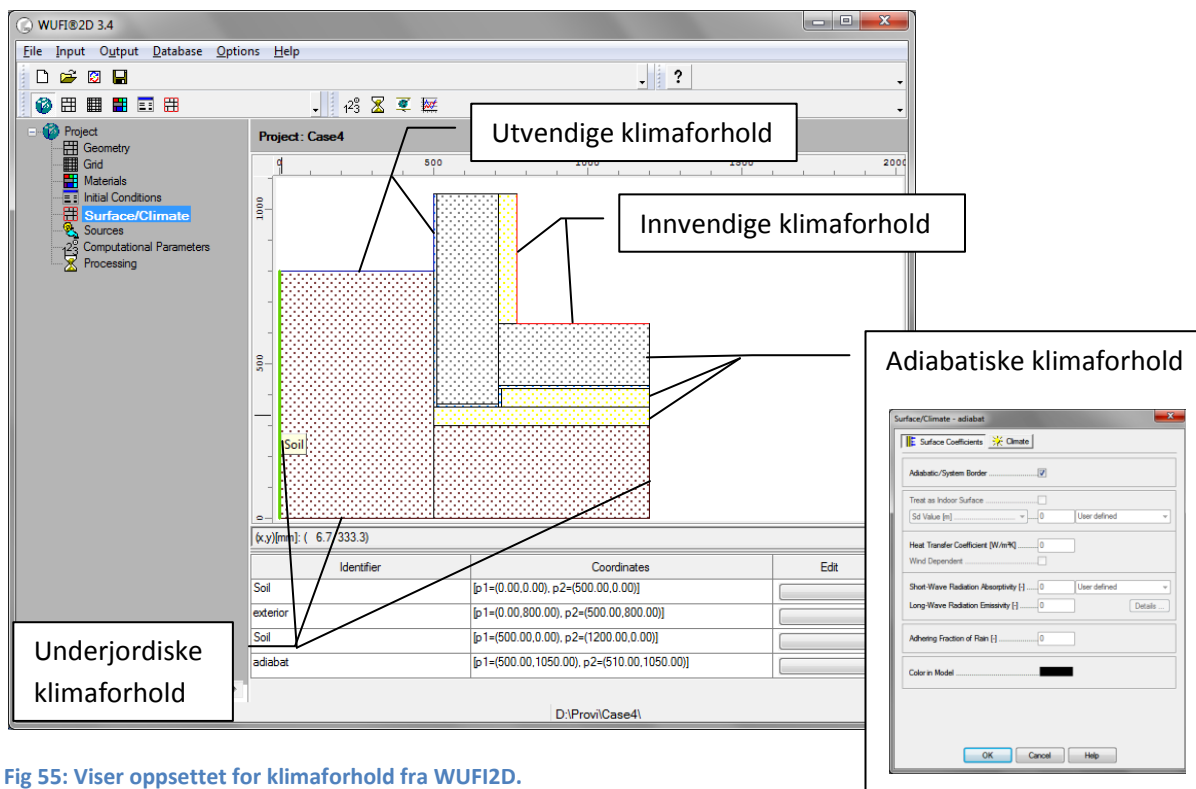


Fig 55: Viser oppsettet for klimaforhold fra WUFI2D.

Utvendig klimaforhold

Som i WUFI 1D ble det brukt under simuleringen av WUFI 2D en egendefinert klimafil(wac-fil) for utvendige klimaforhold. Den egendefinerte klimafilen inneholdt ekstremt mye nedbør mange dager på rad i en viss periode, noen ganger i løpet av en ett-års periode, se figur 56.

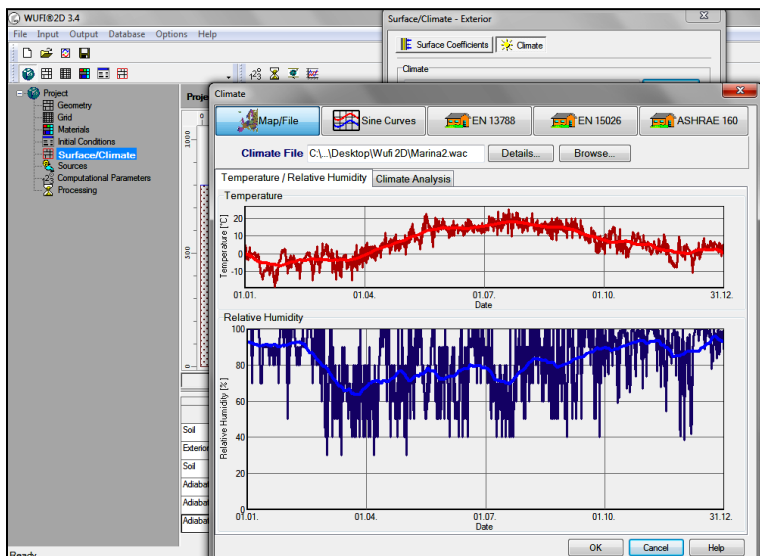


Fig.56: Egendefinert wac-fil til utvendige klimaforhold

Innvendig klimaforhold

Det Innvendige klimaforholdet i WUFI 2D ble også basert på EN15026-standard, som er standard for de hygrotermiske ytelser til bygningskomponenter og bygningsdeler. Den er brukt i forbindelse med vurderingen av fukttransport til beregning av numerisk simulering, se figur 57.

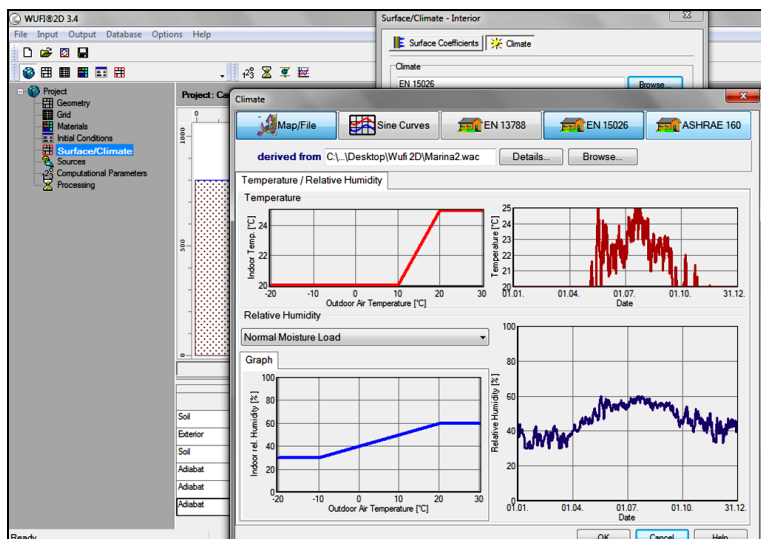


Fig.57: Innvendige klimaforhold basert på EN15026

Underjordiske klimaforhold

Til slutt ble det for underjordiske klimaforhold brukt WTA recommendation 6-2-01/E som er den anbefalte simuleringen av varme- og fuktighetstransport i hht. WTA, se figur 58.

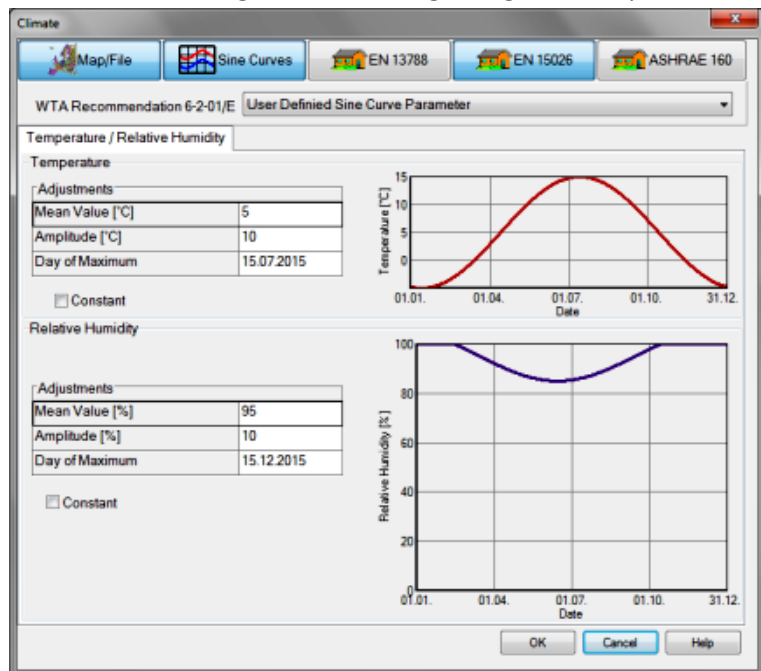
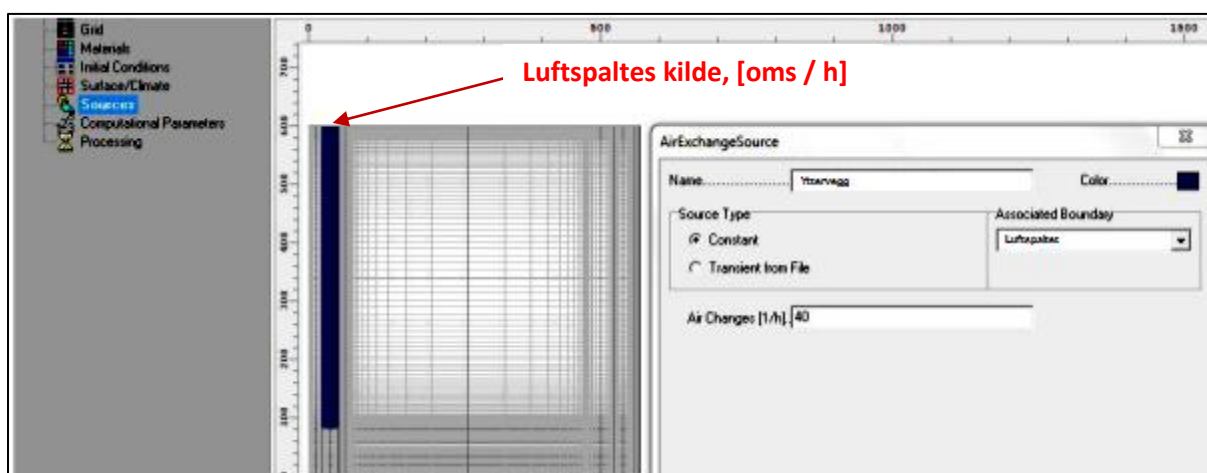


Fig.58: Underjordiske klimaforhold basert på WTA recommendation 6-2-01/E

4.4.6. Sources (kilder)

Figuren 58 viser et eksempel på hvordan luftgjennomgang legges inn. Eksemplet på kilder inkluderer luftendringer i luftgapet (Air Exchange Source), vannlekkasje i form av en andel regn og varmekilde i form av innfallende solstråling. Casene brukt i denne rapporten inneholder ikke luftspalte mellom sjiketene, se figur 59.



Figur 59: Illustrasjonen viser oppsetting av luftspaltes kilde.

4.4.7. Computational Parameters (beregningsparametere)

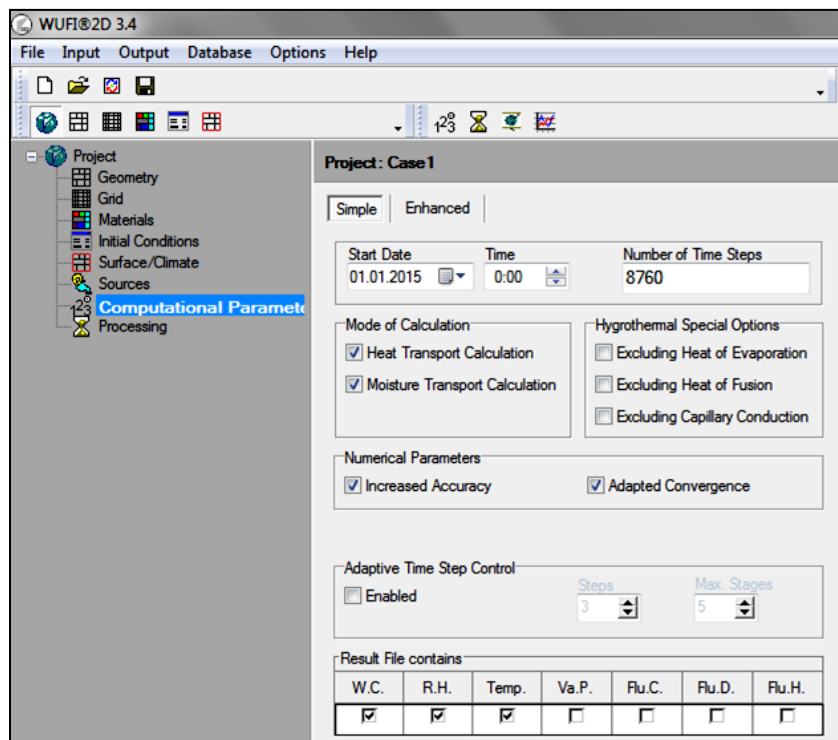
Tidsperioden for case 1 og alle de andre casene er basert på en et årsperiode (fra 01.01.2015 til 01.01.2016). D.v.s. lik 8760 tidsskritt (Number of Time Steps) som tok en kalkulasjonstid i dette tilfelle på ca. 208 minutter.

Akkurat som i WUFI 1D ble det under beregningsmodellen (mode of Calculation) valgt Fukt- og varmetransport (Heat Transport, Moisture Transport).

Hygrotermiske spesialinnstillinger (Hygrothermal Special Options), her er det ekskludert: kapillærledning (Capillary Conduction), latent varme ved kondensering og/ fordampning (Latent Heat of Evaporation and Latent Heat of Fusion).

Det ble valgt både økt nøyaktighet (Increased Accuracy) og konvergensforbedring (Adapted Convergence), slik at evt. numeriske problemer reduseres/unngås.

Som innhold for resultatfilene (Resultat File Contains) ble det valgt vanninnhold (W.C.), relativ fuktighet (R.H.) og temperatur (Temp.), se figur 60.

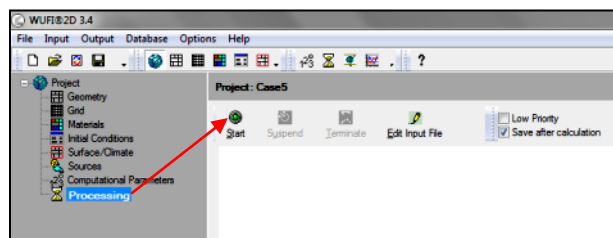


Figur 60: Illustrasjonen viser oppsetting av beregningsparametere.

4.4.8. Processing (prosessering)

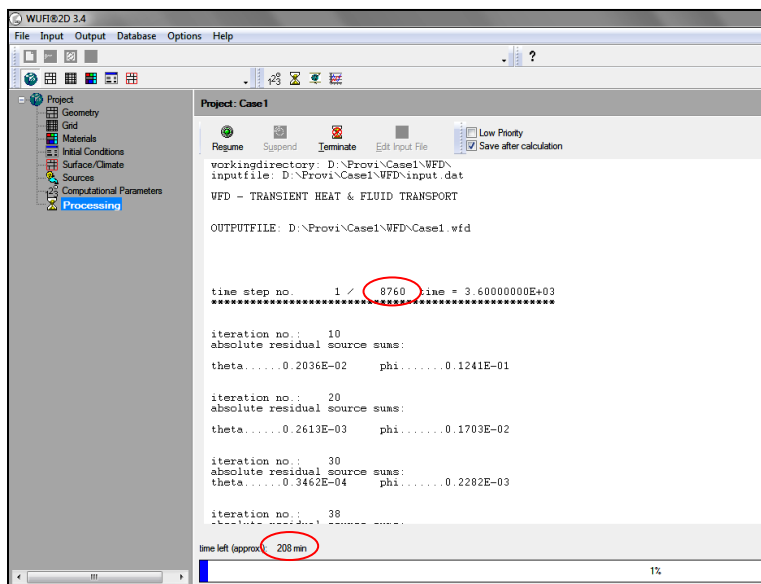
For å unngå at andre kjørende dataprogrammer blir prioritert først, ble ikke "lav prioritetsprosjektet" (Low Priority project) valgt.

Det ble valgt "Save after calculation", slik at WUFI-programmet lagret beregningene automatisk like etter kalkulasjonen, se figur 61.



Figur 61: Illustrasjonen viser oppsetting av prosessering.

Figur 62 viser at i case 1 har 8760 tidsskritt (Number of Time Steps) tatt en tilnærmet kalkulasjonstid på 208 minutter.



Figur 62: Illustrasjonen viser igangsatt prosessering.

5. Resultat av numerisk simulering

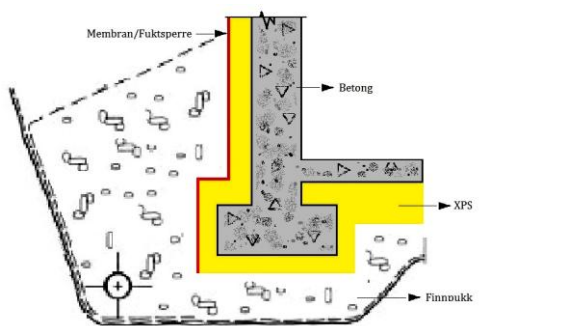
5.1. Foreslåtte tiltak

Her skal det foreslås 4 forskjellige tiltak som er basert på de eksisterende. Disse skal simuleres i WUFI 1D og 2D- programmene sammen med Case 5 som er den starttilstanden, hvor gulvet og veggene består av bare ett betongsjikt.

Der skal det kjøres en simuleringsperiode på ett år, det vil si at WUFI skal beregne 8760 tidsskritt. Tidsperioden starter 01/01/2015 og slutter 01/01/2016.

Videre i prosessen skal det lages tabeller og grafer med vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og muggvekstfare. Sluttelig skal alle casene sammenlignes og analyseres og trekke et resultat av det.

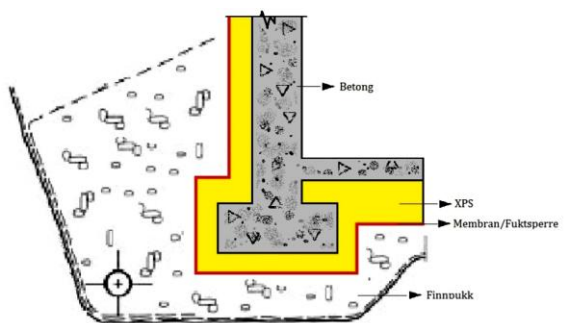
Av praktiske hensyn er det anbefalt en værbestandig og vedlikeholdsfri fuktsperre, helst i flytende form som ikke trenger å skiftes. Når det gjelder terrenget og dreneringen, skal henvisningene i BKS side 727.121 følges, nevnt i denne rapporten på side 20 (Avledning av overflatevann) og på side 21 (Utvendig isolering og drenering, løsning 1).



Figur 63: Illustrasjon til løsning 1 (Case 1).

Løsning 1 (Case 2)

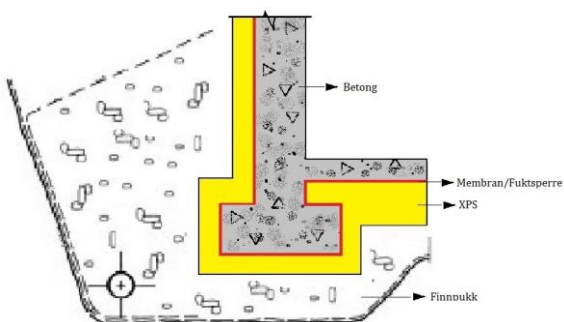
I løsning 1, Case 1 for både WUFI 1D og 2D er det foreslått at fuktsperre skal ligge på utsiden av XPS-plate. Her skal fuktsperre kun dekke den utvendige delen av kjellerveggene. Fuktsperren skal danne et helt lag slik at den hindrer fuktlekkasje gjennom XPS-platene til betongsjiktet, se figur 63.



Figur 64: Illustrasjon til løsning 2 (Case 2).

Løsning 2 (Case 3)

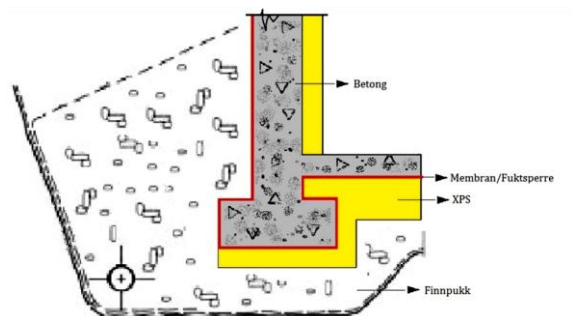
I løsning 2, Case 2 for både WUFI 1D og 2D, er det foreslått at fuktsperre skal ligge på utsiden av XPS-plate, og det skal dekke hele ytterdelen av kjellerkonstruksjonen til og med fundamentsøylene. Fuktsperren skal danne et helt lag slik at den hindrer fuktlekkasje gjennom XPS-platene til betongsjiktet, se figur 64.



Figur 65: Illustrasjon til løsning 3 (Case 3).

Løsning 3 (Case 3)

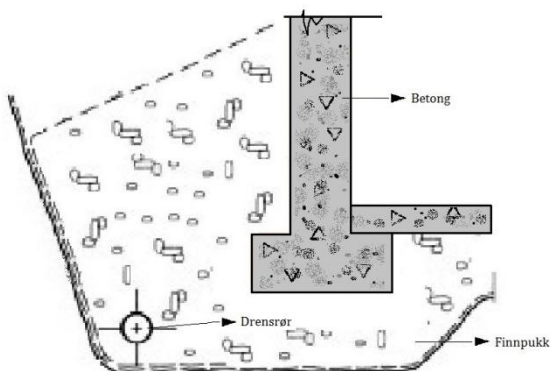
I løsning 2, Case 2 for både WUFI 1D og 2D, er det anbefalt at fuktsperre skal ligge mellom XPS-platene og betongsjiktet, og det skal dekke hele ytterdelen av kjellerkonstruksjonen til og med fundamentsøylene. Fuktsperren skal danne et helt lag slik at den hindrer fuktlekkasje gjennom betongsjiktet, se figur 65.



Figur 66: Illustrasjon til løsning 4 (Case 4).

Løsning4 (Case 4)

I løsning 4 er det foreslått to forskjellige løsninger - én for veggene og én for gulvet. For veggene er det slik at fuktsperre skal ligge på utsiden av betongsjiktet og for gulvet skal fuktsperre ligge mellom XPS-platene og betongsjiktet. Fuktsperren skal danne et helt lag slik at den hindrer fuktlekkasje gjennom betongsjiktet (gjelder for vegg-løsningen) og mellom XPS-platene til betongsjiktet (gjelder for gulv-løsning), se figur 66.



Figur 67: Illustrasjon av Case 5 (starttilstanden).

Starttilstand (Case 5)

Starttilstand tilsvarer Case 5, som kun består av et 200mm betongsjikt. Det eneste som beskytter gulv og vegger er pukk og drensrør.

Siden konstruksjonen er ubeskyttet, er det forventet en betydelig mengde fuktighet fra grunnen, se figur 67.

5.2. Casebetingelser for WUFI-beregninger

Betingelser som ble valgt på WUFI-programene er beskrevet i punktene nedenfor:

Utendørs klimaparameter

- **Område:** Basert på en egendefinert fil (Marina2.wac)
- **Klima-standard:** Basert på en egendefinert fil (Marina2.wac)
- **Helning (vegg):** 90°
- **Retning:** Sørvendt

Innendørs klimaparameter

- **Klima-standard:** EN15026

Overflate-koeffisienter

- **Utvendige parameter:** Fordi det ble valgt kjeller som konstruksjonstype for simulering, er da sd-verdi, kortbølget strålings-absorpsjon og langbølget- strålings emissivitet lik null.
- **Innvendige parameter:** Dampmotstand ble lik 0,125 og sd-verdi lik null.

Materialparameter

Tabell A viser en generell beskrivelse av materialegenskapene (gjelder for begge WUFI- programmer).

Materialtype	Tykkelse [mm]	Densitet [kg/m ³]	Porøsitet [m ³ /m ³]	Varmekapasitet [J/kg*K]	Termisk Konduktivitet [w/m*K]	Vanndamps diffusjonsfaktor
Betong C35/45	200	2220	0,18	850	1,6	248
PP-membran	1	130	0,001	1500	3	17
Water Resistive Barrier(membran)	1	130	0,001	2300	2,3	500
XPS-plater	60	40	0,95	1500	0,03	100
Soil" Christian" FSP(jordlag)	500	2500	0,5	1000	2	50

Tabell A

Tabellen B viser materialene som ble brukt i forbindelse med alle casene (gjelder for begge WUFI- programmer).

Materialvalg for hver case					
Materialtype	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Betong C35/45	X	X	X	X	X
PP-membran	X				
Water Resistive Barrier(membran)		X	X	X	
XPS-plater	X	X	X	X	
Soil" Christian" FSP(jordlag)	X	X	X	X	X

Tabell B

I case 1 fra WUFI2D ble WRB-membran (Water Resistive Barrier 0,5m) sammenlignet med PP-membran (polypropylen membran).

Her kan vi se forskjellen på at vanninnholdet, den relative fuktigheten og temperaturen mellom Water Resistive Barrier- membran og polypropylen- membran er minimal, se tabell C.

Membrantype	WRB		PP-membran	
	Start	End	Start	End
Vanninnhold [kg/m ²]	75,000	55,120	75,000	55,153
Relativ fuktighet [%]	80,000	55,681	80,000	55,706
Temperatur [oC]	20,000	17,719	20,000	17,721

Tabell C

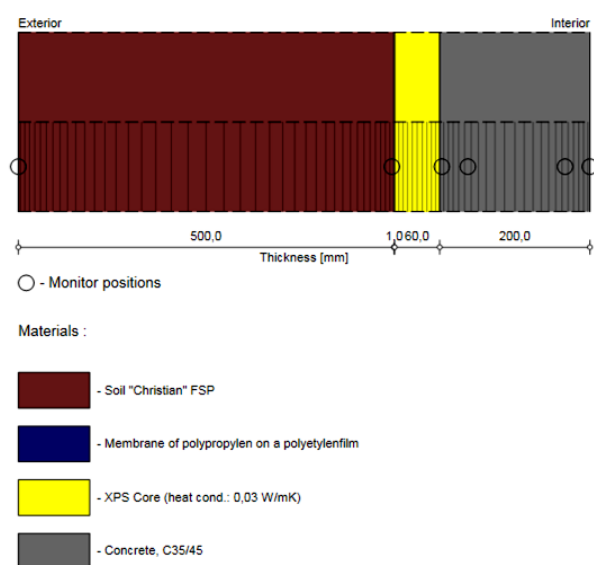
5.3.Veggkonstruksjon for hver case

For WUFI 1D er monitorplasseringene satt på ytre og indre posisjoner for hvert materialsjikt. I tillegg er det satt to ekstra monitører enda lenger inn i ytre og indre posisjoner av betongsjiktet, slik at det er lettere å identifisere vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og spor av muggvekst. Disse opplysningene ble sammenlignet gjennom tabeller og grafer på side 60.

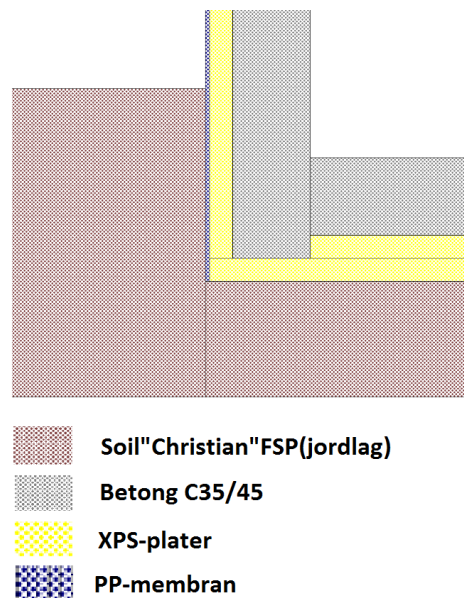
Case 1:

Her ble det utvendig valgt et 500mm tykt jordlag, et 1mm membransjikt med polypropylen på en polyetylenfilm og 60mm XPS-plater(ekstrudert polystyren). Innvendig ble det brukt et 200mm tykt betongsjikt av C35/45 kvalitet til både gulvet og veggene. Membransjiktet skal kun dekke de utvendige kjellerveggene, se figur 68.

WUFI 1D



WUFI 2D

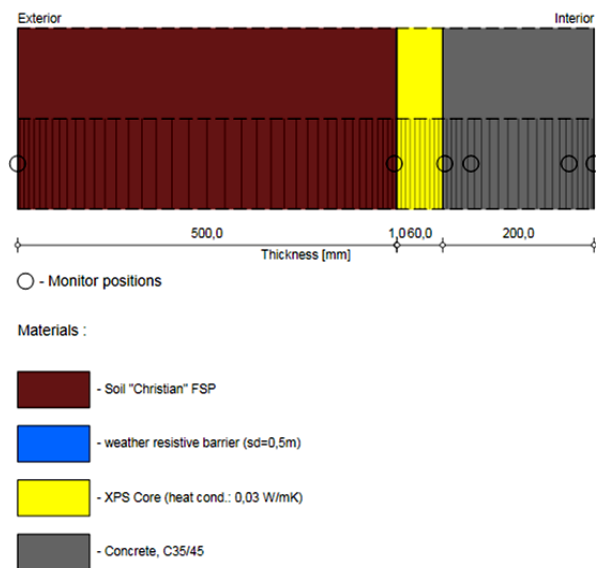


Figur 68: Plasseringen av veggskiktene i case 1 for hhv. WUFI 1D og 2D

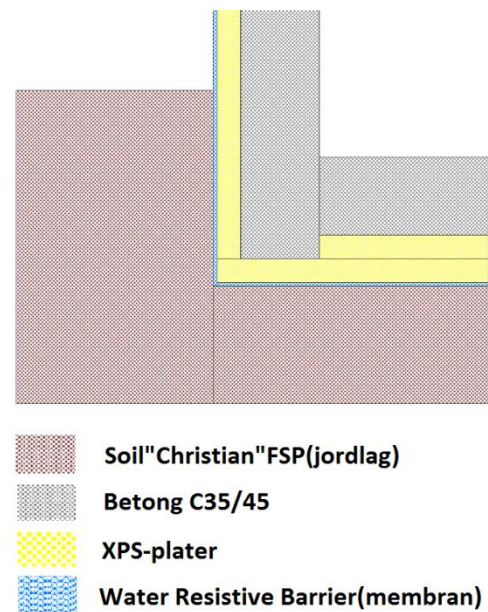
Case 2:

Her ble det utvendig valgt et 500mm tykt jordlag, et 1mm membransjikt med Weather Resitive Barrier(membran) og 60mm XPS-plater(ekstrudert polystyren). Innvendig ble det brukt et 200mm tykt betongsjikt av C35/45 kvalitet til både gulvet og veggene. Weather Resitive Barrier(membranskjiktet) skal dekke hele ytterdelen av kjellerkonstruksjonen til og med fundamentsøylene, se figur 69.

WUFI 1D



WUFI 2D

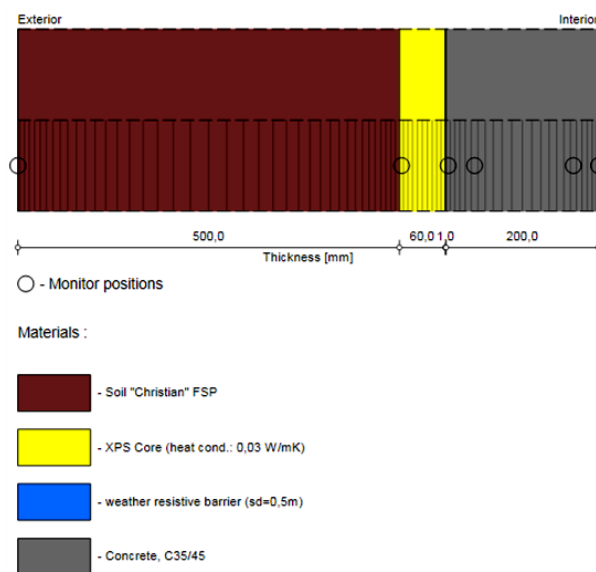


Figur 69: Plasseringen av veggskiktene i case 2 for hhv. WUFI 1D og 2D

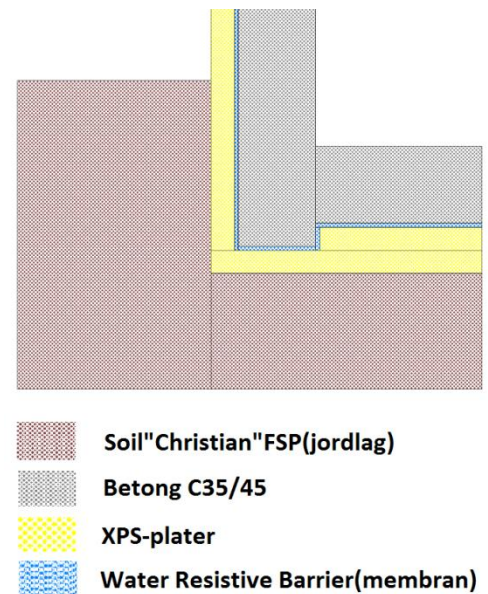
Case 3:

Her ble det utvendig valgt et 500mm tykt jordlag, 60mm XPS-plater(ekstrudert polystyren) og et 1mm membranskjikt med Weather Resistive Barrier. Innvendig ble det brukt et 200mm tykt betongskjikt av C35/45 kvalitet til både gulvet og veggene, se figur 70.

WUFI 1D



WUFI 2D

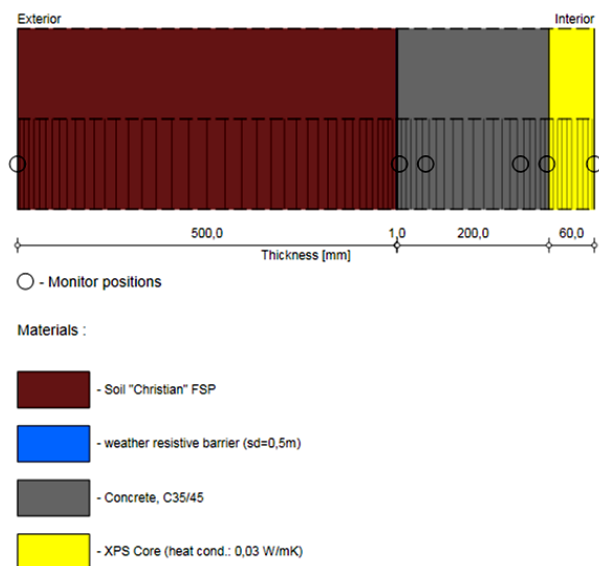


Figur 70: Plasseringen av veggskiktene i case 3 for hhv. WUFI 1D og 2D

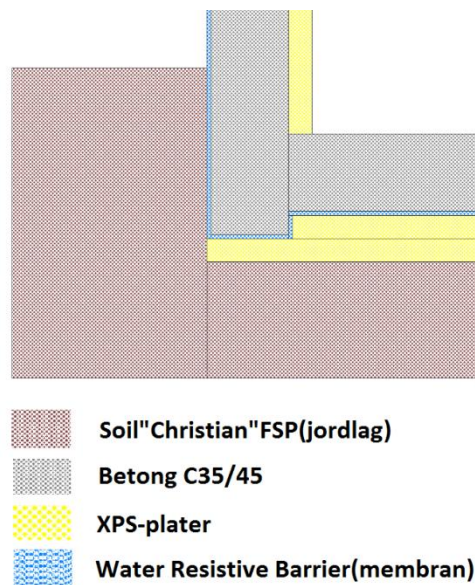
Case 4:

Her ble det utvendig valgt et 500mm tykt jordlag og et 1mm membransjikt med weather resistente barrier. Innvendig ble det brukt 200mm tykt betongsjikt av C35/45 kvalitet til både gulvet og veggene og 60mm XPS-plater(ekstrudert polystyren), se figur 71.

WUFI 1D



WUFI 2D

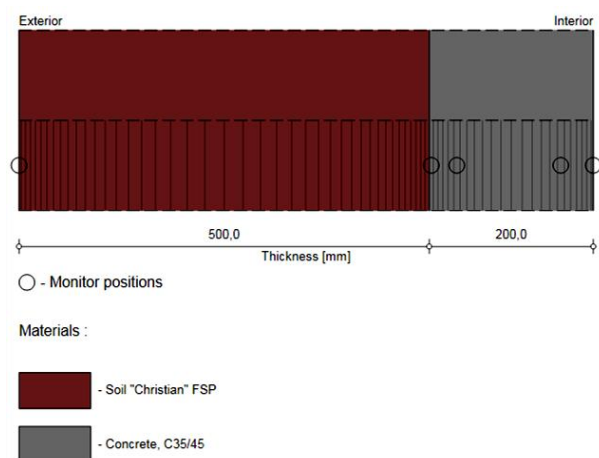


Figur 71: Plasseringen av veggskiktene i case 4 for hhv. WUFI 1D og 2D

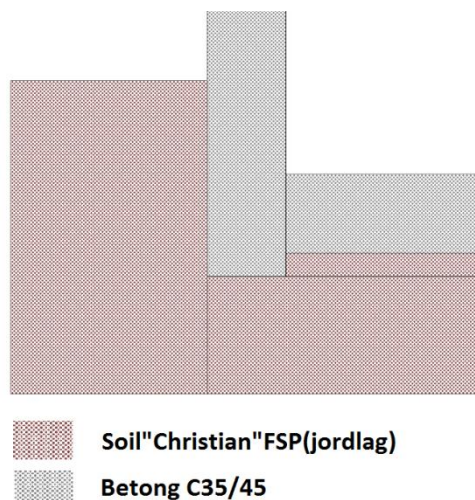
Case 5:

Her ble det utvendig valgt et 500mm tykt jordlag og et 200mm tykt betongsjikt av C35/45 kvalitet til både gulvet og veggene, se figur72.

WUFI 1D



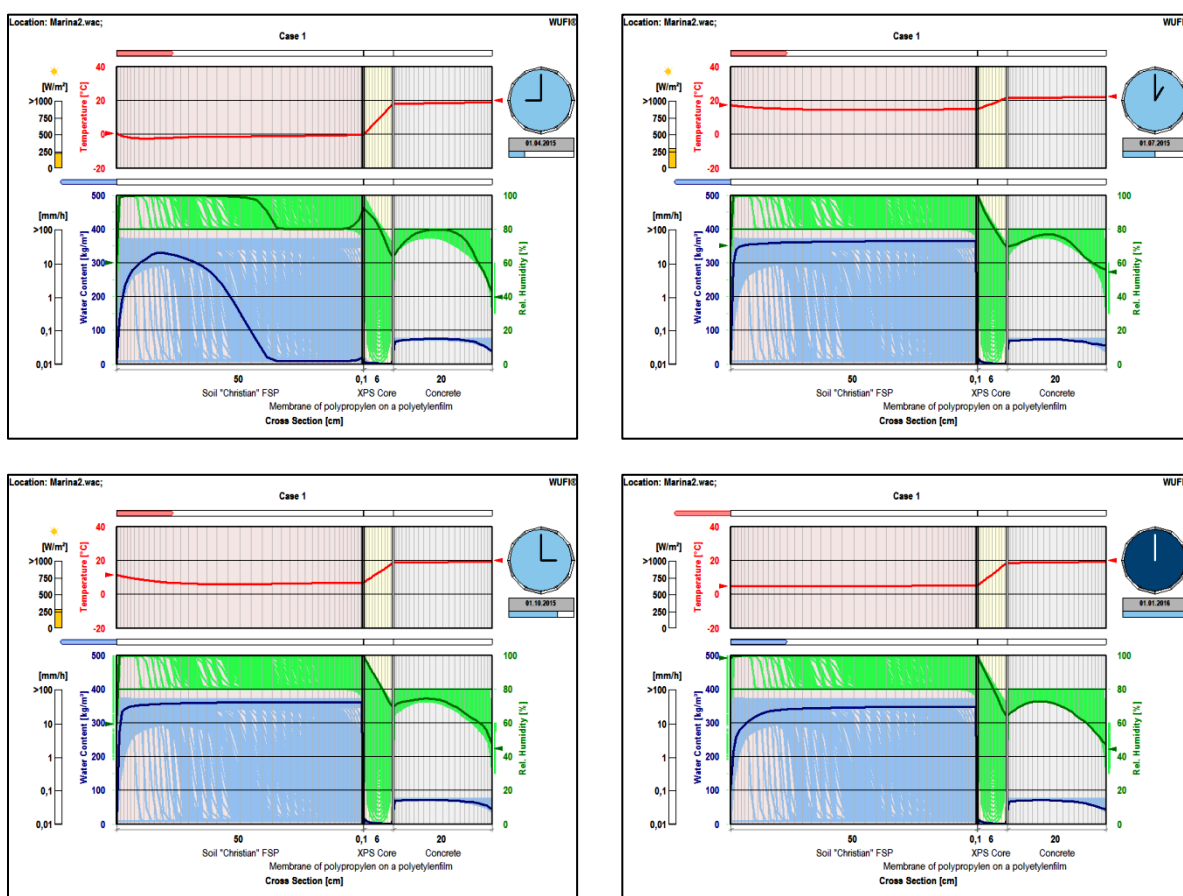
WUFI 2D



Figur 72: Plasseringen av veggskiktene i case 5 for hhv. WUFI 1D og 2D

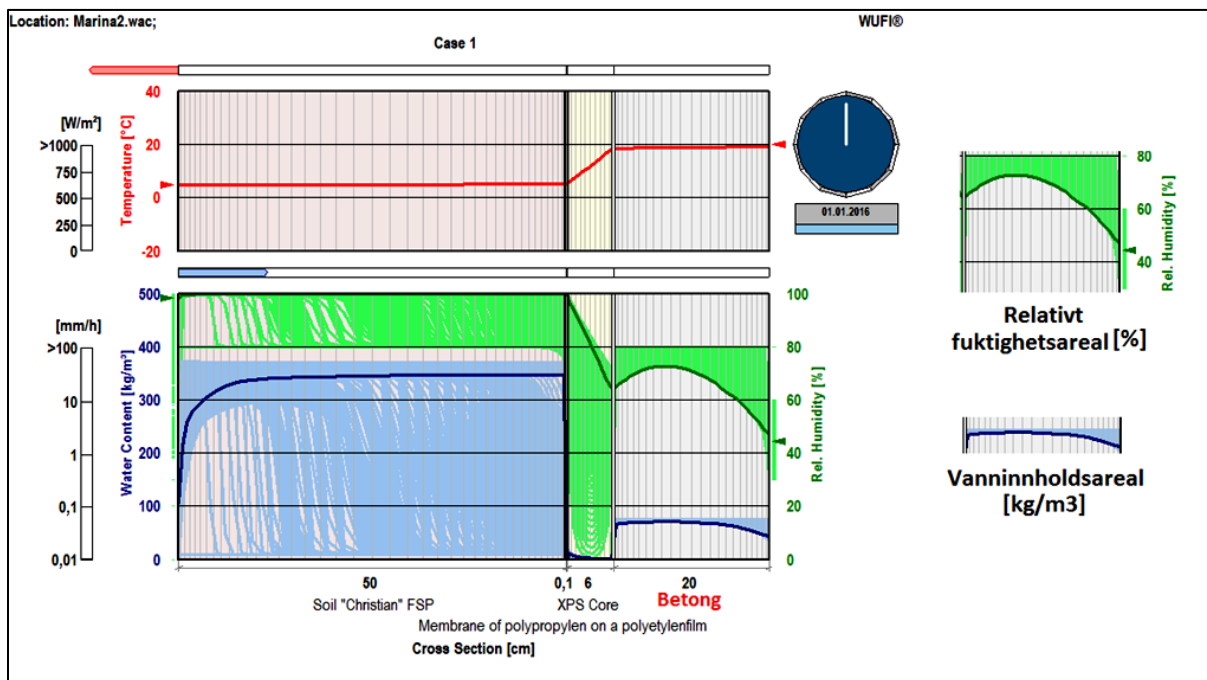
5.4. Grafene fra Filmsimuleringen i WUFI 1D

Filmsimuleringsmetoden fra WUFI 1D gir et godt overblikk på hvordan de hygrotermiske forholdene i hele konstruksjonen varierer i løpet av en 1-års periode. Her vises fordeling av temperatur, relativ fuktighet og vanninnhold gjennom konstruksjonen, samt varme- og fuktfluks gjennom alle sjiktgrensene, for hvert tidstrinn i beregningen. Visningen angir også maksimale utslag for hvert enkelt parameter fra tidligere tidstrinn. Nedenfor i figur 73 er det fire bilder som tatt fra filmsimuleringen i case 1 og illustrerer hvordan veggkonstruksjonen har oppført seg hhv. per/ 01/04/15, 01/07/15, 01/10/15 og 01/01/16.



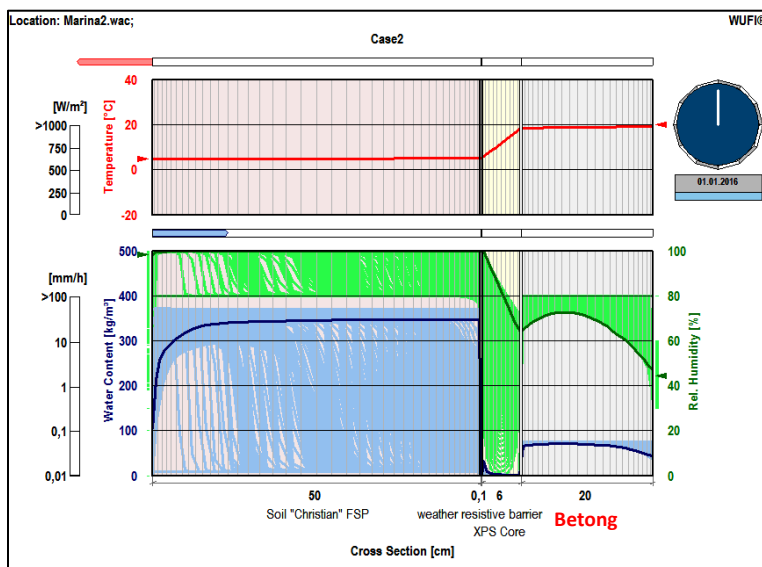
Figur 73: Filmsimuleringsbilder fra case 1

Her i filmsimuleringen for case 1 kan det sees at betongsjiktet har fått liten fuktighets- og vanninnholds- variasjon i løpet av året. Det grønne feltet tilsvareer relativt fuktighetsareal og det blå står for vanninnholdsareal, se figur 74.



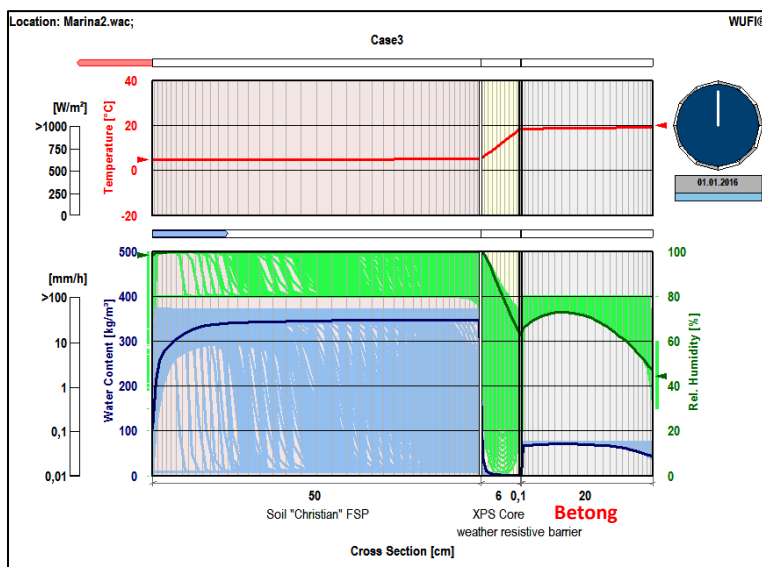
Figur 74: Filmsimuleringsbildet for Case 1 per 01.01.2016.

Her i filmsimuleringen for case 2 kan det også sees, som i case 1 at betongsjiktet har fått liten fuktighets- og vanninnholds- variasjon i løpet av året. Det grønne feltet tilsvarer relativt fuktighetsareal og det blå står for vanninnholdsareal, se figur 75.



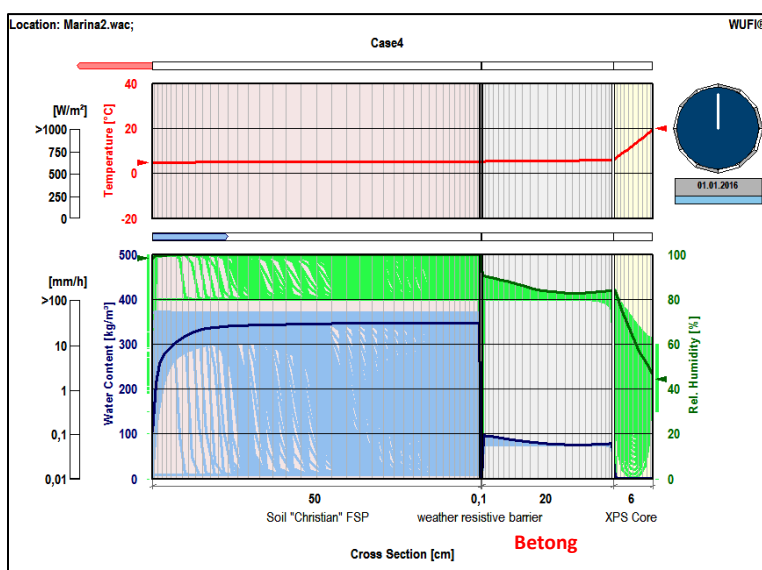
Figur 75: Filmsimuleringsbildet for case 2 per 01.01.2016.

Her i filmsimuleringen for case 3 kan det sees at betongsjiktet også har fått en liten fuktighets- og vanninnholds- variasjon i løpet av året. Det grønne feltet tilsvarer relativt fuktighetsareal og det blå står for vanninnholdsareal, se figur 76.



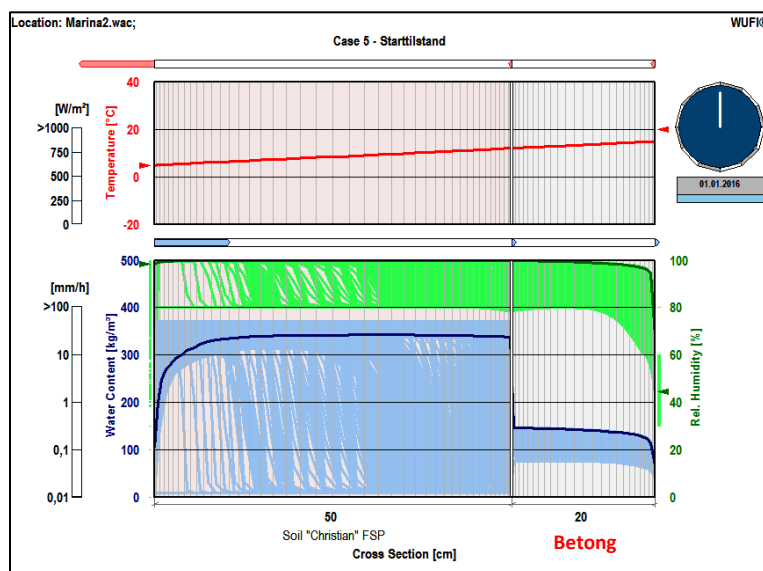
Figur 76: Filmsimuleringsbildet for case 3 per 01.01.2016.

Her i filmsimuleringen for case 4 kan det sees at betongsjiktet også har fått en liten fuktighets- og vanninnholds- variasjon i løpet av året. Case 4 har den minste relative fuktighetsvariasjonen av alle casene. Det grønne feltet tilsvarer relativt fuktighetsareal og det blå står for vanninnholdsareal, se figur 77.



Figur 77: Filmsimuleringsbildet for case 4 per 01.01.2016.

Her i filmsimuleringen for case 5 kan det sees at betongsjiktet har fått en veldig stor fuktighets- og vanninnholds- variasjon i løpet av året. Siden case 5 bare har et betongsjikt uten noe utvendig membranbeskyttelse har den største fuktighets- og vanninnholds- variasjonen av alle casene. Det grønne feltet tilsvarer relativt fuktighetsareal og det blå står for vanninnholdsareal, se figur 78.



Figur 78: Filmsimuleringsbildet for Case 5 per 01.01.2016.

5.5.Grafer

Til WUFI- programmene ble det benyttet en egen definert klimafil(Marina2.wac) som inneholder stor nedbørsmengde. Den ble fordelt i fem forskjellige perioder i løpet av simuleringperioden.

Nedbørsmengden er målt i volum(V) per horisontalareal(L) og er gitt i millimeter.

$$H = V / A[\text{mm}]$$

Data hentet fra den egendefinerte klimafilen Marina2.wac:

En måned = 730 tidsskritt

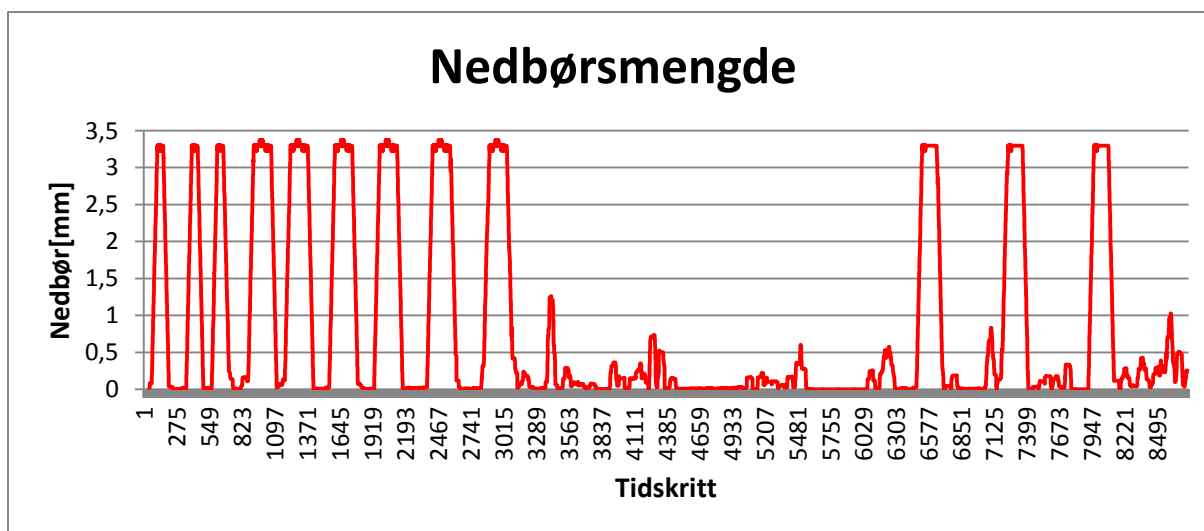
Ett år = 8760 tidsskritt

Tabell D viser tolv stipulerte nedbørsperioder som er satt inn i den egendefinerte klimafilen. Slik at det var mulig å teste alle fem gjeldende casene under store nedbørsmengder over tolv lange perioder i løpet av et års- tid. Gjennomsnittlig nedbørsmengde for hver periode lo på 3,3mm og for hele års- perioden 0,82mm. Hver regnperiode varierer mellom 95 og 191 tidsskritt, med et gjennomsnitt på 162 tidsskritt som tilsvarer ca. 6 dager.

Regn- periode	Tidsskritt		Dato		Gj.nedbør [mm]	Intervalls- periode [tidsskritt]
	Fra	Til	Fra	Til		
1	69	164	02.jan	06.jan	3,3	95
2	358	453	14.jan	18.jan	3,3	95
3	572	667	23.jan	27.jan	3,3	95
4	877	1068	06.feb	13.feb	3,3	191
5	1185	1376	18.feb	26.feb	3,3	191
6	1557	1748	03.mar	11.mar	3,3	191
7	1933	2124	19.mar	27.mar	3,3	191
8	2377	2568	07.apr	15.apr	3,3	191
9	2853	3044	27.apr	05.mai	3,3	191
10	6480	6658	26.sep	03.okt	3,2	178
11	7200	7367	25.okt	02.nov	3,3	167
12	7920	8087	25.nov	02.des	3,3	167
Gjennomsnittlig totalnedbør i løpet 1 års-perioden= 0,82 mm					Gj.tidsskritt =	162

Tabell D

Grafen i figur 79 viser hvordan nedbørsmengden er fordelt gjennom beregningsperioden. Alle de tolv stipulerte nedbørsperiodene kan tydelig sees i hvilke tidsskritt de befinner seg i grafen.



Figur 79: Viser tolv stipulerte nedbørsperioder i løpet av et år(8760 tidsskritt).

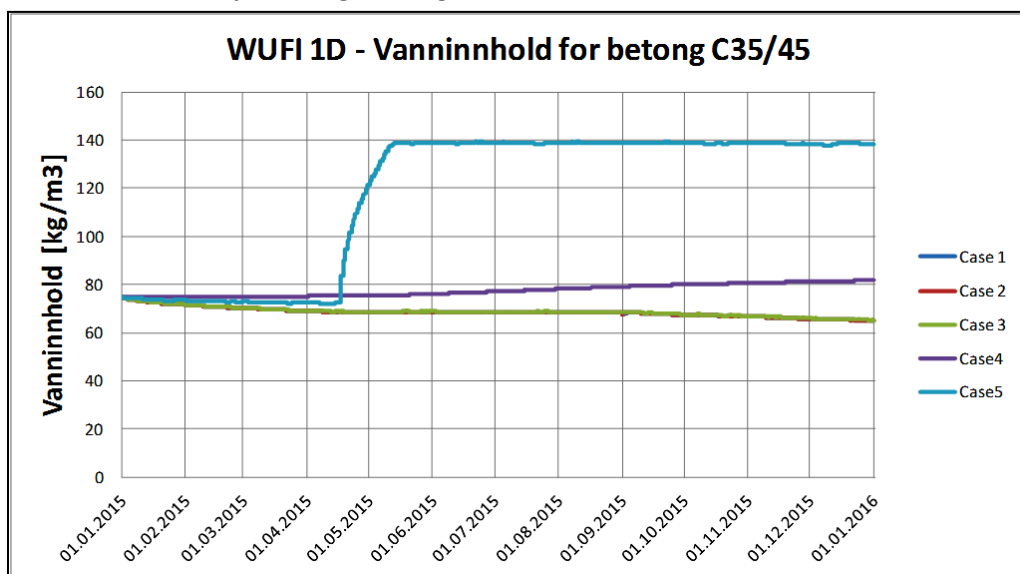
Nedenfor ligger tabeller og grafer av vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og muggvekstfare fra alle casene.

Vanninnhold:

P.g.a. at WUFI1D opererer med forhåndsdefinerte veggsjikt, får case 1, 2 og 3 omtrent samme vanninnhold i løpet av års-perioden, med en variasjon mellom 75 og ca. 65 kg/m³.

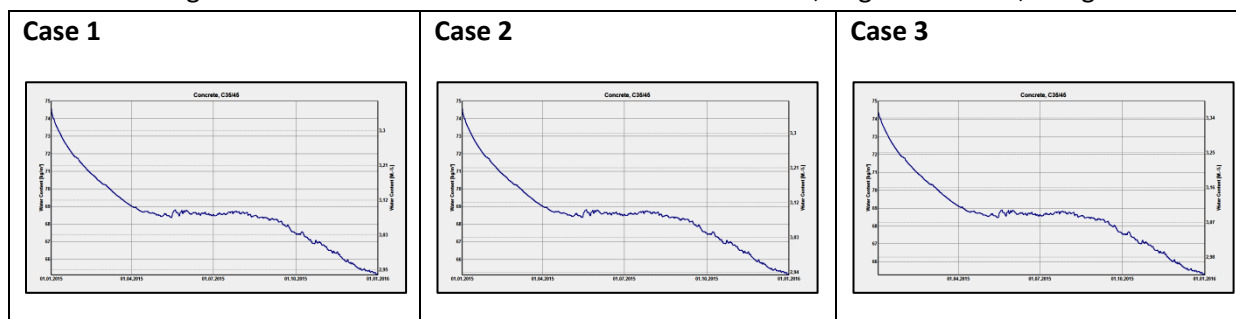
Case 4 har holdt seg på 75kg/m³ til begynnelsen av april måned og har steget gradvis til litt over 80 kg/m³ på slutten av beregningsperioden.

Fra begynnelsen av april måned har case 5 steget fra ca. 75 til 140 kg/m³ og holdt denne verdien resten av års-perioden. Siden det ikke var membranbeskyttelse i case 5, ble det en stor vanninnholdsvariasjon. Se figur 79 og 80.



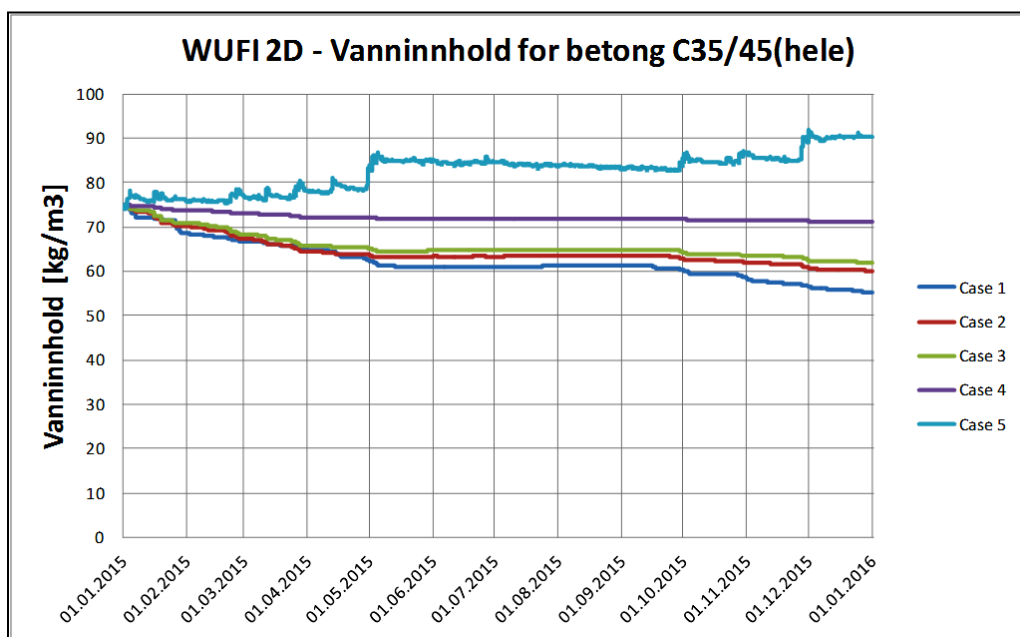
Figur 79: Resultatet av vanninnhold fra samtlige caser i WUFI 1D

Vanninnholdsgrafene nedenfor beviser likeheten mellom casene 1,2 og 3 i WUFI 1D, se figur 80.



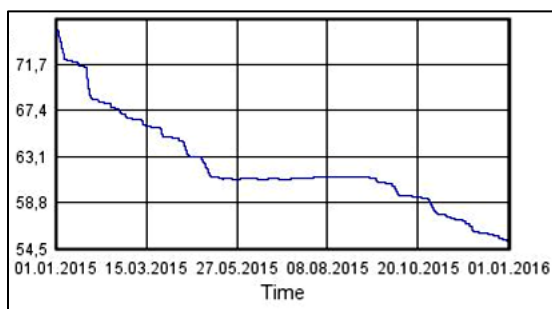
Figur 80: Grafer med resultatet av vanninnhold i WUFI 1D fra casene 1,2 og 3.

Case 1 har lavest vanninnhold med WUFI2D. Case 2 og 3 fikk litt mer vanninnhold enn case 1 fordi porene i membranen er tettere enn i XPS- platene, dette kan ha ført til litt kondens mellom XPS- platene og betongsjiktet. Case 4 har fått ganske høy vanninnholdsverdi fordi betongsjiktet bare har et membransjikt som beskytter utvendig, case 2 og 3 har både XPS-plater og membran. Figur 81 viser alle casene samlet i en fellesgrafe og figur 82 viser casene 1 til 4 i separate grafer.

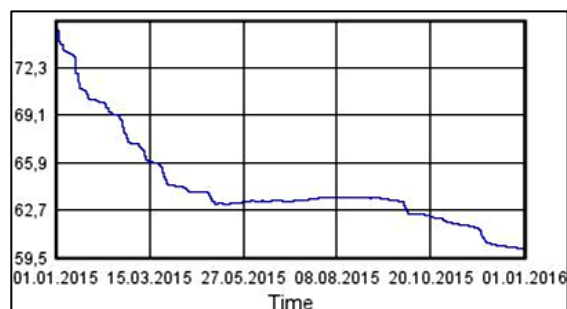


Figur 81: Resultatet av vanninnhold for hele betongkonstruksjonen fra samtlige caser i WUFI 2D

Case 1



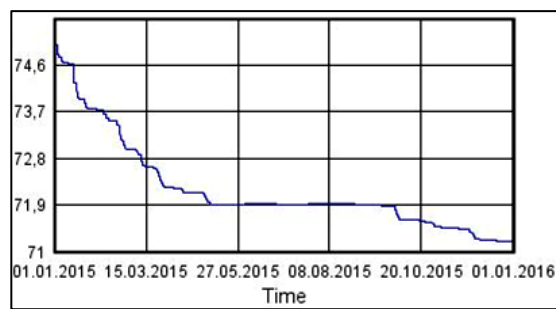
Case 2



Case 3

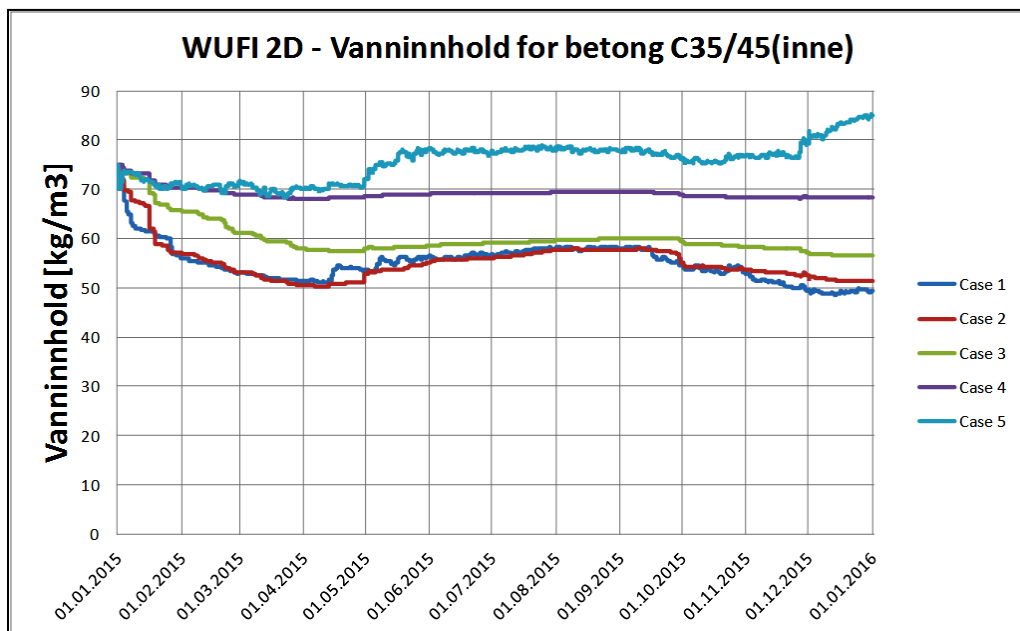


Case 4



Figur 82: Grafer med resultatet av vanninnhold for hele betongkonstruksjonen i WUFI 2D

På innsiden av betongkonstruksjonen er vanninnholdsforskjellen mellom case 1 og 2 enda mindre, d.v.s. at løsningen i case 2 på innsiden av vegg holder seg ganske tørr i forhold til casene 3 og 4. Case 3 har en vanninnholdsvariasjon på mellom 80 og ca. 57 kg/m³ og case 4 har startet med 80 kg/m³ og holdt seg stabilt på litt under 70 kg/m³. Figur 83 viser alle casene samlet i en fellesgrafe og figur 84 viser casene 1 til 4 i separate grafer.



Figur 83: Resultatet av vanninnhold for innsiden av betongkonstruksjonen fra samtlige caser i WUFI 2D

Case 1



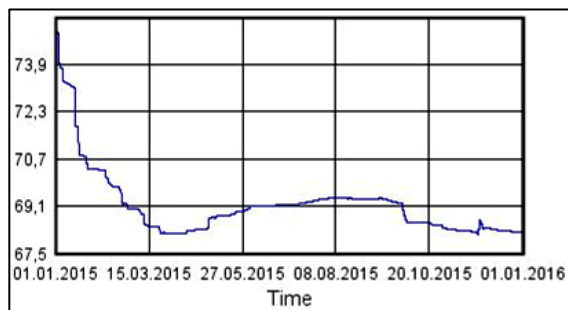
Case 2



Case 3



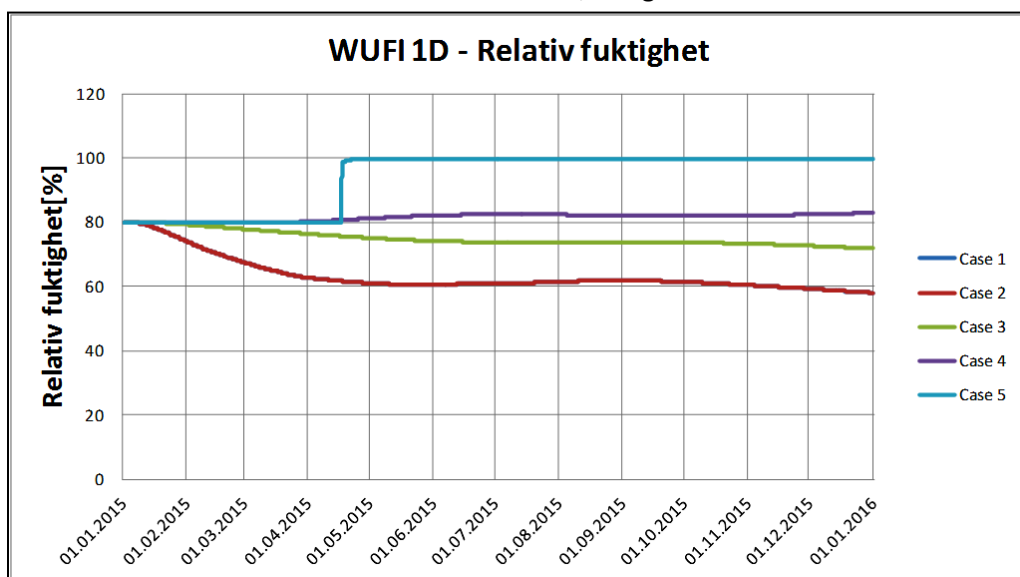
Case 4



Figur 84: Grafer med resultatet av vanninnhold for innsiden av betongkonstruksjon i WUFI 2D

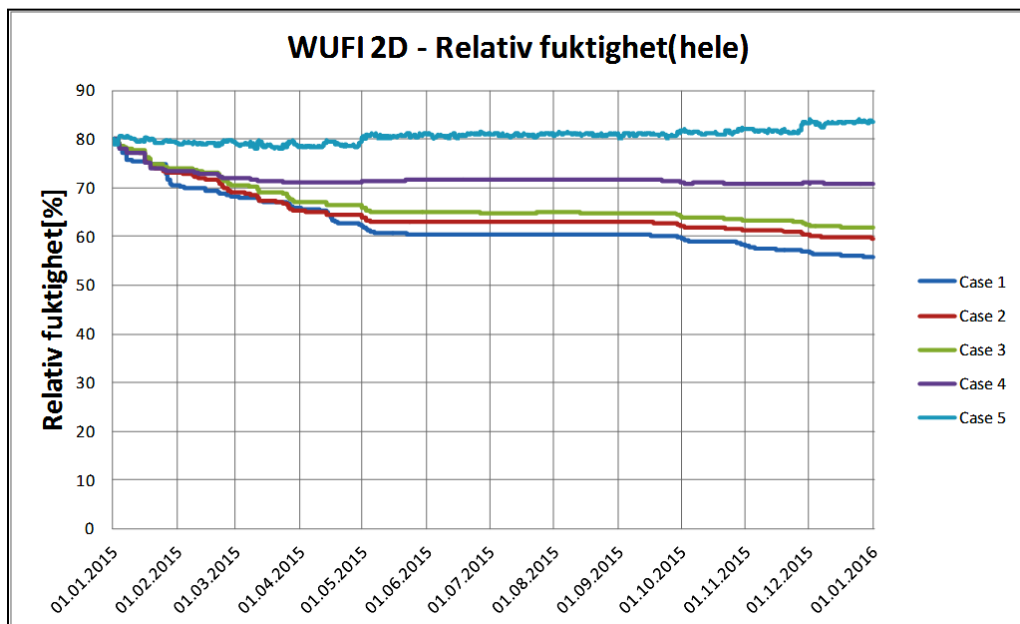
Relativ fuktighet:

Case 1 og 2 har lavest RF med WUFI1D, hvor disse starter med 80% og synker til litt over 60% i begynnelsen av april 2015 og holder seg stabile resten av perioden. I case 3 har RF gått ned fra 80 til litt over 70%. Case 4 holdt ca. 80% RF hele veien, se figur 85.



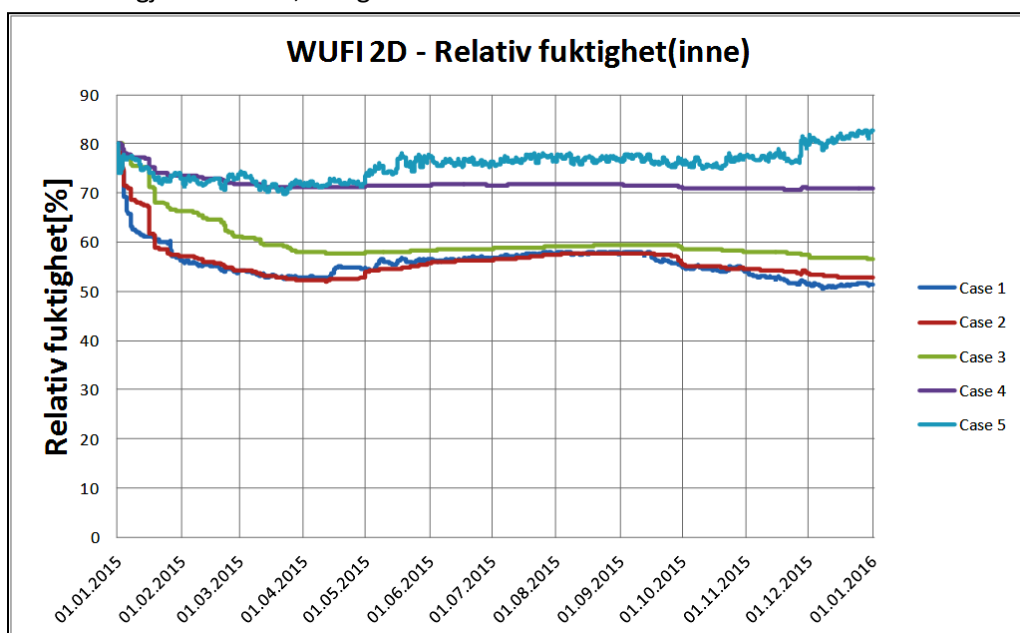
Figur 85: Resultatet av relativ fuktighet fra samtlige caser i WUFI 1D

Simuleringen av RF med WUFI2D, for hele betongkonstruksjonen gir større forskjell mellom casene. Her er det case 1 som har den minste RF, etterfulgt av case 2, 3 og 4. Det kan sees at casene 1, 2 og 3 har mange fellestrekk når det gjelder funksjonsverdier og det kan sies at grafene for disse casene ser det helt like ut, men bare litt forskjøvet, se figur 86.



Figur 86: Resultatet av relativ fuktighet for hele betongkonstruksjonen fra samtlige caser i WUFI 1D

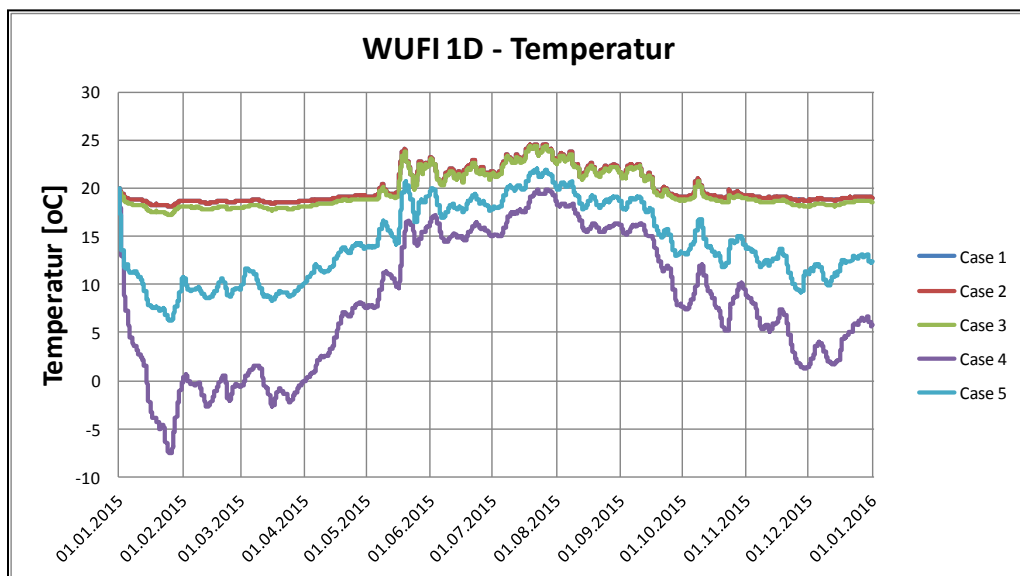
Her i RF simuleringen med WUFI 2D fra innsiden av betongkonstruksjonen, er case 1 og 2 ganske like når det gjelder verdier. Disse to casene har startet på 80% og har varierte RF-verdier mellom ca.52 og 58% i grove trekk. Case 3 har holdt seg noenlunde stabil på litt under 60% og case 4 holdt seg på litt over 70% i gjennomsnitt, se figur 87.



Figur 87: Resultatet av relativ fuktighet for innsiden av betongkonstruksjonen i WUFI 1D

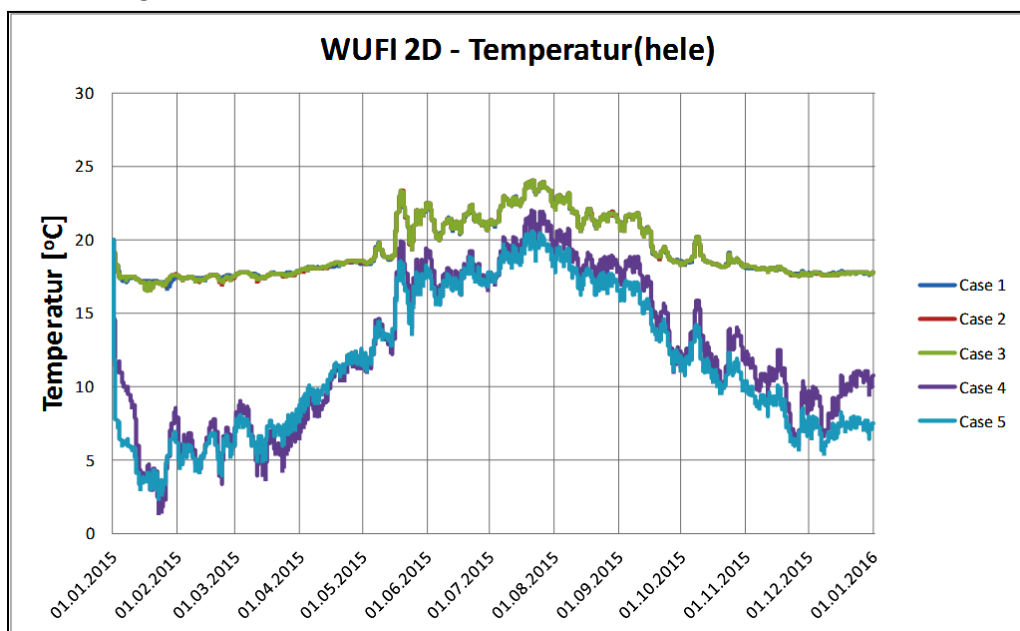
Temperatur:

Case 1 og 2 i WUFI 1D fikk omtrent de samme temperaturforandringer hele veien, hvor temperaturene svingte mellom +18 og +22°C. Case 3 fikk noenlunde samme grafemønster men lå stort sett ca. 2 grader under hele veien. Her ble case 4 den som fikk de laveste temperaturene, hvor disse oscillerte mellom ca. -7 og +18°C. Case 5 som bare hadde et betongsjikt fikk en variasjon mellom +8 og +20°C, se figur 88.



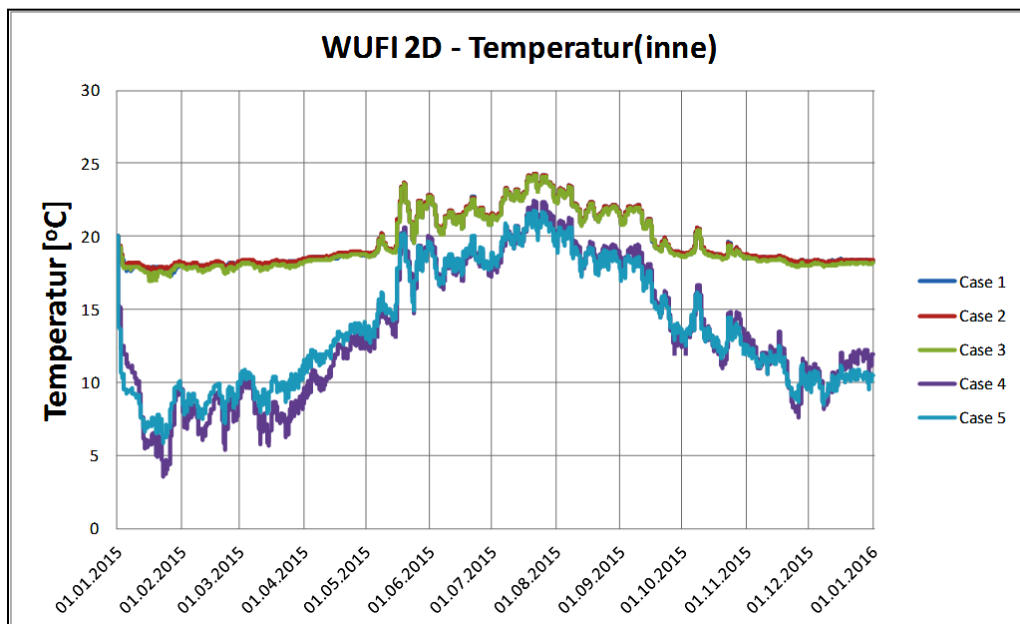
Figur 88: Resultatet av temperatur i WUFI 1D

Under simulering av hele betongkonstruksjonen med WUFI 2D fikk casene 1,2 og 3 omtrent samme temperaturmønster hele veien, hvor disse casene fikk gjennomsnittlige temperaturvariasjoner mellom +17 og +23°C. Case 4 og 5 har fått de laveste temperaturene med oscillasjoner mellom 5 og +18°C, se figur 89.



Figur 89: Resultatet av temperatur for hele betongkonstruksjonen i WUFI 2D

Innsiden av betongkonstruksjonen fikk omtrent samme temperaturmønster som på hele betongkonstruksjonen. D.v.s. at casene 1,2 og 3 også fikk noenlunde samme resultater, hvor de fikk gjennomsnittlige temperaturvariasjoner mellom +17 og +23°C. Case 4 og 5 har fått de laveste temperaturene med oscillasjoner mellom +7 og +18°C, se figur 90.



Figur 90: Resultatet av temperatur for innsiden av betongkonstruksjonen i WUFI 2D

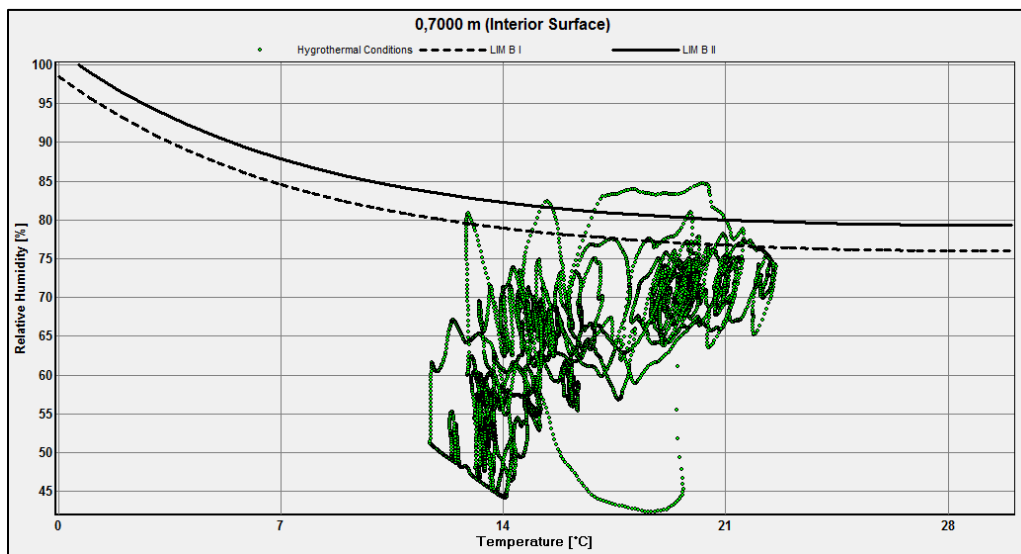
5.6.Forklaring av Isopleths- grafen i forbindelse med muggvekst

Isoplethsgraf i WUFI 1D:

Isoplethsgrafen i figur 91 viser at hvert grønt punkt tilsvare de hygrotermiske forholdene på venstre eller høyre komponentoverflate på et bestemt tidspunkt. D.v.s. at tidspunktet for hvert grønt punkt representerer temperatur og relativ fuktighet i løpet av en times tid. Det vises også grenselinjer (begrensende isopleths) for konstruksjonsmaterialer, her representert som LIM BI og LIM BII. Under disse grenselinjene forventes ingen muggvekst. Dersom materialene ligger en lengre periode over de stipulerte grenselinjene, vil disse forholdene gi mulighet for muggvekst i konstruksjon. Denne grafen gir et raskt overblikk over sannsynligheten for at muggvekst kan oppstå, under de stipulerte grenselinjene(LIM I og II).

LIM B I: Tilsvare nedbrytbare materialer som veggtafet, gipsplater, osv.

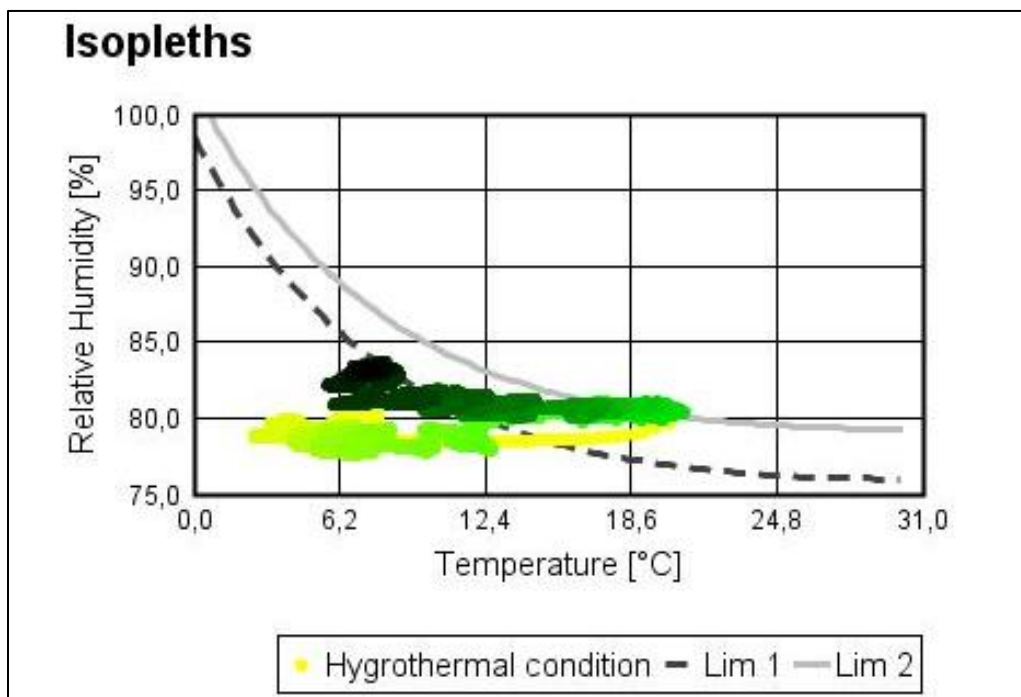
LIM B II: Gjelder for materialer med porøs struktur som isolasjon, trevirke, betong, tegl, osv.
For blandede materialer(kompositter, osv.) gjelder LIM B I.



Figur 91: Isoplethsgrafen fra WUFI 1D med muggvekstresultatet fra case 5

Isoplethsgraf i WUFI 2D:

Prinsippet for hygrotermiske forhold og grensene (LIM I og II) er de samme som i WUFI 1D. Figur 92 viser isoplethgrafen fra case 5 hvor hele betongkonstruksjonsdelen ble valgt som beregningsområde. Hvert fargepunkt representerer temperatur og relativ fuktighet i en time. Disse fargepunktene varierer fra gule til mørke grønne, d.v.s. at dess mørkere grønnfargen er, dess større er sjansen for muggvekst. Hvis de grønnpunktene er over grenselinjene (LIM 1 og LIM 2) er ansett å være en risiko for muggvekst.



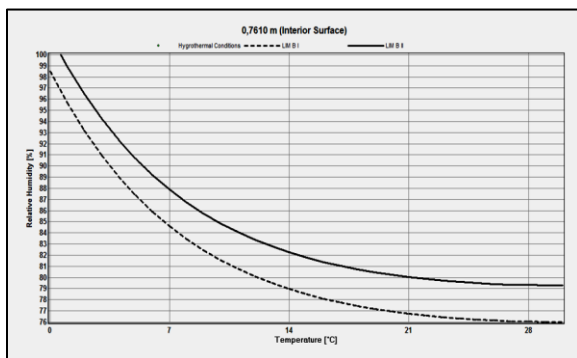
Figur 92: Isoplethsgrafen fra WUFI 2D med muggvekstresultatet fra case 5

5.7.Sannsynligheten for muggvekstfare i WUFI 1D og 2D

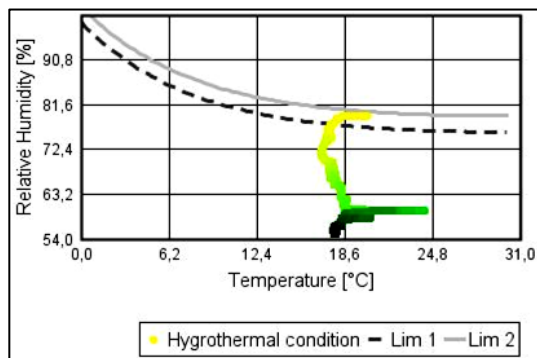
Her skal resultatene av isopleths-plotene sammenlignes fra WUFI 1D og 2D, se grafene nedenfor.

Case 1:

WUFI 1D : Ingen påvist muggvekstfare



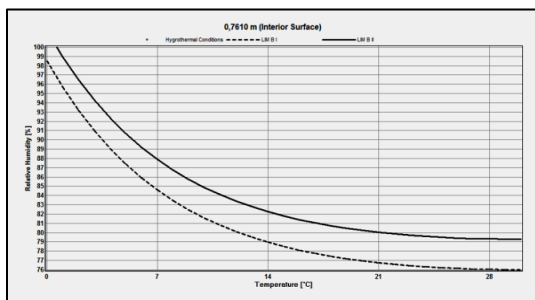
WUFI 2D : Ingen påvist muggvekstfare



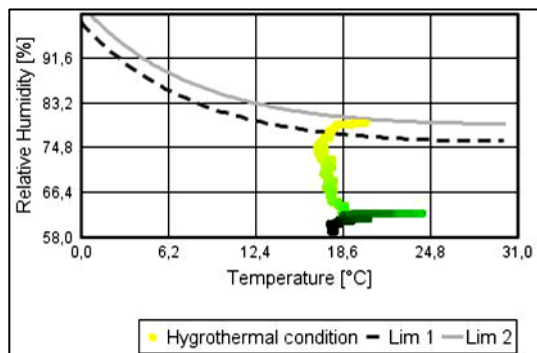
Figur 93: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for Case 1 for hhv. WUFI 1D og 2D

Case 2:

WUFI 1D : Ingen påvist muggvekstfare



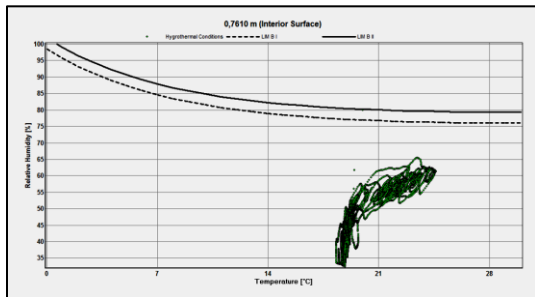
WUFI 2D : Ingen påvist muggvekstfare



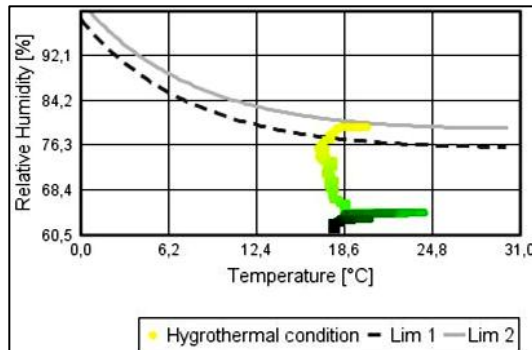
Figur 93: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 2 for hhv. WUFI 1D og 2D

Case 3:

WUFI 1D : Ingen påvist muggvekstfare



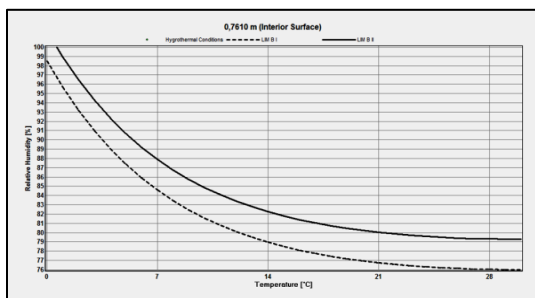
WUFI 2D : Ingen påvist muggvekstfare



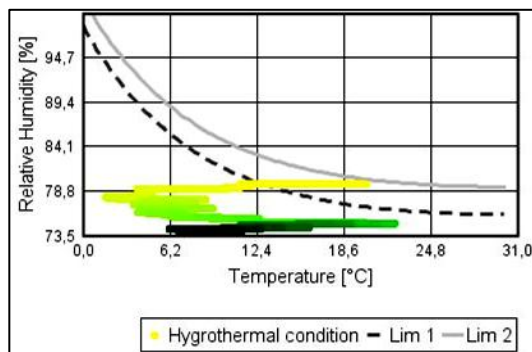
Figur 94: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 3 for hhv. WUFI 1D og 2D

Case 4:

WUFI 1D : Ingen påvist muggvekstfare



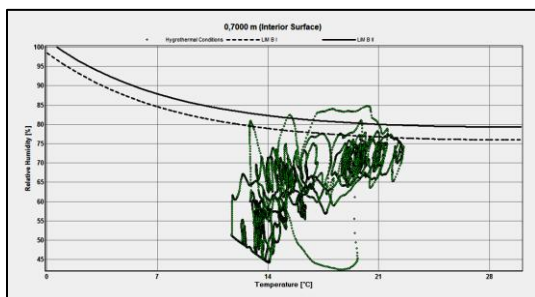
WUFI 2D : Ingen påvist muggvekstfare



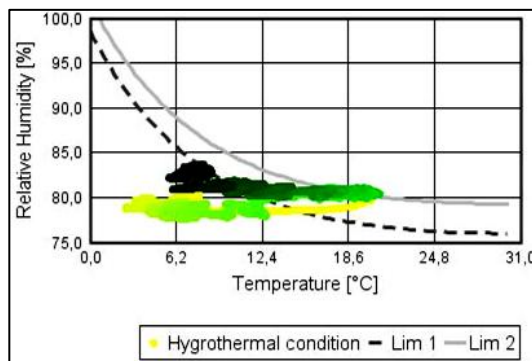
Figur 95: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 4 for hhv. WUFI 1D og 2D

Case 5:

WUFI 1D : Påvist muggvekstfare i lim 1 og 2



WUFI 2D : Påvist muggvekstfare i lim 1



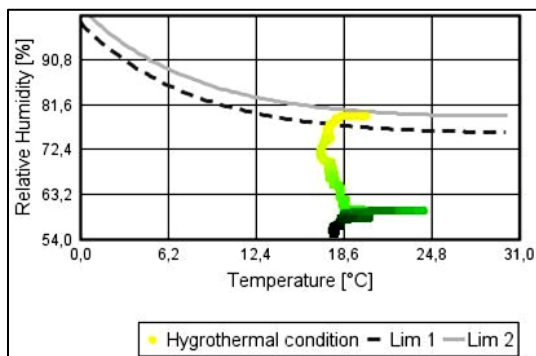
Figur 96: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 5 for hhv. WUFI 1D og 2D

Her skal resultatene av isoplethsgrafene sammenlignes for muggvekstfare i WUFI 2D fra hele og innviden av betongkonstruksjonen, se grafene nedenfor.

Case 1 - WUFI 2D:

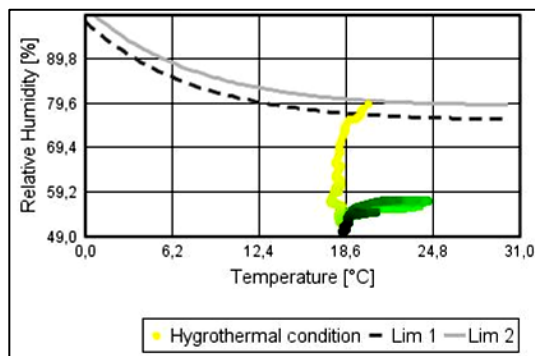
Valgt hele betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare



Valgt innviden av betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare

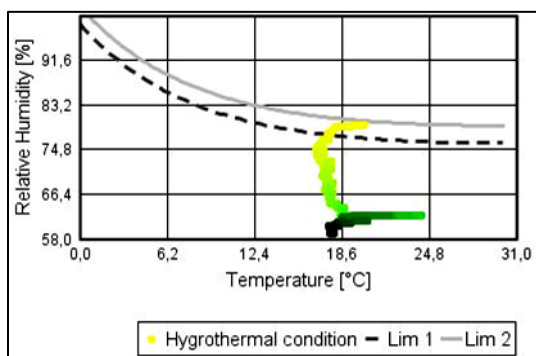


Figur 97: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 1 fra WUFI 2D

Case 2 - WUFI 2D:

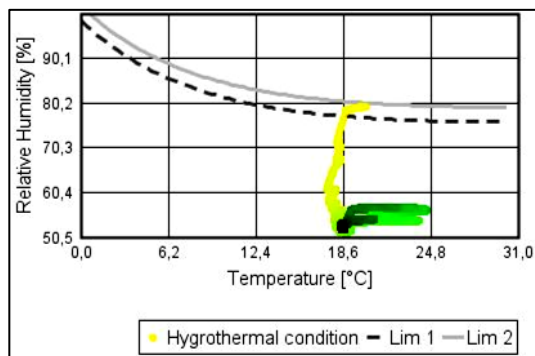
Valgt hele betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare



Valgt innviden av betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare

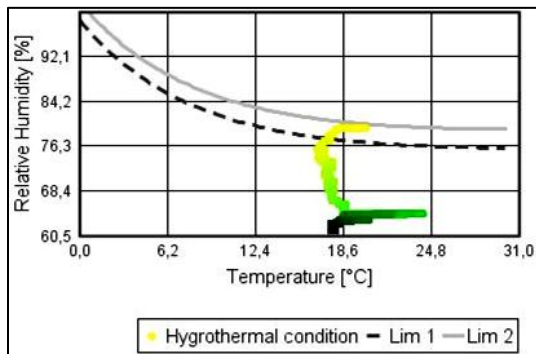


Figur 98: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 2 fra WUFI 2D

Case 3 - WUFI 2D:

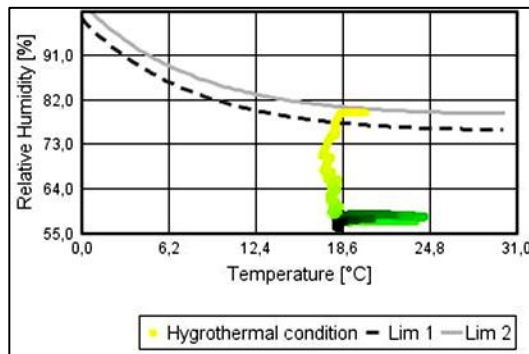
Valgt hele betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare



Valgt innside av betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare

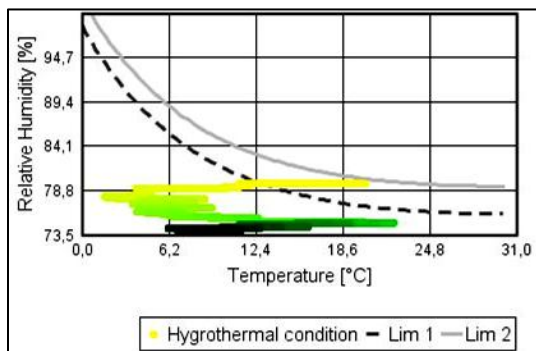


Figur 99: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 3 fra WUFI 2D

Case 4 - WUFI 2D:

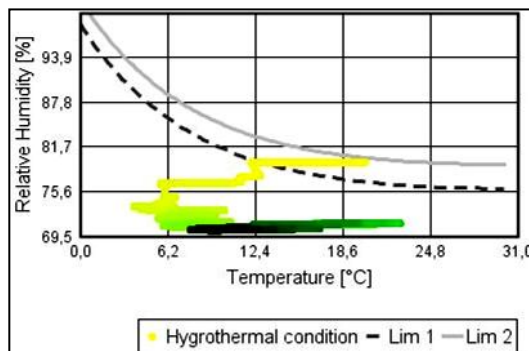
Valgt hele betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare



Valgt innside av betongkonstruksjonen

Ingen påvist muggvekstfare

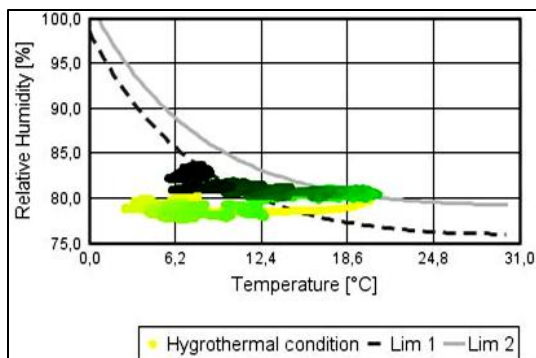


Figur 100: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 4 fra WUFI 2D

Case 5 - WUFI 2D:

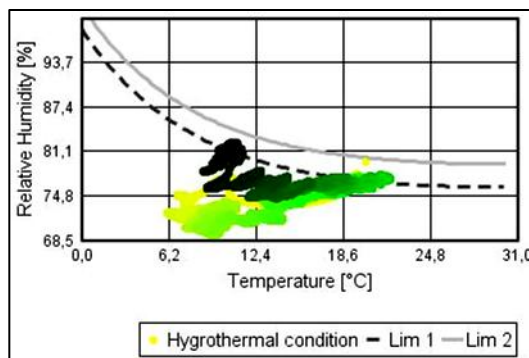
Valgt hele betongkonstruksjonen

Påvist muggvekstfare i lim 1 og 2



Valgt innside av betongkonstruksjonen

Påvist muggvekstfare i lim 1



Figur 101: Isopleths-grafer med muggvekstresultatet for case 5 fra WUFI 2D

5.8.Diskusjon

Oversikt

Oppstigende fuktighet i kjeller er et alvorlig og kostbart problem for boligeiere. Kjellerne må stadig pusses opp innvendig og/eller utvendig slik at det blir veldig høye kostnader og ingen definitiv løsning på fuktproblemet.

Her i denne rapporten ble det anbefalt noen forbedringstiltak som har til hensikt å hjelpe mot fuktproblemet. Det ble foreslått fire forskjellige måter å bruke membran på:

- I case 1 var ideen å teste hvor mye fuktighet som ville oppstå i det ubeskyttede fundamentet og i gulvsjiktet. Fundamentet og den ytre delen av gulvet fikk kun et 60 mm XPS- sjikt som beskyttelse.
- I case 2 har både utvendig gulv og yttervegger fått et membran og XPS- sjikt, d.v.s. at hele den utvendige konstruksjonsdelen ble vanntett. Hensikten var å teste i hvilken grad dette case ville anbefales for steder med mye fuktighet i grunn eller med høy grunnvannstand.
- I case 3 ble membransjikt plassert mellom XPS og betong -sjikt, d.v.s. at hele den utvendige konstruksjonsdelen ble vanntett. Intensjonen her var å sammenligne case 3 med case 2 og å se hvem av disse casene som ville framstå med minst mulig kondens-, fuktighet- og muggvekst - problemer. Samtidig ble temperaturene sammenlignet fra disse to casene i hele og i innsiden av betongveggene.
- I case 4 ble membranen satt direkte på de ytre betongveggene og mellom XPS og det utvendige gulvet. Veggene ble isolert på innsiden med XPS-plater. Ideen med case 3 ville i dette tilfellet være å sammenligne denne med de andre casene og se hvor mye fuktighets- og temperatur- forskjell utgjør i forhold til de andre. Fordi denne case var innvendig isolert med et 60 mm XPS-sjikt i kjellerveggene, var det forventet at det ville oppstå risiko for muggvekst.
- I case 5 ble det bare brukt et betongsjikt, d.v.s. uten noen som helst membranbeskyttelse. Denne case ble brukt som basis for de andre casene, slik at det dannet grunnlag for hva som kan forventes i verste fall av en ubeskyttet kjellerkonstruksjon utsatt for gjennomtrengning av fuktighet i gulv og vegger.

Utfordringer

Hvordan skal man plassere membran på utsiden av XPS-platene?

Forslag: XPS-platene ferdig preparert med membran fra leverandør som leveres med not og fjær for montering, heretter kalt MXPS-plater. Ved montering av MXPS-platene brukes membran-lim(Mlim) for å tette alle skjøter og hjørner etter montering.

Hvordan monteres MXPS-platene under fundamentet i eksisterende boliger?

Eventuelle masser som grus, stein og jord graves opp. Deretter spyles, rengjøres og tørkes grøfta. Og deretter monteres og limes MXPS-platene.

Tiltak for eksisterende boliger:

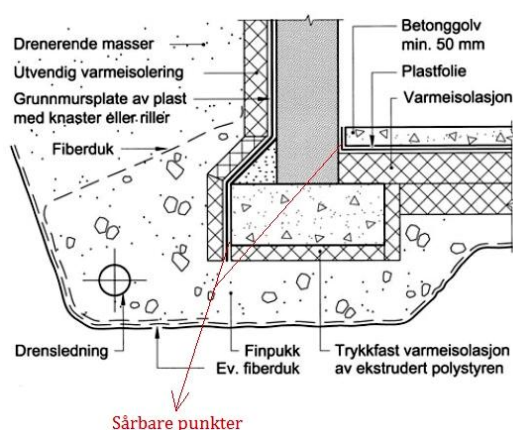
- For eksisterende boliger fundamentert i fjell brukes MXPS-platene bare på utsiden av kjellervegg.
- For andre boliger må behandlingen gjøres rundt fundamentene (under veggbredde).

Tiltak for nye boliger:

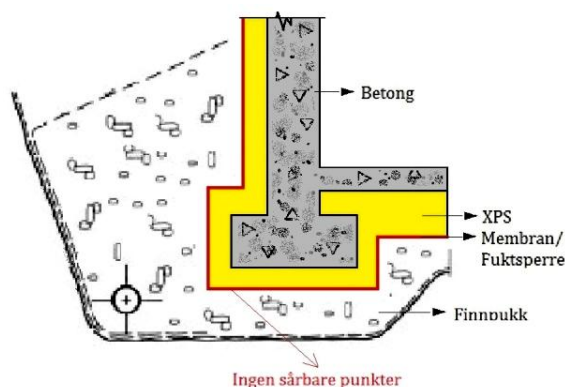
- MXPS-platene skal monteres i bunnen før fundamentene og kjellergulv støpes.
- MXPS-platene monteres nøyte iflg. beskrivelsen ovenfor.
- Når fundament og kjellergulv er støpt og tørket og veggen ferdig murt skal MXPS-platene med not og fjær limes på kjellerveggenes utside (bruk rikelig med Mlim).
- Not og fjær skal limes med Mlim for å forsegle alle skjøter.
- MXPS-Hjørneplatene monteres ved å profilskjære dem og deretter limes med Mlim.

Gamle tiltak kontra mine nye

De gamle byggemetodene har vist mange svakheter når det gjelder oppstigende fukt fra grunnmur/fundament. Nedenfor i figur 102 (som tilhører eksisterende tiltak) kan man minst se to sårbare punkter hvor fuktighet/vann lett trekker inn i murkonstruksjonen. På den andre figuren som viser mitt forslag (case 2) som er tettere, og ikke har disse problemene, se bilde 103.



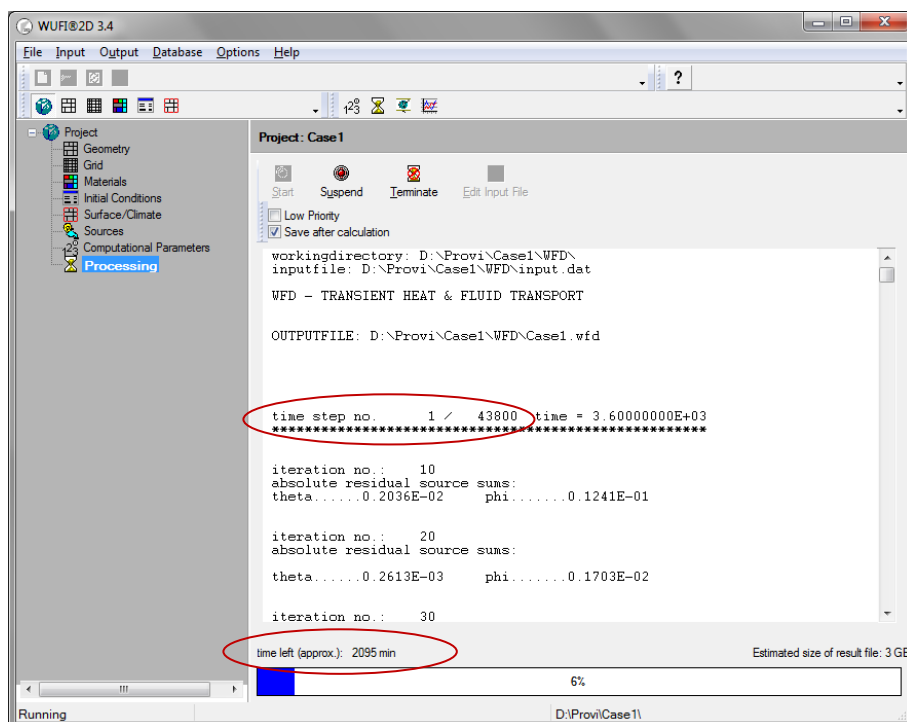
Figur 102: Viser kjellergulv med kjellerveggen på eget fundament (BKS 522.111-Betong på grunn)



Figur 103: Viser løsning 2(case 2)

Svakheter ved bruk av nye tiltaksløsninger(cases)

- MXPS-plater; ved dårlig liming eller sparsomt forbruk av Mlim kan det mye lettere oppstå framtidige lekkasjer. For å unngå dette problemet må det brukes rikelig med Mlim.
- Unøyte profilskjæring og liming av MXPS-platehjørne, kan lettere medføre framtidige lekkasjer.
- For eksisterende boliger er det umulig å komme under muren og forhindre kapillærsuging.
- Under WUFI'S oppsetting ble det en del utfordringer. Blant disse var det beregningstiden på WUFI 2D som brukte numerisk metode til utregning. Et eksempel var i case 1; da ville 48300 tidsskritt tilsvarende en 5 års- periode tatt 2095 minutter som var det samme som ett døgn, ti timer og 55 minutter. D.v.s. at for å simulere alle fem casene i en 5 års-periode ville det ta 7 døgn, 16 minutter og 28 sekunder. Det er helt umulig å beregne med en vanlig barbær-pc, da ville den muligens krasje i løpet av simuleringen.



Figur 102: Viser simulasjonstiden for case 1

4)Hva som kan gjøres annerledes?

Hva med å produsere veggelementer av lettbetong ferdig behandlet med MXPS-plater?

Konklusjon

Denne masteroppgaven har tatt for seg konsekvensene av klimaendringer i vår tid og derav hva mer ekstrem nedbør og/eller snømengde har for problemet med høy grunnvannstand og/eller flom relatert til kjellere/grunnmurer å gjøre. Under hvilke forhold høy grunnvannstand og flom kan oppstå. Det ble også beskrevet de viktigste årsakene til oppstigende fukt, under hvilke omstendigheter disse skjer, og hvordan de kan bedres eller unngås. De forskjellige eksisterende tiltaksløsningene for oppstigende fukt ble nevnt og brukt som basis for det videre arbeide med nye forbedrede tiltak.

Under WUFI'S oppsetting ble det programmert tolv stipulerte nedbørsperioder som ble satt inn i en egendefinert klimafil(wac-fil), slik at det var mulig å teste alle fem casene under store nedbørsmengder over tolv regnperioder i løpet av ett år. Gjennomsnittlig nedbørsmengde for hver periode lå på 3,3mm og for hele års-perioden 0,82mm. Hver regnperiode varierer mellom 95 og 191 tidsskritt, med et gjennomsnitt på 162 tidsskritt som tilsvarer ca. 6 dager. Til WUFI- programmene er det valgt den egendefinerte klimafilen(wac-fil) for utvendige klimaforhold, EN-15026-standard for innvendige klimaforhold og egendefinert WTA recommendation 6-2-01/E for underjordiske klimaforhold(Dette gjaldt for WUFI 2D).

Videre ble det beregnet med datasimuleringsprogrammene WUFI 1D og 2D; vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og muggvekstrisiko for hver enkelte case. Deretter ble den eksisterende konstruksjonen(case 5) med bare et betongsjikt brukt og sammenlignet med de fire nye utviklede tiltak(cases). Resultatet av disse konstruksjonstypene(cases) ble studert og sammenlignet iht. vanninnhold, relativ fuktighet, temperatur og muggvekstrisiko og hvordan disse ville oppføre seg under høy nedbørsintensitet i og under en 1-års periode.

Simuleringene viser at case 1 og case 2 ga de beste resultatene for samtlige forsøk. Case 2 har fått litt dårligere resultat på vanninnhold og relativ fuktighet i WUFI2D p.g.a. litt kondens som er dannet i gulvdelen mellom XPS-platene og betongsjiktet. Ifølge tabellene ser vi at case 1 og 2 fikk omtrent like høye temperaturer både for hele konstruksjonssjiktet og innsiden. I case 1 er ikke fundamentet og utvendig gulvsjikt beskyttet med membran, det gjør at løsningen faller bort i tilfelle der området ligger i terreng som er utsatt for flom eller har høy grunnvannstand. Den gunstigste løsningen blant de fire anbefalte casene er case 2 fordi membranen står på utsiden av XPS- platene og gir på langsikt mindre fuktighet og stabil temperatur i betongsjiktet. Det er en fin måte å holde innsiden av veggene tørre på og samtidig redusere risiko for saltutslag og evt. muggvekst som er vist i case 5 (starttilstanden). Det anbefales å bruk av en kombinasjon MXPS-plater med case 2, slik at det danner optimal beskyttelse. MXPS-plater er omtalt i diskusjonskapittelet.

Fuktighet er et ganske bredt og sammensatt tema som fører til mange utfordringer, særlig når det gjelder klimaforandringer og ekstremværforhold. Derfor er det veldig vanskelig å finne definitive løsninger på problemet. Intensjonen med denne rapporten er å bidra til å starte diskusjon/engasjement rundt fuktighetsproblematikken og oppfordre byggherrene og andre berørte til å tenke nytt og se fram til å utvikle nye ideer og løsninger, basert på sine lokale og/eller regionale ressurser.

Referanser

- [1] Forsidebilde: <http://www.hogarseco.pt/humidades-por-condensacao/bolor-paredes/>
- [2] <https://www.flickr.com/photos/klifbilder/6806759707/>
- [3] BKS, Byggetaljer 421.132 - Fukt i bygninger Teorigrunnlag, sending 2, Oslo, 2005
- [4] BKS, Byggetaljer 421.510 - Tilrettelegging for godt innemiljø i boliger, sending 1, Oslo, 2000
- [5] BKS, Byggetaljer 522.111 - Betong på grunn, sending 2, Oslo, 2003
- [6] BKS, Byggetaljer 727.121 - Fukt i kjellere årsaker og utbedring, sending 1, Oslo, 2006
- [7] <http://www.sintefbok.no/Product.aspx?sectionId=0&productId=917&categoryId=15>
- [8] <http://www.sintefbok.no/Product.aspx?sectionId=7&productId=918&categoryId=15>
- [9] <http://www.dicaseiras.com/2010/02/10/guia-completo-como-combater-eliminar-prevenir-humidade/>
- [10] http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136__Humidade_Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf
- [11] <http://www.byggogbevar.no/pusse-opp-gammelt-hus/mur/murstein-av-tegl.aspx>
- [12] <https://snl.no/flom>
- [13] <http://www.nve.no/no/Nyhetsarkiv-/Grunnvannsituasjonen/Grunnvannsituasjon-10-januar-2014/#Hva>
- [14] http://www.nve.no/PageFiles/14510/04%20Klima_ekstremv%C3%A6r_og_floam_Lars%20Andreas%20Roald%20.pdf
- [15] <http://www.rockwool.no/r%C3%A5dgivning/for+private/gode+r%C3%A5d+til+etterisolering+av+din+bolig/verdt+%C3%A5+vite/kapill%C3%A6rsug+og+bryting>
- [16] <http://75401.in.all.biz/no/vanntette-materialer-g569799>
- [17] <http://www.wufi.no/workshop-08/08-nov-02-Hygrotermiske%20Problemstillinger.pdf>
- [18] http://www.grunnvann.no/overvaking_generelt.php
- [19] www.wufi.no/WUFI1D-4.1-Bruker-v3.1.pdf
- [20] <http://admsustentavel2010.blogspot.com.br/2010/09/desastres-naturais.html>
- [21] http://met.no/Hav_og_is/
- [22] <http://www.vg.no/nyheter/innenriks/rasdramaet-i-rauma/enorme-regnmengder-oeker-rasfaren-ved-mannen/a/23323711/>
- [23] <http://mm.aftenposten.no/kloden-var/norge-darlig-forberedt-pa-ekstremvaer>
- [24] http://www.bygningsfysikk.no/Prosjekter/Prosjekt_Oustad_2004.pdf



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

67 2 Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no