

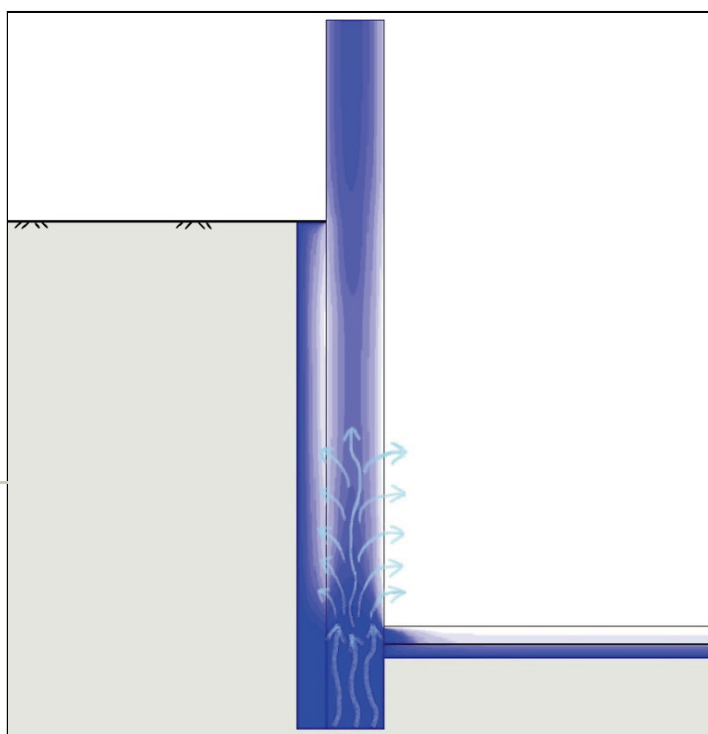
Espen Martinsen

# Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger

Beregningsmessig analyse av parametre  
relatert til uttørkingsforløp og muggsoppvekst

Trondheim, juni 2010

NTNU  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi  
Institutt for bygg, anlegg og transport







Oppgavens tittel:  <b>Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger</b> Beregningsmessig analyse av parametre relatert til uttørkingsforløp og muggsoppvekst	Dato: 10. juni 2010 Antall sider (inkl. bilag): 150		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn.  <b>Espen Martinsen</b> Faglærer/veileder: Prof.  <b>Jan Vincent Thue</b> Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Dr. ing.  <b>Stig Geving</b>			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Denne rapporten tar for seg to utbedringsmetoder for fuktskadede kjelleryttervegger. Utbedringstiltak 1 tar utgangspunkt i utvendig oppgraving og isolering med dampåpen isolasjon. Utbedringstiltak 2 tar utgangspunkt i innvendig bruk av grunnmursplate, for så å plassere en isolert utforing på innsiden av denne.</p> <p>I denne rapporten utføres en beregningsmessig analyse av disse utbedringstiltakene. Dette er en parameterstudie som tar sikte på å avdekke hvilke faktorer som er avgjørende for uttørkingsforløp og muggvekst i konstruksjonen.</p> <p>Den beregningsmessige analysen utføres i en- og todimensjonale beregningsprogrammer for transient varme- og fukttransport. I denne rapporten er WUFI Pro 4.2 og WUFI 2D benyttet for de henholdsvis en- og todimensjonale beregningene. I tillegg er det utført beregninger for å kartlegge temperaturer i grunnen. Dette er gjort i HEAT 2, som er et todimensjonalt beregningsprogram for transient varmestrøm.</p> <p>Det er i tillegg gjort noen beregninger av en kjellerkonstruksjon før utbedringstiltak er gjennomført. Det er her vurdert hvordan avdampingen fra en fuktig kjellerkonstruksjon påvirker fuktforholdene i kjellerlufta. Videre er det vurdert hvordan grunnmuren påvirker fuktforholdene i en eventuell innvendig utforing.</p>
---

Stikkord:

1. Fuktskader
2. Utbedring
3. Kjelleryttervegg
4. WUFI



# Forord

---

Denne rapporten er skrevet våren 2010 i samarbeid med NTNU og SINTEF Byggforsk. Rapporten har gått parallelt med det pågående FoU-prosjektet ved SINTEF Byggforsk under navnet ”Utvendig varme- og fuktisolering av kjellervegger”

I den forbindelse vil jeg gjerne takke prosjektdeltagerne for alle de nyttige innspillene.

Jeg vil også takke professor Jan Vincent Thue, ved Institutt for bygg, anlegg og transport, for god hjelp og tilrettelegging av masteroppgaven.

Avslutningsvis vil jeg rette en spesielt stor takk til Stig Geving, ved SINTEF Byggforsk, for meget god veiledning gjennom hele prosjektperioden.

Trondheim, 10. juni 2010

---

Espen Martinsen



# Sammendrag

---

Det er mange problemer som er knyttet til fuktige kjellerkonstruksjoner. I ytterste konsekvens kan fuktskadene medføre skadelig muggsoppvekst som igjen kan føre til helsemessige plager hos mennesker. Oppfuktingen av disse konstruksjonene er gjerne noe som foregår over tid, uten at dette nødvendigvis medfører problemer for brukerne av bygget. Problemene oppstår gjerne i forbindelse med en bruksendring av kjelleren. For å kunne bruke kjelleren til eksempelvis oppholdsrom eller som en tørr lagringsplass, må konstruksjonen tilbakeføres til en tørr tilstand.

I denne rapporten er det sett på to prinsipielt forskjellige utbedringsmetoder for fuktige kjellere. Disse utbedringsmetodene er knyttet opp mot det pågående FoU-prosjektet som har pågått ved SINTEF Byggforsk. Denne rapporten tar derfor sikte på å dokumentere effekten av disse utbedringstiltakene ved bruk av numeriske beregningsprogrammer.

Rapporten tar for seg beregningsmessige analyser av parametre knyttet opp mot uttørkingsforløp og muggsoppvekst i de utbedrede konstruksjonene. I denne rapporten er de beregningsmessige analysene utført i det todimensjonale beregningsprogrammet WUFI 2D og det endimensjonale beregningsprogrammet WUFI Pro 4.2. Disse programmene er egnet for transiente beregninger av fukt- og varmetransport i bygninger. I tillegg er det utført numeriske beregninger for å fastslå temperatuene i grunnen. For dette er beregningsprogrammet HEAT 2 benyttet, som er egnet for todimensjonale transiente varmestrømsberegninger.

For at beregningsresultatene skal ha så god kvalitet som mulig er mye av arbeidet i denne rapporten lagt ned i beregningsoppsettet. Det er lagt vekt på en korrekt beskrivelse av inneklime, uteklime og klima under terrengnivå. I tillegg er initialbetingelsene og materialparametrene nøye vurdert.

Denne rapporten er delt i tre hoveddeler. De to første delene tar for seg de to aktuelle utbedringsmetodene. Den siste delen tar for seg kjellerkonstruksjonen før utbedringstiltak er utført.

Det første utbedringstiltaket omfatter utvendig oppgraving av konstruksjonen. Videre vil drensag og drenering utbedres, og konstruksjonen isoleres på utsiden med dampåpen isolasjon. For denne utbedringsmetoden er det vurdert hvordan parametre som for eksempel dampmotstand og tykkelse på utvendig isolasjon, innvendig temperatur, grunnmursmateriale og innvendig kledning påvirker uttørkingsforløpet i konstruksjonen.

Resultatene viser at disse parametrene påvirker uttørkingsforløpet i forskjellig grad. Det viser seg at en dampåpen utvendig isolasjon lar konstruksjonen tørke ut fra to sider. Dette har stor betydning for uttørkingen, og sammenlignet med ensidig uttørking vil denne konstruksjonen ha et raskere og tørrere uttørkingsforløp. Resultatene har vist at innvendig temperatur og dampmotstand på innvendig side også påvirker uttørkingen i stor grad. En svakhet med denne metoden er at selv om den kapillære oppsugingen blir redusert, vil den ikke opphøre. På sikt kan dette medføre fuktproblemer i innvendige utføring.

Den andre utbedringsmetoden som vurderes tar ikke sikte på å tørke ut konstruksjonen. I stedet vil det benyttes en grunnmursplate direkte mot grunnmuren på innvendig side og en isolert utføring på innsiden av denne. Prinsippet er at grunnmursplaten forhindrer at utføringen fuktes direkte opp av grunnmuren. Grunnmuren vil på sin side fortsette å være i en oppfuktet tilstand. For denne utbedringsmetoden er det RF og temperatur i utføringen som betraktes. Ut i fra disse resultatene kan det vurderes muggvekstrisiko ved å beregne antall maksdøgn med muggsoppvekst og kumulativ

eksponering. Videre vurderes det hvordan parametre som varmemotstand i grunnmuren, tykkelse på innvendig isolasjon, fukttilskudd og uteklime påvirker muggsoppveksten i utforingen.

Resultatene fra disse beregningene har vist at varmemotstanden i grunnmuren påvirker RF og temperatur i utforingen i stor grad. Grunnmur med lav varmemotstand er utsatt for stor muggvekstrisiko. Innvendig isolasjonstykkelse har også stor betydning for muggsoppveksten i utforingen. I de fleste tilfeller øker muggvekstrisikoen med økende innvendig isolasjon. Dette må imidlertid ses i sammenheng med varmemotstanden i grunnmuren. Konstruksjoner med høy varmemotstand i grunnmuren har bedre forutsetninger for å kunne bruke tykkere innvendig isolasjon uten at det medfører risiko for skadelig muggsoppvekst. Andre parametre som har betydning for muggsoppveksten i utforingen er fukttilskudd og utvendig klima. Flere av beregningstilfellene i dette utbedringstiltaket kan være utsatt for stor muggsoppvekst. Det er derfor nødvendig å utarbeide differensierte anvisninger basert på kjellerens geografiske beliggenhet, konstruksjonsoppbygning og bruksområde. Denne utbedringsmetoden er ikke egnet for rom med høy fuktbelastning.

Den siste delen av rapporten ser på hvordan kjellerkonstruksjonen påvirker lufta i kjelleren før utbedring. Dette er gjort ved å registrere avdampingen fra grunnmuren til kjellerlufta. Det er også vurdert hvordan grunnmuren påvirker RF i innvendig utforing og bunnsvill. Denne delen er derfor todelt. Den første delen vurderer hvordan parametre som utvendig grunnmursplate, innetemperatur og grunnmursmateriale påvirker diffusjonsfluksen til kjellerlufta. Den andre delen ser på hvordan RF i utforing og bunnsvill avhenger av innvendig dampmotstand og grunnmursmateriale.

Resultatene viser at grunnmursplaten og innvendig temperatur har størst betydning for den innadrettede diffusjonsfluksen. Det er også utført enkle overslag over hvordan denne diffusjonsfluksen påvirker kjellerlufta. Fuktinholdet i kjellerlufta bestemmes i hovedsak av luftingen i kjelleren. Resultatene viser at dårlig ventilerte kjellere vil ha størst effekt av å øke ventilasjonen, mens for godt ventilerte kjellere styres fuktinnholdet i større grad av utvendige forhold. Avdampingen vil, under de forutsetningene som er gjort i denne rapporten, kreve i størrelsesorden en halv watt pr. kvadratmeter. Bunnsvillen i utforingen vil få det tørreste RF-forløpet ved å bruke dampåpen innvendig kledning. I selve utforingen vises det tilsvarende resultater. Resultatene viser også at konstruksjoner i lettklinker vil ha en litt høyere RF enn betongkonstruksjoner grunnet det dampåpne materialet. Muggvekstrisikoen er ikke vurdert i denne delen, men på lang sikt kan disse utforingene utsettes for skadelig muggsoppvekst.



# Summary

---

There are many problems associated with damp basement structures. The moisture can lead to harmful mold growth which can lead to health problems for humans. Wetting of these structures is often something that occurs over time, without this necessarily causes problems for the users of the building. The problems often arise in connection with a change of use of the basement. In order to use the basement for living or as a dry storage, the structure must return to a dry state.

In this report, two fundamentally different methods for repairing wet basements are considered. These repair methods are linked to the ongoing research project that has been going at SINTEF Byggforsk. This report therefore aims to document the impact of these repair methods by the use of numerical calculation programs.

The report discusses the calculation analysis of the parameters associated with the drying progress and mold growth in the repaired structures. The calculation analysis of moisture and temperature conditions in the construction is carried out in the two-dimensional calculation program WUFI 2D and one-dimensional calculation program WUFI Pro 4.2. These programs are suitable for transient calculations of moisture and heat transport. In addition, it is carried out some calculations in HEAT 2, which is suitable for two-dimensional transient heat flow calculations.

Much of the work in this report is put in the calculation setup, to ensure that the calculation results will have as good quality as possible. A correct description of the indoor climate, outdoor climate and climate below ground level is emphasized. In addition, initial conditions and material parameters are carefully considered.

The report is divided into three main parts. The first two parts are dealing with the two repair methods. The final section discusses the basement structure before the repair action is performed.

The first repair method is dealing with excavation of the structure. In addition, drainage is improved, and the construction is insulated on the outside with low moisture resistance insulation. It is considered how parameters such as moisture resistance and thickness of exterior insulation, interior temperature, building material and inner lining affects drying progress in the construction.

The results show that these parameters affect the drying progress in varying degrees. It turns out that exterior insulation with low moisture resistance allows the construction to dry out from two sides. This has great significance for the desiccation, and compared with one-sided drying, this construction have a faster and drier drying process. The results have shown that the interior temperature and vapor resistance of the interior side greatly affect the drying. A weakness of this method is that even though the capillary absorption is reduced, it will not cease. In the long run, this can lead to moisture problems and mold growth.

The second repair method being considered is not intending to dry out the construction. Instead, it takes use of a vapour barrier directly against the wall on the interior side and insulation on the inside of it. The vapour barrier prevents the insulation to get moistened directly by the construction. The construction will in turn continue to be in a moist state. For this repair method the RH and temperature between the insulation and the vapour barrier is considered. From these results the mold growth risk can be considered by calculating the maximum number of days with mold growth and cumulative exposure. Further, parameters such as the walls heat resistance, internal insulation, moisture supply and outdoor climate are considered in regard of mold growth.

The results of these calculations have shown that the walls heat resistance greatly affects the RH and temperature on the inside. Walls with low thermal resistance are exposed to high mold growth risk. The thickness of the internal insulation has great significance for mold growth. In most cases, mold growth increases as the internal insulation get thicker. This must be related to the heat resistance of the wall. Walls with high heat resistance are better suited to use thicker insulation on the inside. Other parameters that affect the mold growth are the moisture supply and the exterior climate. It is necessary to develop differentiated instruction based on the geographic location, construction and use of the basement. This repair method is not suitable for rooms with high moisture loads.

The last section of the report looks at how the construction affects the air in the basement before the renovation. This is done by measuring the evaporation from the basement wall to the air. It is also considered how the foundation affects the RH in the interior insulation and bottom sill. This section is therefore twofold. The first section considers how parameters such as the exterior vapour barrier, indoor temperature and construction material affects the diffusion flux into the basement air. The second part looks at how the RH in the internal insulation and the bottom sill depends on the internal moisture resistance and construction material.

The results show that the vapour barrier and the inside temperature has the greatest impact on the diffusion flux. It is also made simple estimates of how this diffusion flux affects the basement air. Moisture content of the basement air is mainly determined by the ventilation in the basement. The results show that poorly ventilated basements will have the greatest effect of increasing the ventilation, while well ventilated basements are more dependent of external conditions. The evaporation will, under the assumptions made in this report, demand in the order of half watt pr. square meter. The bottom sill is most dry when using an inner lining with low moisture resistance. The results also show that structures made of LECA will have a slightly higher RH due to the low moisture resistance of the material. Mold growth risk is not considered in this section, but in the long term these constructions may be exposed to harmful mold growth.

# Innholdsfortegnelse

---

<b>Forord</b> .....	<b>iv</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>vi</b>
<b>Summary</b> .....	<b>viii</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>x</b>
<b>Figurliste</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Tabelliste</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål .....	2
1.3 Rapportens oppbygning.....	2
<b>2 Utbedringstiltak 1 – Utvendig isolering med dampåpen isolasjon</b> .....	<b>3</b>
2.1 Beskrivelse av metoden.....	3
2.2 Beregningsprogram .....	3
2.2.1 Transportmekanismer og begrensninger .....	3
2.2.2 Brukererfaringer .....	5
2.3 Beregningsoppsett .....	5
2.3.1 Geometri og målsetting .....	5
2.3.2 Materialparametre.....	6
2.3.3 Initialbetingelser .....	7
2.3.4 Innvendig klima.....	8
2.3.5 Utvendig klima .....	9
2.3.6 Klima under terrengnivå.....	9
2.3.7 Adiabatiske systemlinjer .....	13
2.3.8 Målepunkter.....	14
2.3.9 Øvrige beregningsparametre .....	14
2.4 Parametervariasjoner .....	15
2.4.1 Beskrivelse av parametrene.....	15
2.4.2 Beregningsvarianter.....	16
2.5 Resultater og vurderinger .....	17
2.5.1 Generelt .....	17
2.5.2 Standard beregningsvariant .....	18
2.5.3 Effekt av dampmotstand i utvendig isolasjon.....	19
2.5.4 Effekt av utvendig isolasjonstykkelse .....	22
2.5.5 Effekt av innvendig temperatur .....	23

2.5.6	Effekt av innvendig utlekting .....	25
2.5.7	Effekt av grunnmursmateriale .....	28
2.5.8	Effekt av høyde på utvendig isolasjon.....	31
2.5.9	Effekt av utvendig grunnmursplate .....	33
2.5.10	Effekt av høy fuktbelastning i grunn.....	35
2.5.11	Varmestrømsbetraktninger .....	38
2.6	Oppsummering og konklusjon .....	39
<b>3</b>	<b>Utbedringstiltak 2 – Innvendig grunnmursplate og isolert utforing .....</b>	<b>41</b>
3.1	Beskrivelse av metoden.....	41
3.2	Beregningsoppsett .....	42
3.2.1	Geometri og målsetting .....	42
3.2.2	Materialparametre.....	43
3.2.3	Initialbetingelser.....	43
3.2.4	Innvendig klima.....	44
3.2.5	Utvendig klima .....	45
3.2.6	Målepunkter.....	45
3.2.7	Kontroll for muggvekst .....	45
3.2.8	Øvrige beregningsparametre .....	49
3.3	Parametervariasjoner .....	49
3.3.1	Tykkelse på innvendig isolasjon .....	49
3.3.2	$S_d$ -verdi på innvendig kledning .....	50
3.3.3	Fukttilskudd til inneluft .....	50
3.3.4	Varmemotstand i grunnmuren.....	50
3.3.5	Uteklima .....	51
3.3.6	Dybde under terreng.....	51
3.3.7	Beregningsvarianter.....	52
3.4	Resultater og vurderinger .....	53
3.4.1	Risiko for muggvekst .....	53
3.4.2	Effekt av grunnmurens varmemotstand med 50 mm innvendig isolering.....	54
3.4.3	Effekt av grunnmurens varmemotstand med 100 mm innvendig isolering.....	56
3.4.4	Effekt av grunnmurens varmemotstand med 100 mm innvendig isolering og lavt fukttilskudd.....	59
3.4.5	Effekt av grunnmurens varmemotstand med 150 mm innvendig isolering.....	61
3.4.6	Effekt av dampmotstand i innvendig kledning.....	62
3.4.7	Effekt av fukttilskudd .....	65
3.4.8	Effekt av utvendig klima .....	68

3.4.9	Fuktforhold i utforingen under terrengnivå .....	71
3.4.10	Forslag til alternativ konstruksjonsoppbygning .....	74
3.5	Oppsummering og konklusjon .....	77
<b>4</b>	<b>Fuktsitasjon i konstruksjon før utbedringstiltak .....</b>	<b>79</b>
4.1	Innledning.....	79
4.2	Beregningsoppsett .....	79
4.2.1	Geometri og målsetting .....	79
4.2.2	Materialparametre.....	80
4.2.3	Initialbetingelser .....	80
4.2.4	Innvendig klima.....	81
4.2.5	Utvendig klima .....	81
4.2.6	Klima under terrengnivå.....	81
4.2.7	Målepunkter.....	82
4.3	Parametervariasjoner .....	83
4.3.1	Grunnmursplate .....	83
4.3.2	Innetemperatur.....	83
4.3.3	Sesongbetont oppfukting .....	83
4.3.4	Grunnmursmateriale .....	84
4.3.5	Dampmotstand i innvendig kledning.....	84
4.3.6	Effekt av grunnmursmateriale med damptett innvendig kledning .....	84
4.3.7	Beregningsvarianter.....	84
4.4	Resultater og vurderinger .....	85
4.4.1	Standard beregningsvariant .....	85
4.4.2	Effekt av utvendig grunnmursplate .....	86
4.4.3	Effekt av innvendig temperatur .....	87
4.4.4	Effekt av sesongbetont oppfukting.....	89
4.4.5	Effekt av lettklinker som grunnmursmateriale .....	90
4.4.6	Avdampingsens effekt på kjellerlufta .....	91
4.4.7	RF i bunnsvill .....	94
4.4.8	RF i utforing .....	95
4.5	Oppsummering og konklusjon .....	96
<b>5</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>98</b>
<b>6</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>Appendiks .....</b>	<b>101</b>
	Appendiks A – Temperaturer i grunnen.....	102
	Appendiks B – Beregningsresultater fra utbedringstiltak 1.....	106

Appendiks C – Muggvekstvurderinger for utbedringstiltak 2 .....	120
Appendiks D – Beregningsresultater fra utbedringstiltak 2 .....	121
Appendiks E – Beregningsresultater for konstruksjon før utbedring .....	134

## Figurliste

Figur 2.1: Standardkonstruksjonens geometri og målsetting .....	6
Figur 2.2: Initialfuktnivå i konstruksjonen .....	8
Figur 2.3: Fukttilskudd benyttet for modellering av inneklime .....	9
Figur 2.4: Beregningsoppsett ved HEAT 2 beregningene .....	11
Figur 2.5: Klimapåkjenningsene på konstruksjonen .....	12
Figur 2.6: Temperatur i grunnen for standardkonstruksjonen .....	13
Figur 2.7: Målepunktene i konstruksjonen .....	14
Figur 2.8: Beregningsresultater for standard beregningsvariant .....	18
Figur 2.9: Fuktsituasjon for variant 1 og variant 2 etter ett års beregningstid .....	19
Figur 2.10: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 3 .....	20
Figur 2.11: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 2 og 3 .....	21
Figur 2.12: RF i høyde 1000 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 3 .....	21
Figur 2.13: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 4 .....	22
Figur 2.14: RF i høyde 1000 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 4 .....	23
Figur 2.15: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6 .....	24
Figur 2.16: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6 .....	24
Figur 2.17: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6 .....	25
Figur 2.18: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8 .....	26
Figur 2.19: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8 .....	27
Figur 2.20: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8 .....	27
Figur 2.21: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 9 .....	28
Figur 2.22: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 9 .....	29
Figur 2.23: Vanninnhold i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 9 .....	30
Figur 2.24: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 9 .....	30
Figur 2.25: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 10 og 11 .....	31
Figur 2.26: Forskriftsmessig bruk av dampåpen isolasjon .....	32
Figur 2.27: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 12 .....	33
Figur 2.28: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 2 og 13 .....	34
Figur 2.29: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 13 .....	34
Figur 2.30: RF i høyde 1000 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 13 .....	35
Figur 2.31: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 14 .....	36
Figur 2.32: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 14 .....	36
Figur 2.33: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 14 .....	37
Figur 2.34: Gjennomsnittlig varmestrøm for beregningsvariant 1, 4, 7 og 12 .....	38
Figur 3.1: Standard konstruksjonsoppbygning for utbedringstiltak 2 .....	43
Figur 3.2: Dimensjonerende fukttilskudd .....	44
Figur 3.3: Relativ veksthastighet som funksjon av RF .....	46
Figur 3.4: Relativ veksthastighet som funksjon av temperatur .....	47
Figur 3.5: Yttervegg mot terreng med isolert utføring på innvendig side .....	48
Figur 3.6: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for alle beregningsvariantene .....	53
Figur 3.7: Kumulativ eksponering for alle beregningsvariantene .....	54
Figur 3.8: RF for beregningsvariant 1, 2, 3 og 4 .....	55

Figur 3.9: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for variant 1, 2, 3 og 4 .....	56
Figur 3.10: RF for beregningsvariant 7 og 8 .....	57
Figur 3.11: RF for beregningsvariant 5 og 6, utklosset 30 mm.....	58
Figur 3.12: RF for beregningsvariant 17 og 19 .....	59
Figur 3.13: RF for beregningsvariant 20 og 21 .....	60
Figur 3.14: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for variant 17, 19, 20 og 21 .....	61
Figur 3.15: RF for beregningsvariant 9 og 10 .....	62
Figur 3.16: RF for beregningsvariant 1, 11, 12, 13 og 14 .....	63
Figur 3.17: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 11, 12, 13 og 14.....	63
Figur 3.18: RF for beregningsvariant 1, 15 og 16 .....	65
Figur 3.19: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 6, 15, 16, 17 og 18.....	66
Figur 3.20: RF for beregningsvariant 6, 17 og 18 .....	67
Figur 3.21: RF for beregningsvariant 1, 22 og 23 .....	69
Figur 3.22: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 22, 23 og 24.....	70
Figur 3.23: RF for beregningsvariant 24 .....	70
Figur 3.24: RF for beregningsvariant 1 og 25 .....	72
Figur 3.25: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 2, 25 og 26.....	73
Figur 3.26: RF for beregningsvariant 2 og 26 .....	74
Figur 3.27: RF og temperatur for alternativ konstruksjon.....	76
Figur 4.1: Geometri og målsetting for konstruksjon brukt i beregningsvariant 1 – 5 .....	80
Figur 4.2: Fukttilskudd brukt i beregningene .....	81
Figur 4.3: Temperaturprofiler brukt under terrengnivå for innetemperatur lik 14 °C.....	82
Figur 4.4: Temperaturprofiler brukt under terrengnivå for innetemperatur lik 22 °C.....	82
Figur 4.5: Diffusjonsfluks for beregningsvariant 1 .....	85
Figur 4.6: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 2 .....	86
Figur 4.7: Diffusjonsfluks i intervall 800-1600 mm for beregningsvariant 1 og 2 .....	87
Figur 4.8: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 3 .....	88
Figur 4.9: Diffusjonsfluks for gulvkonstruksjonen for beregningsvariant 1 og 3 .....	88
Figur 4.10: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 4 .....	89
Figur 4.11: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 5 .....	90
Figur 4.12: Diffusjonsfluks i intervall 800-1600 mm for beregningsvariant 1 og 5 .....	91
Figur 4.13: Fukttinnhold i kjellerlufta som funksjon av antall luftvekslinger.....	93
Figur 4.14: Gjennomsnittlig RF i bunnsvill for beregningsvariant 6, 7 og 8 .....	95
Figur 4.15: RF i utføringen for beregningsvariant 6, 7 og 8 .....	96

## Tabelliste

Tabell 2.1: Transportmekanismer for fukt og varme i WUFI .....	4
Tabell 2.2: Materialparametre for materialene brukt i beregningene.....	7
Tabell 2.3: Bygningsfysiske og beregningsmessige parametre.....	14
Tabell 2.4: Beregningsvarianter for utbedringstiltak 1.....	16
Tabell 3.1: Kritisk RF for muggvekst på gran og furu .....	45
Tabell 3.2: Veiledende grenseverdier ved muggvekstsvurdering .....	48
Tabell 3.3: Bygningsfysiske og beregningsmessige parametre.....	49
Tabell 3.4: Beregningsvariant 1 – 14 for utbedringstiltak 2.....	52
Tabell 3.5: Beregningsvariant 15 – 26 for utbedringstiltak 2.....	52
Tabell 3.6: Antall maksdøgn og kumulativ eksponering for alternativ konstruksjon .....	76
Tabell 4.1: Beregningsvarianter for konstruksjon før utbedring .....	84

# 1 Innledning

---

## 1.1 Bakgrunn

Kjellerkonstruksjoner kan utsettes for kraftige fuktpåkjenninger. Disse påkjenningene kommer fra grunnvann, overflatevann eller fra den permanente tilstedeværelsen av fukt i grunnen. Moderne fuktisolering beskytter konstruksjonen mot slike fuktpåkjenninger. Drenering og drenslag fjerner direkte vannpåkjenninger, mens den ytre grunnmursplaten hindrer kapillær oppfukting. Er kjellerkonstruksjonen korrekt utført etter forskriftene vil den være både tørr og varm, og den vil være godt egnet for oppholdsrom.

Av ulike årsaker kan kjellerkonstruksjonen fuktes opp over tid. Eksempelvis kan eldre konstruksjoner ha mangelfull eller fraværende fuktisolering, drenering og drenslag kan ha blitt gjenslammet og konstruksjonen kan fuktes opp av kapillær oppsugning fra grunnen.

Problemene knyttet til fuktig konstruksjon melder seg ofte når kjellerens bruksmønster skal endres. For eksempel kan det tenkes at den fuktige kjelleren skal innredes til oppholdsrom eller en tørr lagringsplass. Ved slike bruksendringer stilles det strengere krav til innemiljøet. Temperatur og relativ fuktighet i innelufta bør ligge innenfor gitte verdier, avhengig av bruksforhold. Samtidig må fuktømfintlig konstruksjon være så tørr at det ikke gir grobunn for mugg- eller råtesoppvekst.

I dag finnes det flere metoder for å utbedre fuktige kjellere. Metodene har forskjellige virkningsmåter, og det er forskjellige prinsipper som ligger bak. Én tilnæringsmåte er å tørke ut konstruksjonen, gjerne ved å kombinere en redusert fukttilførsel med en økt uttørkingshastighet. En annen tilnæringsmåte vil være å beskytte den fuktømfintlige bygningsmassen mot skadelig oppfukting, for deretter å anta at resten av grunnmuren vil kunne opprettholde sin funksjonalitet selv i oppfuktet tilstand.

Det er imidlertid en rekke spørsmål som kan knyttes til slike utbedringer. I de tilfellene der konstruksjonen skal tørkes ut vil en kunne stille spørsmål om hvor lang tid uttørkingen tar. Videre er det av interesse å vite hvordan uttørkingsforløpet avhenger av parametre som dampmotstand og tykkelse på utvendig isolasjon, innvendig temperatur og materiale i konstruksjonen.

I de tilfellene der konstruksjonen utbedres ved å beskytte de fuktømfintlige bygningsdelene er det andre problemstillinger som dukker opp. Det er først og fremst fukt- og temperaturforhold i disse bygningsdelene som er av interesse. Relevante spørsmål som er knyttet til en slik utbedring kan være hvordan fukt- og temperaturforholdene varierer med isolasjonstykkelse, inneluftas fukttilskudd og grunnmurens oppbygning.

En eksperimentell tilnærming av disse spørsmålene ville imidlertid blitt kostbart og tidkrevende. Med tanke på hvor mange parametre som kan påvirke fuktforholdene i konstruksjonen, ville forsøksoppsettet blitt meget omfattende. Det er først og fremst hvordan de ulike parametrene spiller inn på fuktforholdet i konstruksjonen som er av interesse. Det blir dermed mindre aktuelt å gjengi et virkelig fuktforløp i en virkelig konstruksjon. I den sammenheng er det mer hensiktsmessig å utføre en beregningsmessig analyse av disse parametrene.



Den beregningsmessige analysen er mer ressurs- og tidsbesparende enn å gjøre tilsvarende eksperimentelle undersøkelser. Sannsynligvis vil analytiske tilfeller ha betydelige avvik fra tilsvarende reelle tilfeller, men for å betrakte *forskjeller* vil slike analyser være godt egnet. Denne rapporten tar for seg en beregningsmessig analyse av de ulike parametre som påvirker fuktforhold og muggsoppvekst i en oppfuktet kjellerkonstruksjon.

## 1.2 Formål

Denne masteroppgaven er utarbeidet i samarbeid med NTNU og SINTEF Byggforsk. Masteroppgaven har gått parallelt med et pågående FoU-prosjekt ved SINTEF Byggforsk med navn ”Utvendig varme- og fuktisolering av kjellervegger”. Denne rapporten tar utgangspunkt i de utbedringsmetodene som inngår i dette prosjektet. Formålet med rapporten er å kunne dokumentere under hvilke forhold de ulike utbedringstiltakene har ønsket virkning, og hvilke parametre som er av spesiell betydning for fukt- og temperaturforhold i de utbedrede konstruksjonene. Videre er det ønskelig å kunne trekke noen generelle anbefalinger for de respektive utbedringstiltakene på grunnlag av de resultatene som måtte foreligge.

## 1.3 Rapportens oppbygning

Denne rapporten er delt i tre deler. Den første delen av rapporten omfatter utbedringstiltak 1. Denne utbedringsmetoden tar i bruk utvendig isolering med dampåpen isolasjon. Den andre delen tar for seg utbedringstiltak 2. Dette tiltaket benytter seg av en innvendig grunnmursplate med en isolert utforing på innsiden av denne. Den siste delen ser på konstruksjonen, og konstruksjonens påvirkning på kjellerlufta, før utbedring er foretatt. Avslutningsvis trekkes de viktigste resultatene fra beregningene frem.

## 2 Utbedringstiltak 1 – Utvendig isolering med dampåpen isolasjon

---

### 2.1 Beskrivelse av metoden

Som utgangspunkt betraktes en fuktig kjellerkonstruksjon. En utbedring blir ofte initiert av et ønske om å endre bruksmåten til kjelleren. Denne endringen innebærer i mange tilfeller at det må stilles strengere krav til fukt- og temperaturforhold i kjellerlufta. Utbedringsmetodens formål er derfor å føre kjellerkonstruksjonen fra en oppfuktet tilstand til en tilstand som kan karakteriseres som tørr.

Utbedringstiltaket som vurderes i dette kapittelet omfatter utvendig oppgraving av konstruksjonen. Videre blir konstruksjonen isolert på utsiden med en dampåpen EPS. Som oftest vil også eventuell defekt drenering og gjenslammet drensag utbedres samtidig. På denne måten vil også den utvendige fuktbelastningen reduseres.

Konseptet bak dette utbedringstiltaket ligger først og fremst i den dampåpne isolasjonen. Ved å benytte dampåpen utvendig isolasjon vil den fuktige konstruksjonen kunne få en tosidig uttørking. En tosidig uttørking kan i følge noen teoretiske betraktninger redusere uttørkingstiden med en faktor fire, i forhold til ensidig uttørking. I tillegg vil utvendig isolering heve temperaturen på konstruksjonen, som vil kunne medføre bedre uttørkingsforhold. [1]

I dette kapittelet skal det vurderes hvordan ulike parametrene påvirker uttørkingsforløpet. Dampmotstanden i utvendig isolasjon er en av de sentrale parametrene som betraktes. I tillegg vurderes parametre som blant annet innvendig temperatur, innvendig isolasjon og grunnmursmateriale. Ved å variere disse parametrene enkeltvis, kan endring i uttørkingsforløpet kunne relateres til den aktuelle parameteren.

Den todimensjonale beregningsmessige analysen av disse parametrene er utført i WUFI 2D.

### 2.2 Beregningsprogram

De todimensjonale analysene i denne rapporten utføres i WUFI 2D. WUFI er en forkortelse for Wärme- und Feuchtetransport Instationär (transient varme- og fukttransport). Følgelig er programmet egnet til beregning av transient todimensjonal varme- og fukttransport i bygningskomponenter. I denne rapporten er det først og fremst de fukttekniske aspektene som betraktes, men programmet åpner også for varmestrømsbetraktninger der dette er aktuelt.

#### 2.2.1 Transportmekanismer og begrensninger

Det fysiske og numeriske grunnlaget i WUFI er beskrevet i en doktoravhandling av Küntzel. WUFI tar varme- og fukttransport i betraktning, men som ved de fleste beregningsmodeller gjøres det flere forenklinger i beregningene. I tabell 2.1 oppsummeres kort hvilke transportformer som inkluderes og ikke inkluderes i WUFI. [2]

**Tabell 2.1: Transportmekanismer for fukt og varme i WUFI [2]**

	Transportmekanisme	
	Inkludert i WUFI	Ikke inkludert i WUFI
Varmetransport	Varmeledning	Varmestrøm ved konveksjon
	Entalpistrøm ved fukttransport og faseendring	
	Kort- og langbølget stråling	
Damptransport	Vanndampdiffusjon	Fukttransport som følge av konveksjon
	Løsningsdiffusjon	
Væsketransport	Kapillærledning	Dreneringsstrømning
	Overflatekryping	Hydraulisk strømning
		Elektrokinetiske og osmotiske transportformer

Noen transportformer er ikke inkludert i WUFI, og dette vil ha betydning for hva slags beregningstilfeller WUFI kan handtere. Det følgende tar for seg hva slags konsekvenser disse forenklingene medfører.

Konveksjon er ikke inkludert i WUFI. Grunnen til dette er at luftstrømmene ofte forekommer i skjøter og andre lekkasjepunkter, og disse størrelsene er ofte vanskelige å kvantifisere. I de tilfellene der man har en trykkgradient over konstruksjonen, er det sett eksempler på omfattende kondensutfelling som følge av konveksjon. Slike situasjoner er ikke egnet for beregning i WUFI, og blir dermed ikke vurdert i denne rapporten.

For fukttransport i væskefase er det flere transportmekanismer som ikke er inkludert. Dreneringsstrømning foregår først og fremst i grovporøse media, som følge av tyngdekraften. Dette kan for eksempel være kondens i mineralull, som resulterer i en strømning av kondensvann mot gulvet. For finporøse bygningsmaterialer, som for eksempel betong, vil de kapillærsugende kreftene være så store at dreneringsstrømningen vil være neglisjerbar i sammenligning. For mer grovporøse materialer, som for eksempel mineralull i en innvendig utføring, bør man være oppmerksom på at kondensvann ikke renner vekk fra det kondensutsatte området. Dette kan muligens vise seg som en mer kraftig oppfukning enn et reelt tilfelle, siden alt vannet vil adsorberes i bygningsmaterialet.

Hydraulisk strømning er også sett bort i fra i WUFI. Hydraulisk strømning kommer som en følge av ytre vanntrykk. Ytre vanntrykk i kjellersammenheng er som ekstremisituasjoner å regne, og vil ikke bli vurdert i denne rapporten.

Elektrokinetiske og osmotiske transportmekanismer er å anse som spesielle tilfeller innen fukttransport i bygninger. Det finnes fremdeles ingen gode modeller for å beskrive denne typen fukttransport, som er grunnen til at disse transportformene ikke er inkludert i WUFI. Vanligvis medfører ikke dette større unøyaktigheter, siden gradienter i ionekonsentrasjoner og elektrisk potensiale vanligvis er små i bygninger. Dette er på den andre siden helt sentralt innen elektro-osmose. En viktig konsekvens av dette er at WUFI ikke kan brukes til beregninger av elektro-osmose og andre lignende utbedringsmetoder for fuktige kjellerkonstruksjoner. [1][2]

### 2.2.2 Brukererfaringer

Som ved de fleste dataprogrammer vil det være en kontinuerlig utvikling av programmet. Eventuelle feil og forbedringspotensialer kan rapporteres til programvareutviklerne som ved neste programoppdatering kan utbedre problemene, og på sikt gjøre programmet bedre. Tilbakemeldinger er derfor en viktig forutsetning for å kunne forbedre programmet. Gjennom arbeidet med masteroppgaven har forfatteren opparbeidet flere brukererfaringer, som har antatt bruksverdi ved fremtidige programoppdateringer. Bruken av programmet må karakteriseres som avansert bruk, spesielt med tanke på at det regnes på konstruksjoner under terreng.

Ved modellering av inneklima i henhold til EN 13788 kan brukeren legge til brukerdefinert fukttilskudd. En feil i programmet gjør at når programmet lagres og avsluttes vil WUFI sette dette brukerdefinerte fukttilskuddet tilbake til standardinnstillingen. Programmet lagrer ikke disse innstillingene. Dette kan medføre betydelige feil i beregningene dersom man ikke er klar over dette. Det hadde også vært ønskelig å kunne modellere inneklimaet med variabel innetemperatur.

En konstruksjon under terrengnivå vil typisk utsettes for temperatursvingninger som avhenger av dybde fra terrengoverflaten. For å kunne simulere dette i WUFI må det brukes klimafil for den respektive dybde. WUFI vil ikke kunne angi flere enn en klimafil pr. flate. Dette betyr i praksis at for å benytte flere ulike klima på den samme flaten, må konstruksjonen bygges opp seksjonsvis, for deretter å tildele hver seksjon sin egen klimafil. Dette burde ikke være nødvendig siden konstruksjonen ikke er bygd opp seksjonsvis. I tillegg vil dette medføre at beregningene får langt flere beregningspunkter enn det som strengt tatt er nødvendig. Det ville med andre ord vært ønskelig å kunne definere hvilke områder av konstruksjonen som skal utsettes for gitt klima uavhengig av konstruksjonens geometri.

På samme måte relateres initialbetingelsene i konstruksjonen til et materiale og ikke et avgrenset område. I de tilfellene hvor det betraktes en konstruksjon som ikke har en uniform fordeling av fuktinnhold i starten av beregningene må det benyttes en lignende metode som ved klimafilene. Konstruksjonen må bygges opp seksjonsvis, for deretter å tildele hver seksjon et unikt materiale. Disse materialene er selvsagt like, men unike i navnet slik at WUFI oppfatter dette som forskjellige materialer. For brukeren medfører dette ekstraarbeid, og for programmet medfører dette ytterligere ekstra beregningspunkter. Det ville derfor vært praktisk med en oppdeling av initialbetingelser på områder, og ikke kun på materialer.

## 2.3 Beregningsoppsett

### 2.3.1 Geometri og målsetting

For å kunne sammenligne de forskjellige beregningsvariantene trengs et sammenlignings-grunnlag. Det er derfor definert en standardkonstruksjon (variant 1) som et referansepunkt. De øvrige beregningsvariantene vil være varianter av standardkonstruksjonen.

Standardkonstruksjonen har følgende veggoppbygning, regnet utenfra:

- 100 mm dampåpen EPS
- 200 mm betong B15

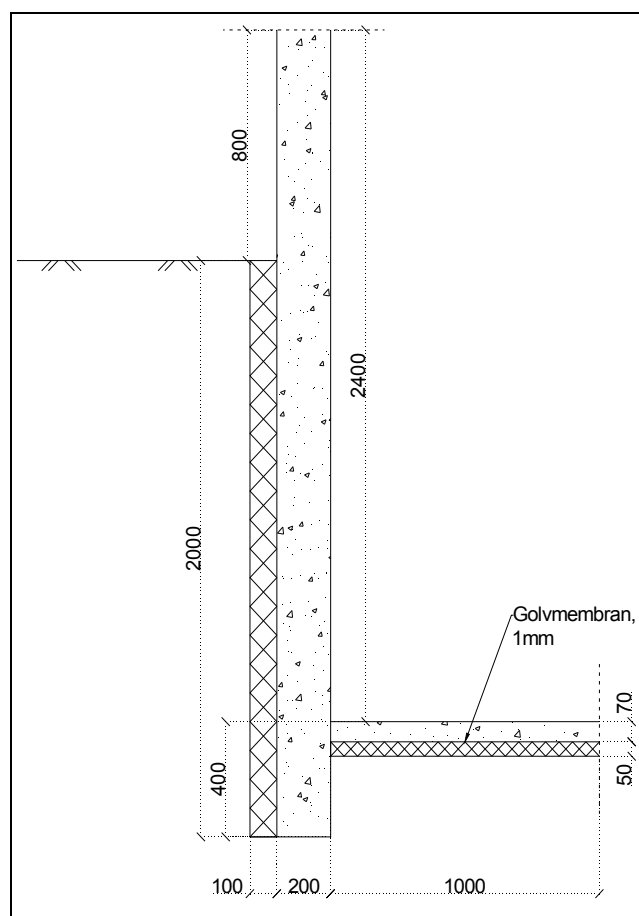
Standardkonstruksjonen med mål og dimensjoner er skissert i figur 2.1. Det er besluttet å bruke en innvendig takhøyde på 2,4 meter, selv om mange kjellere har lavere vegg høyde enn dette. Videre er sålen 400 mm høy, som er antatt å være en realistisk høyde for en vanlig grunnmurssåle. Dette er av

betydning for den kapillære oppsugingen av fukt fra grunnen. Sålen er imidlertid ikke noe bredere enn selve veggtykkelsen, slik at vegg og såle er beregnet som samme konstruksjonsdel. Dette er gjort for å lette beregningene i WUFI.

Gulvkonstruksjonen har følgende oppbygning, regnet utenfra:

- 50 mm EPS
- Membran
- 70 mm betong B15

Merk at det først og fremst er fuktforholdene i *veggen* som er av interesse. Det er likevel antatt at gulvkonstruksjonen kan påvirke uttørkingsforløpet i vegg. Det er derfor valgt å inkludere én meter av gulvkonstruksjonen i beregningene, selv om fukt og temperaturforhold i gulvet ikke vil bli vurdert i dette kapittelet.



Figur 2.1: Standardkonstruksjonens geometri og målsetting

### 2.3.2 Materialparametre

De materialparametrene som er benyttet i beregningene er i hovedsak hentet fra materialdatabasen i WUFI. Materialparametre som ikke er tilgjengelige i materialdatabasen er i henhold til produsentens anvisninger. For å kunne modellere temperaturforholdene i grunnen var det også nødvendig å ha kjennskap til de termiske egenskapene til grunnmaterialet. Disse egenskapene avhenger sterkt av både type materiale og vanninnhold. I denne rapporten tas det utgangspunkt i en fuktig leire i grunnen, og materialparametrene er antatt ut i fra dette. Materialene som er brukt i beregningene i denne rapporten er gjengitt i tabell 2.2 sammen med de viktigste materialparametrene.

**Tabell 2.2: Materialparametre for materialene brukt i beregningene**

	Densitet $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Varme- kapasitet $c$ [J/kgK]	Fri vannmetning $W_{kap}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Varme- konduktivitet $\lambda$ [W/mK]	Diffusjons- motstandstill $\mu$ [-]
<b>Isolasjonsmaterialer:</b>					
EPS	30	1500	-	0,04	50
Dampåpen EPS	30	1500	-	0,04	4,4
Trykkfast mineralull	60	850	-	0,04	1,3
Treullsementplate	450	1500	350	0,08	9,0
<b>Grunnmursmaterialer:</b>					
Betong B15	2200	850	175	1,6	92
Betong B45	2220	850	147	1,6	248
Lettklinkerblokker	700	850	97	0,13	7,0
Tegl	800	850	193	0,18	15
<b>Øvrige materialer:</b>					
Grunnmursplate	-	-	-	-	280.000 <sup>1</sup>
PE-folie, 0,15 mm	-	-	-	-	70.000 <sup>1</sup>
Leire <sup>2</sup>	2000	1000	-	2,0	-
Sponplate	620	2500	738	0,12	44
Gran, radialt	455	1500	600	0,09	130

### 2.3.3 Initialbetingelser

#### *Initialtemperatur*

Initialtemperaturene i veggen er noe som utjevnes meget raskt. Siden beregningene går over flere år, er det ikke hensiktsmessig å angi nøyaktige initialtemperaturer. I disse beregningene har hele konstruksjonen en initialtemperatur på 20 °C.

#### *Initialfukt*

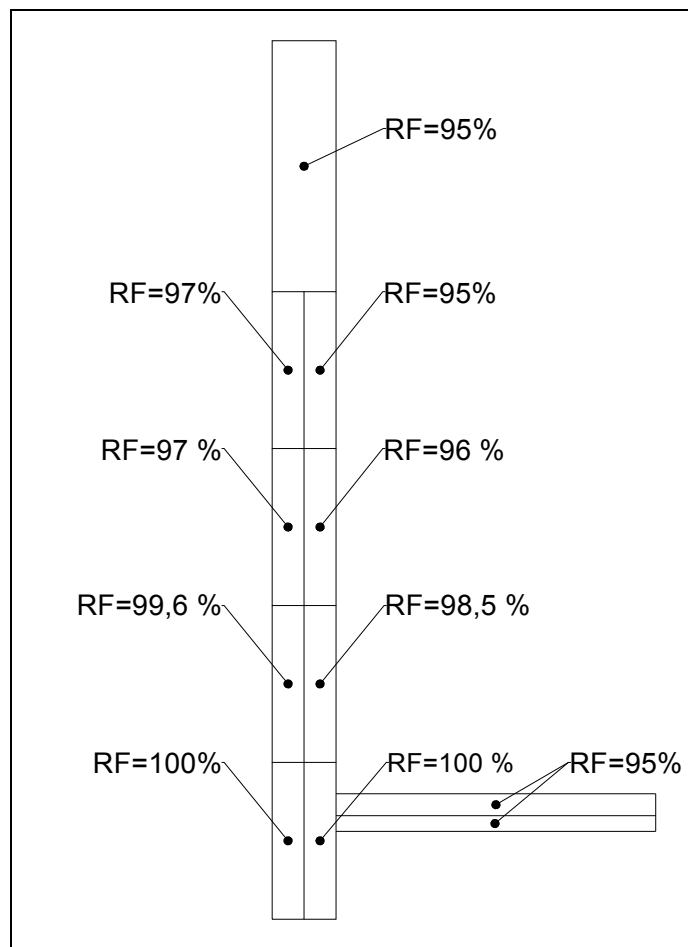
Det vil være utilstrekkelig å anslå startfukten omtrentlig, siden initialfuktnivået kan ha betydning for utørkingstiden. Konstruksjonen vil ha en fuktfordeling som varierer både i høyde og i dybde. I tillegg er det vanskelig å anslå fuktinnhold for materialer i det kapillære området. I dette området stiger fuktinnholdet i materialet kraftig ved økende RF, og en feilestimering av RF på 1-2 prosentpoeng i det kapillære området kan medføre store feil i vanninnhold.

Det er derfor gjennomført en pre-beregning for å vurdere et hensiktsmessig startfuktnivå. Det er tatt utgangspunkt i konstruksjonen på figur 2.1, men uten utvendig isolasjon. Veggkonstruksjonen er med andre ord uten fuktisolering og utsatt for direkte fuktpåkjenninger fra grunnen. De utvendige fuktforholdene er satt til 100 % RF i de nedre delene av konstruksjonen og 97 % i de øvre. Innvendig temperatur er satt til konstant 10 °C og innvendig RF er satt til konstant 80 %. Grunnmursmaterialet er en betong B15. Dette skal illudere en fuktig råkjeller før utbedring er utført.

Når det benyttes en lang beregningsperiode vil fuktsituasjonen i veggen stabilisere seg på et gitt fuktinnhold avhengig av hvilken del av veggen som betraktes. Ser man bort i fra enkelte sesongvariasjoner kan dette fuktnivået brukes som initialfuktnivå ved de ordinære beregningene. På grunn av begrensninger i programmet angis startfuktnivået seksjonsvis i veggen. Fordeling av startfuktnivået er gjengitt i figur 2.2.

<sup>1</sup> Settes inn i griden med 1 mm tykkelse

<sup>2</sup> Antatte verdier



Figur 2.2: Initialfuktnivå i konstruksjonen

### 2.3.4 Innvendig klima

WUFI har flere metoder å modellere inneklimate på. I denne rapporten er inneklimate modellert etter EN 13788.

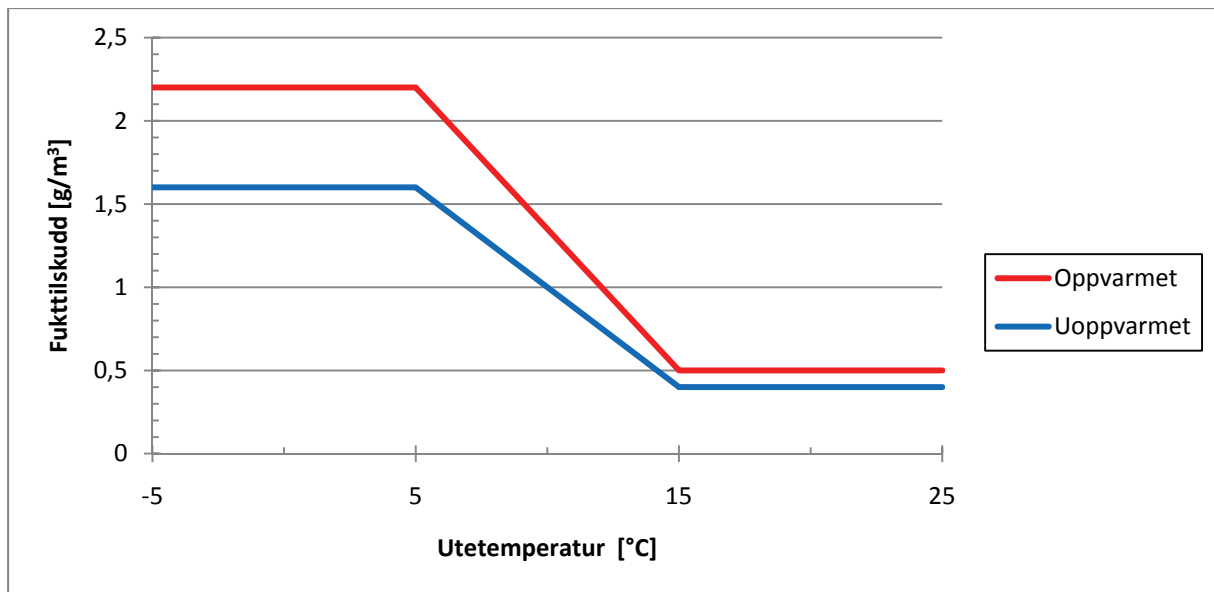
#### *Temperatur*

I de tilfellene det betraktes en oppvarmet konstruksjon holdes temperaturen konstant lik 22 °C. For uoppvarmede konstruksjoner vil inne temperaturen i større grad være avhengig av utetemperaturen. I disse tilfellene er inne temperaturen modellert etter en sinuskurve med maksimums- og minimumstemperatur i henholdsvis juli og januar. Det er benyttet en maksimum- og minimumstemperatur på henholdsvis 18 °C og 10 °C.

#### *Fukttilskudd*

For å modellere innvendig RF er det benyttet variabelt fukttilskudd. Fukttilskuddet er differansen i fuktinnhold mellom uteluft og inneluft. Fukttilskuddet vil variere med ventilasjonsgraden i bygningen, som igjen avhenger av utetemperaturen. Det benyttes konstante verdier for henholdsvis sommer- og vinterforhold, med lineær interpolering mellom disse.

I disse beregningene er det benyttet et fukttilskudd som tilsvarer en gjennomsnittsverdi for norske kjellere. Gjennomsnittlig fukttilskudd for norske kjellere ligger rundt 2,2 g/m<sup>3</sup>. For uoppvarmede kjellere er det benyttet et fukttilskudd på 1,6 g/m<sup>3</sup>. Fukttilskuddets variasjon med utetemperatur er vist i figur 2.3. [3]



Figur 2.3: Fukttilskudd benyttet for modellering av inneklime [3]

### 2.3.5 Utvendig klima

For å modellere utvendig klima over terreng er det benyttet et referanseår, et såkalt Moisture Design Reference Year (MDRY), for Oslo. Dette klimaet er det samme for alle beregningsvariantene. Referanseåret er basert på reelle målinger, og er mer fuktkritisk og noe kaldere enn et normalår. Referanseåret er basert på 3-4 daglige målinger, og timeverdier er interpolert mellom disse.

I dette kapittelet er kort- og langbølget stråling og nedbør neglisjert siden dette vil ha liten innvirkning på fuktforholdene i konstruksjonen under terrengnivå. Dette vil også redusere beregningstiden. Som følge av dette vil beregningene være uavhengig av orienteringen på konstruksjonen.

Det utvendige klimaet gjelder kun den delen av konstruksjonen som står eksponert over terrengnivå. Konstruksjonen som ligger under terrengnivå vil uansett ikke utsettes for stråling eller slagregn.

### 2.3.6 Klima under terrengnivå

Det er ingen innebygget funksjon i WUFI for modellering av klimapåkjenninger under terrengnivå. De klimapåkjenningene som konstruksjonen blir utsatt for, må med andre ord formuleres i form av en klimafil som programmet kan tolke. Klimaparametrene som er av betydning under terrengnivå er temperatur og RF.

#### *Relativ fuktighet i grunnen*

RF i grunnen er relativt enkelt å anslå. I en jordfuktig grunn vil alltid luftfuktigheten i de luftfylte porene være meget høy, og ligge opp mot 100 %. RF kan derfor antas å ha en konstant verdi, uavhengig av dybde. For fukttransport i dampfase vil en forskjell på 1-2 prosentpoeng være av neglisjerbar betydning, forutsatt at diffusjonsmotstandsfaktoren er konstant. I væskefase vil fukttransporten tilta kraftig når RF nærmer seg 100 %. En utbedret drenering og drensag vil sannsynligvis medføre en reduksjon i den kapillære tilførselen av fukt. Dette er begrunnelsen for at fuktnivået i grunnen bør settes noe under 100 %. I disse beregningene er RF i grunnen derfor satt til 98 % som standard.



### *Temperaturfordelig i grunnen*

Temperaturforholdene i grunnen vil være vanskeligere å anslå, fordi disse temperaturene vil være avhengige av flere faktorer. Temperaturen i et punkt som ligger rett utenfor konstruksjonen vil være avhengig av blant annet:

- Utvendige temperaturvariasjoner og middeltemperatur
- Dybde under terreng
- Innvendig temperatur i kjelleren
- Isolasjonsverdi i konstruksjonen
- Termiske egenskaper til grunnmaterialet
- Isolerende sjikt på terrengoverflaten, som snø, overgangsmotstander og markisolasjon
- Geotermisk gradient

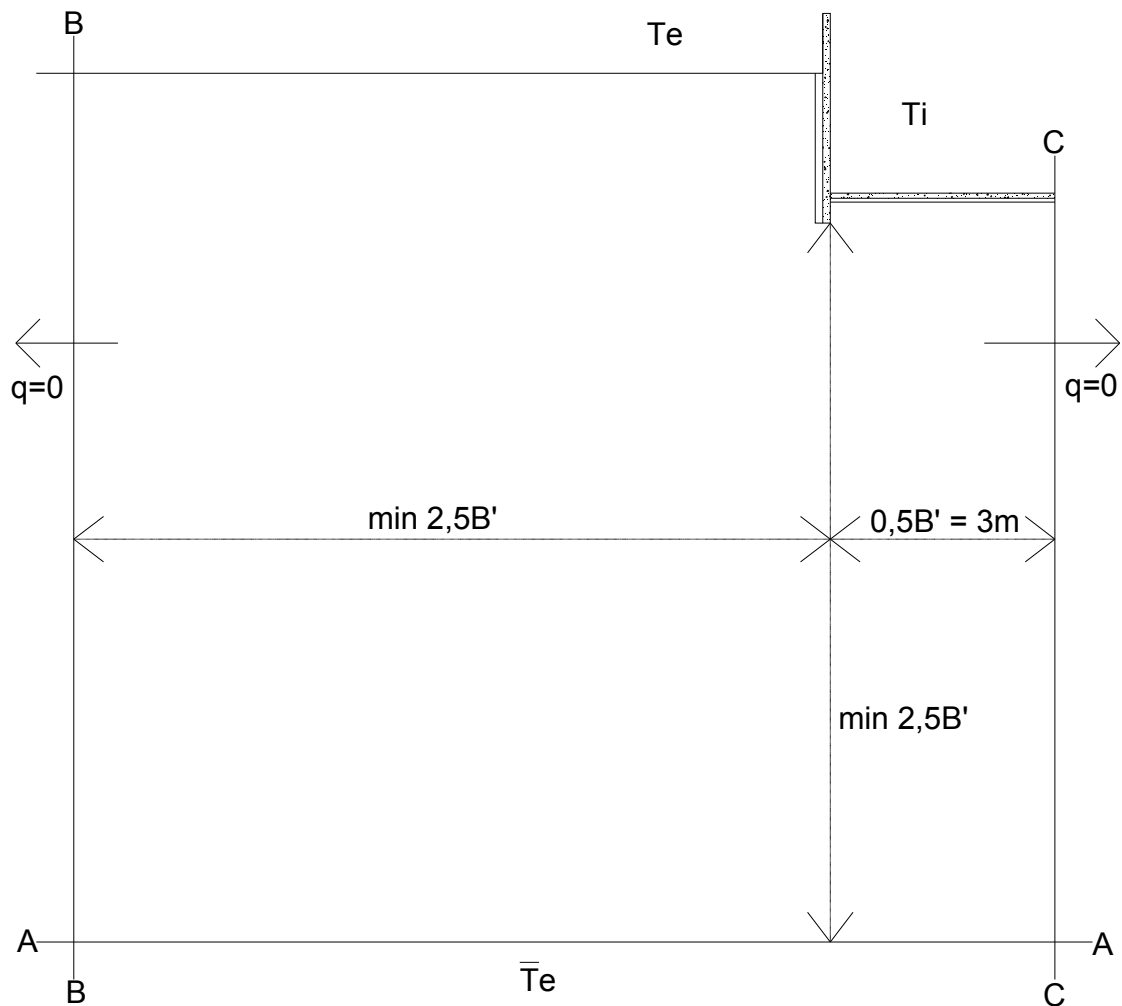
For å kunne fastslå temperaturene rett utenfor konstruksjonen med rimelig nøyaktighet, må dette beregnes. Dette kan i utgangspunktet gjøres i WUFI, men siden dette er en rendyrket varmestrømsbetraktning finnes det bedre egnede programmer for denne type beregning. I denne rapporten er det derfor brukt beregningsprogrammet HEAT 2 for å beregne temperaturene i grunnen utenfor konstruksjonen. Disse temperaturene er deretter konvertert til klimafilere som kan brukes i WUFI.

På samme måte som for WUFI-beregningene er det nødvendig å ha et godt beregningsoppsett i HEAT 2 for at resultatene skal bli så gode som mulig. For å kunne definere randbetingelser som ikke påvirker resultatet, må tilstrekkelig mengde av konstruksjonens omsluttende masser inkluderes i beregningene. Beregningsoppsettet er skissert i figur 2.4.

Hvor mye av de omsluttende massene som skal inkluderes er beskrevet i NS-EN ISO 13370. Denne standarden beskriver minimumsverdier for geometriske mål ved varmestrømsbetraktninger mot grunnen. Målene er:

- Horisontal retning inne i konstruksjonen:  $0,5 B'$
- Horisontal retning utenfor konstruksjonen:  $2,5 B'$
- Vertikal retning under terrengnivå:  $2,5 B'$

For en uendelig lang konstruksjon er  $B'$  husbredden.  $B'$  er satt til 3 m i disse beregningene. [4]



Figur 2.4: Beregningsoppsett ved HEAT 2 beregningene

Akse C er plassert midt under bygningen, og er dermed en symmetrilinje. Akse B er plassert så langt vekk fra konstruksjonen at varmestrømmen kan antas å være utelukkende endimensjonal. Akse B og akse C har derfor ingen horisontal varmestrøm og kan antas å være adiabatisk.

Ser man bort i fra varmestrømmen som kommer fra konstruksjonen vil temperaturen i grunnen styres av utetemperaturen og de sesongavhengige svingningene. Lenger ned i grunnen vil de overliggende massene fungere som et isolasjonssjikt, slik at utslagene fra temperatursvingningene vil dempes. Dypt ned i grunnen vil disse svingningene være så små at man kan anta en konstant temperatur lik årsmiddeltemperaturen. Akse A er derfor gitt en konstant temperatur lik årsmiddeltemperatur ved Oslo,  $\bar{T}_e = 6,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

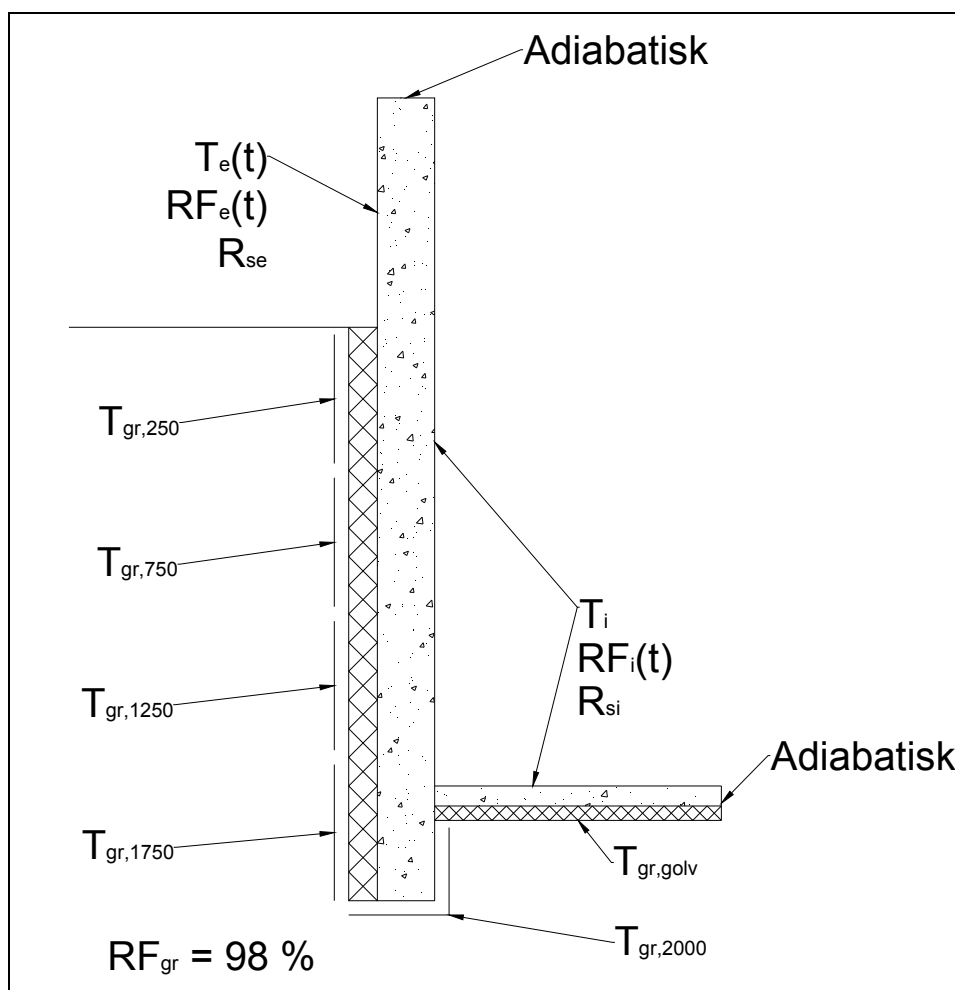
Utetemperaturen er den samme som ved referanseåret, som beskrevet i kapittel 2.3.5. Det er imidlertid benyttet månedsverdier (i motsetning til døgnverdier) som maksimum- og minimumstemperaturer, noe som gir en lettere temperaturpåkjenning. Det er imidlertid ikke tatt høyde for eventuell snø på bakken på vinterstid. Snøen virker som et effektivt isolasjonslag, og skjermer konstruksjonen for de laveste temperaturene på vinteren. Ved å ikke inkludere dette snølaget utsettes konstruksjonen for en mer ekstrem temperatursituasjon på vinterstid.

I beregningene er det gjort følgende antagelser og forenklinger:

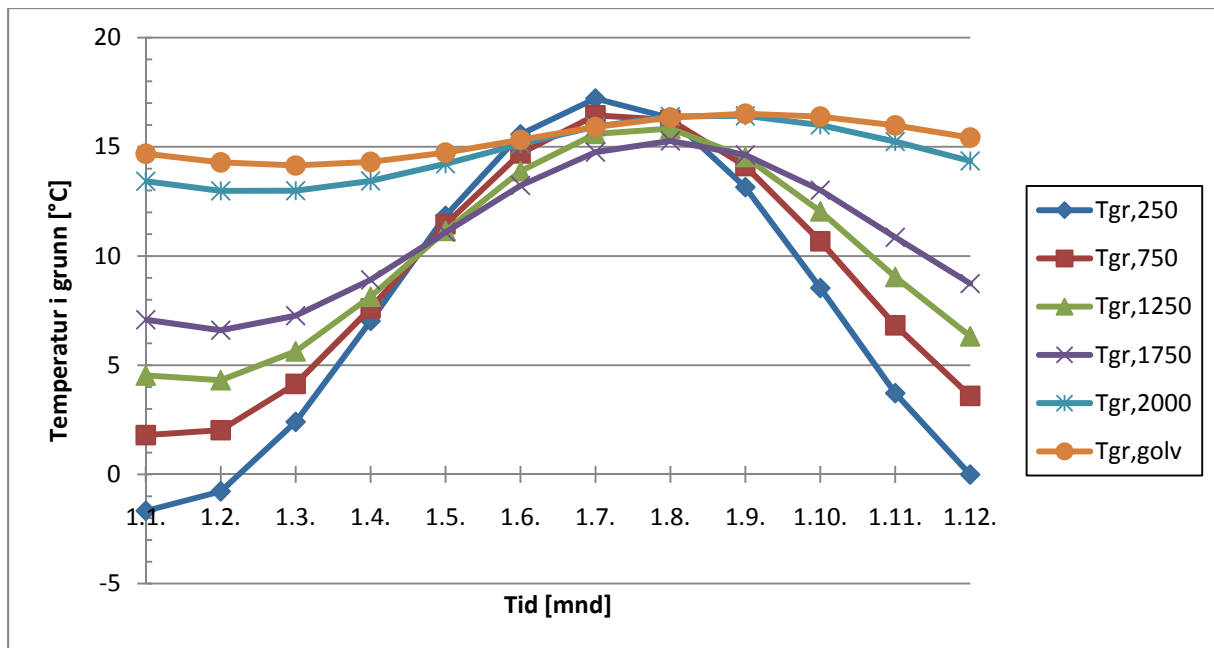
- Den geotermiske gradienten er antatt neglisjerbar
- Det er ikke inkludert snø på terrengoverflaten i beregningene
- Det er antatt jordfuktig leire i grunnen med materialparametre gitt i tabell 2.2
- Alle materialparametre har konstante verdier
- Utendørsklima er det samme for alle beregningene

Under disse forutsetningene vil temperaturen i grunnen variere med innetemperatur, isolasjonsverdi og dybde under terreng. Det er derfor nødvendig å utføre en beregning for hver enkelt måledybde, innetemperatur og isolasjonsverdi i konstruksjonen. For å begrense antall klimafilene noe, er det valgt å benytte samme klimafil for 500 mm intervaller ned i grunnen, og temperaturen måles da midt i dette intervallet. Konvensjonen som benyttes for å benevne temperaturene er at det bakerste tallet beskriver måledybden i millimeter under terrengoverflaten.  $T_{gr,2000}$  beskriver temperaturen midt under sålen, mens  $T_{gr,golv}$  beskriver temperaturen midt under golvkonstruksjonen.

Temperaturer for forskjellige isolasjonsverdier, innetemperaturen og måledybder er gjengitt i appendiks A. I figur 2.5 er standardkonstruksjonen vist med plasseringen av klimapåkjenningene. I figur 2.6 er de respektive temperaturene i grunnen for denne konstruksjonen.



Figur 2.5: Klimapåkjenningene på konstruksjonen



Figur 2.6: Temperatur i grunnen for standardkonstruksjonen

#### Vurdering av resultatene

Temperaturer i grunnen ligger utenfor fokuset i denne rapporten. Det kan allikevel påpekes noen interessante momenter som kan være nyttige ved fremtidige numeriske beregninger. For målepunktene utenfor *grunnmuren* er variasjonene i temperatur som følge av isolasjonstykkelse og innetemperatur små, og i mange tilfeller antageligvis neglisjerbare. Det viser seg at variasjonene har en større avhengighet av innetemperaturen enn isolasjonsverdien i konstruksjonen.

Temperaturvariasjonene under *golvkonstruksjonen* ser ut til å ha en mye sterkere korrelasjon til variasjoner i innetemperaturen. Variasjoner i isolasjonstykkelse i golvkonstruksjonen er imidlertid ikke utført, så dette kan ikke vurderes her. Som en merknad ser man en markant senkning i temperatur under sålen ( $T_{gr,2000}$ ) med en innvendig utføring, som åpenbart skyldes et mindre varmetap gjennom denne konstruksjonsdelen.

For fremtidige beregninger med WUFI 2D under terreng kan det på grunnlag av disse resultatene vurderes å forenkle beregningsoppsettet noe. Resultatene viser blant annet:

- Temperaturvariasjonene i grunnen som følge av isolasjonsverdier er små. Benyttes konstant innetemperatur kan det derfor vurderes å benytte de samme klimafilene for de forskjellige beregningsvariantene.
- Innetemperaturen har større påvirkning på temperaturforholdene i grunnen. Hvorvidt dette kan neglisjeres bør vurderes på grunnlag av nøyaktighetsnivå.
- Temperaturvariasjonen som følge av dybde er stor og kan ikke neglisjeres.
- Temperaturvariasjoner under golvkonstruksjonen avhenger i større grad av innetemperaturen. Effekten av isolasjonsverdi er ikke vurdert her.

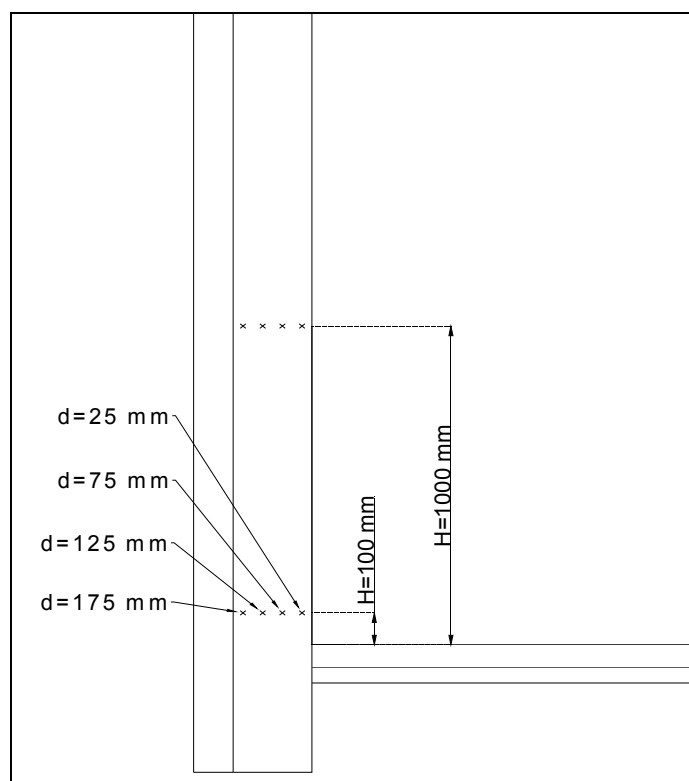
#### 2.3.7 Adiabatisk systemlinjer

Adiabatisk systemlinjer kan brukes der det ikke forekommer fukt- eller varmetransport på tvers av linjen. Dette forekommer der fukt- og varmestrømmen er endimensjonal eller ved symmetrilinjer. I disse beregningene er det benyttet adiabatisk systemlinjer ved grunnmurskronen og for å avgrense golvkonstruksjonen. Grunnmurskronen kan anses som en symmetrilinje. Golvkonstruksjonen har

sannsynligvis ikke fullstendig endimensjonal varmestrøm en meter fra veggen, siden dette opptrer i symmetrilinjen midt under konstruksjonen. Dette er antatt neglisjerbart, og vil lette beregningene i WUFI.

### 2.3.8 Målepunkter

Beregningsresultatene leses ut fra bestemte punkter i konstruksjonen. Det leses i to høyder fra gulvnivå,  $H=100$  mm og  $H=1000$  mm. I tillegg leses det i fire dybder fra innsiden,  $d=25$  mm,  $d=75$  mm,  $d=125$  mm og  $d=175$  mm. Totalt åtte målepunkter, se figur 2.7.



Figur 2.7: Målepunktene i konstruksjonen

### 2.3.9 Øvrige beregningsparametre

I tabell 2.3 oppsummeres noen bygningsfysiske parametre og noen parametre som har betydning for de numeriske beregningene i WUFI.

Tabell 2.3: Bygningsfysiske og beregningsmessige parametre

	Verdi	Benevning
<b>Bygningsfysiske parametre:</b>		
Innvendig overgangstall	10	$[W/m^2K]$
Utvendig overgangstall	25	$[W/m^2K]$
Overgangstall under terreng	$10^9$	$[W/m^2K]$
Emissivitet/absorptivitet	0	[-]
Slagregns-absorpsjonsfaktor	0	[-]
<b>Beregningsmessige parametre:</b>		
Tidssteg	3600	[s]
Antall tidssteg i beregning	43800	[-]
Maksimum iterasjoner	1500	[-]
Konvergenzkriterium	$5 \cdot 10^{-4}$	[-]

## 2.4 Parametervariasjoner

For dette utbedringstiltaket er det åtte parametre som vurderes.

### 2.4.1 Beskrivelse av parametrene

#### *Dampmotstand i utvendig isolasjon*

Det er ønskelig å vurdere hvilken effekt dampmotstanden i den utvendige isolasjonen har. I dette tilfellet vurderes konvensjonell EPS, som er relativt damptett, mot en nyere form for dampåpen EPS. I tillegg vurderes trykkfast mineralull som isolasjonsmateriale, som angivelig skal være meget dampåpen.

#### *Tykkelse på utvendig isolasjon*

En tykkere utvendig isolasjon vil føre til at en større del av temperaturfallet foregår i isolasjonen, som igjen medfører en varmere konstruksjon. På den andre siden vil dampmotstanden fordobles og uttørkingen kan hemmes som følge av dette. Det vil vurderes hvilken effekt isolasjonstykkelsen har på netto uttørkingsevne. For dette utbedringstiltaket vurderes isolasjonstykkelser på 100 mm og 200 mm.

#### *Innvendig temperatur*

Temperaturen på konstruksjonen er nært knyttet til innetemperaturen i kjelleren. Det er ønskelig å vurdere effekten av innetemperaturens påvirkning på uttørkingsforløpet. Det er vurdert tre parametervariasjoner med innvendig temperatur. Som standard er det benyttet en konstant innetemperatur på 22 °C. Det er også vurdert en konstant innetemperatur på 26 °C og en innetemperatur som varierer mellom 10 °C og 18 °C.

#### *Innvendig isolasjon*

Som standard i disse beregningene er konstruksjonen modellert uten innvendig utforing. I mange tilfeller vil imidlertid kjelleren innredes etter at utvendige utbedringstiltak er utført. Det er derfor vurdert to parametervariasjoner med henholdsvis 50 mm isolert og uisolert utforing på grunnmurens innside.

#### *Grunnmursmateriale*

Som standard er det benyttet betong B15 i konstruksjonen. Som en parametervariasjon er grunnmuren modellert i B45. I tillegg er det vurdert parametervariasjoner med lettklinker og tegl, som er betydelig mer dampåpne materialer.

#### *Høyde på utvendig isolasjon*

Vanligvis avsluttes den utvendige isolasjonen ved terrengoverflaten, og dette er også angitt som standard i beregningene. Fra et bygningsteknisk ståsted er det gunstig at isolasjonen føres helt opp til etasjeskiller. Det er derfor vurdert et tilfelle der isolasjonen er ført helt opp til etasjeskiller

#### *Plassering av grunnmursplate*

I følge produsentens anvisninger skal det ikke benyttes grunnmursplate samtidig med dampåpen utvendig isolasjon. Det kan være interessant å se effekten av en feilplassert grunnmursplate mellom isolasjon og grunnmur, og hvilken effekt dette har på uttørkingsforløpet. Det er derfor vurdert et tilfelle med feilplassert grunnmursplate.

#### *Fuktbelastning i grunnen*

Siden det er antatt at dreneringen er utbedret, og den kapillære fukttilførselen er redusert, er RF i grunnens luftfylte porer satt til 98 % som standard. Det er også vurdert et tilfelle med 100 % RF under sålen, for å illustrere effekten av høy grunnvannsstand. På denne måten kan effekten av økt kapillær oppsuging vurderes.

## 2.4.2 Beregningsvarianter

Alle parametervariasjonene for dette utbedringstiltaket er vist i tabell 2.4.

Tabell 2.4: Beregningsvarianter for utbedringstiltak 1. Standardparametre i fet skrift

Parametre		Varianter													
	Verdi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dampmotstand i utvendig isolasjon	<b>Dampåpen EPS (<math>\mu=4,4</math>)</b>	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Damp tett EPS ( $\mu=50$ )		x												
	Mineralull ( $\mu=2,0$ )			x											
Tykkelse på utvendig isolasjon	<b>100 mm</b>	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	200 mm				x										
Innvendig temperatur	<b><math>T_i = 22</math> °C</b>	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	$T_i = (10-18)$ °C					x									
	$T_i = 26$ °C						x								
Innvendig utlekting	<b>Ingen</b>	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x
	Isolert							x							
	Uisolert								x						
Grunnmursmateriale	<b>Betong B15</b>	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x
	Betong B45									x					
	Lettklinker										x				
	Tegl											x			
Høyde på utvendig isolasjon	<b>Ført opp til terreng</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
	Ført opp til etasjeskiller												x		
Grunnmursplate	<b>Uten</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
	Med													x	
Fuktbelastning i grunn	<b>98 % RF</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	100 % RF under såle														x

## 2.5 Resultater og vurderinger

Alle beregningsresultater ligger i sin helhet vedlagt i appendiks B.

### 2.5.1 Generelt

I hovedsak er det RF og vanninnhold i konstruksjonen som betraktes. Det er ønskelig å vurdere hvor raskt konstruksjonen tørker ut og hvilket fuktnivå konstruksjonen innstiller seg på etter lang tid. Fuktsituasjonen i et bestemt punkt i konstruksjonen vil være utsatt for både oppfukning og uttørring, og med tid vil dette punktet innstille seg i likevekt med omgivelsene. Endring i fukttilstanden kan derfor relateres til en økning eller redusering i oppfukning eller uttørring, eventuelt kombinasjoner av disse.

Oppfukning i de nedre delene av konstruksjonen vil være relativt konstant, og kommer i hovedsak fra kapillær oppsugning av fuktighet fra grunnen. Denne effekten blir spesielt tydelig i nedre deler av konstruksjonen ( $H=100$  mm), og er avtagende oppover veggghøyden. Oppfukning som følge av kondensutslag kan antas å være minimalt, siden konstruksjonen er isolert på utvendig side. Tørrere deler av konstruksjonen kan bli fuktet opp av fuktigheten i innelufta. Dette kan skje når konstruksjonen har tørket ut til en RF i området 30 – 60 %.

Netto uttørring av konstruksjonen foregår først og fremst ved vanndampdiffusjon, og da sees det bort i fra eventuell omfordeling av fuktighet. Ficks diffusjonslov slår fast at vanndampfluksen,  $g$ , er gitt som en funksjon av materialets vanndamppermeabilitet,  $\delta_p$ , og damptrykkgradienten  $dp/dx$ :

$$g = -\delta_p \cdot \frac{dp_v}{dx}$$

Potensialet i Ficks diffusjonslov er vanndamptrykket,  $p_v$ . Det er med andre ord vanndamptrykket som er drivkraften for transport av vanndamp, og transporten går fra høyt til lavt damptrykk. Ut i fra dette kan det gjøres noen betraktninger for når uttørringen i konstruksjonen er størst og i hvilken retning uttørringen går.

På utsiden av utvendig isolasjon er RF satt konstant, mens temperaturen har sesongavhengige variasjoner. Damptrykket ved et gitt metningstrykk,  $p_{sat}(T)$ , og RF,  $\varphi$ , er gitt som:

$$p_v = p_{sat}(T) \cdot \varphi$$

Ved konstant RF vil damptrykket utelukkende være gitt av metningstrykket, som igjen er temperaturavhengig. Damptrykket på konstruksjonens utside vil derfor være gitt av temperaturen i grunnen.

På innsiden av konstruksjonen er det motsatte tilfellet. Her vil temperaturen, og metningstrykket, holdes konstant, mens RF har sesongavhengige variasjoner. Damptrykket på konstruksjonens innside er bestemt av RF.

Størrelsen av den innadrettede og utadrettede uttørringen styres av henholdsvis RF og temperatur. Dette gir forskjellig forklaring på når og hvorfor uttørring forekommer. Den utadrettede uttørringen vil være størst når damptrykket i grunnen er lavest, det vil si når temperaturen er lavest, og dette forekommer på vinterstid. På sommerstid er temperaturen høyest, og uttørringen går derfor tregest på sommeren. Merk at temperaturen avhenger av dybden under terrengnivå, og følgelig vil damptrykket gjøre det samme.



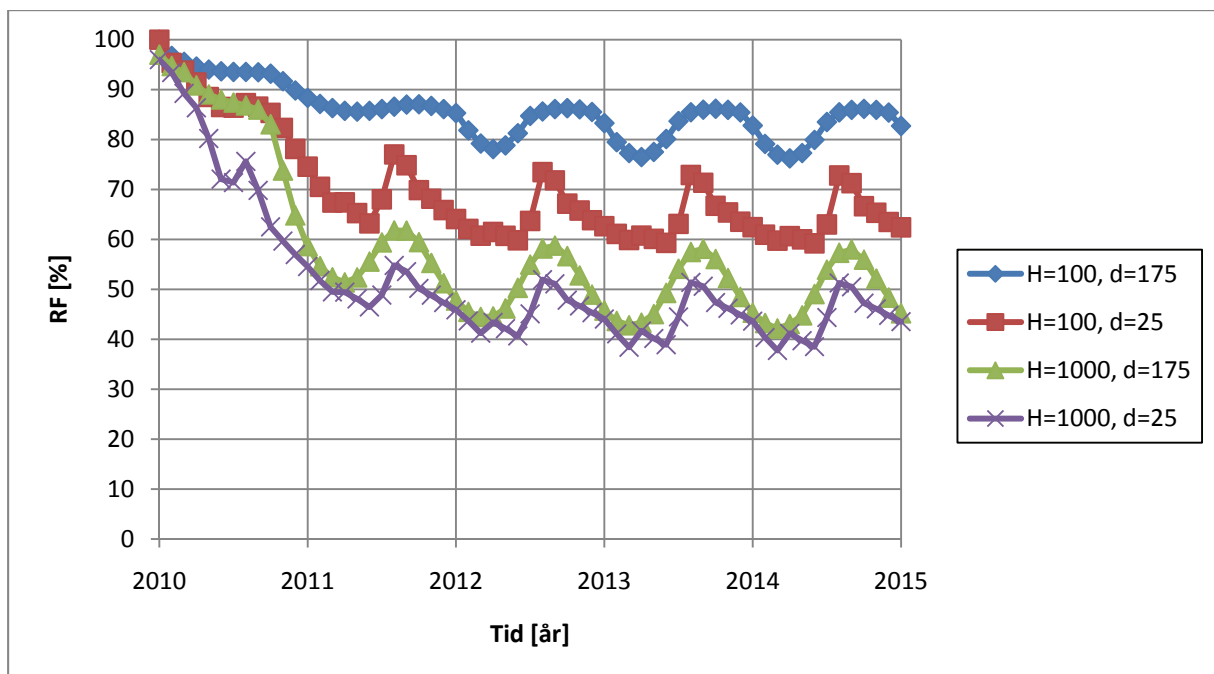
Den innadrettede uttørkingen vil være størst når innvendig RF er lav, og dette forekommer gjerne rundt februar med de forutsetninger som er gjort i denne rapporten. Den høyeste RF forekommer omtrent i juli. Dette damptrykket varierer ikke med høyden, siden det er konstant for hele inneklimateet.

Ut ifra disse betraktningene kan det sies at damptrykket, på begge sider av konstruksjonen, vil være høyest på sommerstid, og uttørkingen vil være på sitt laveste på denne tiden av året. Siden den kapillære oppsugingen av fuktighet stort sett holdes konstant, vil dette resultere i en oppfukning ved denne årstiden, som vises tydelig i flere av beregningsresultatene.

Denne effekten vises best i de nedre delene av konstruksjonen, mens den er noe mindre lenger opp. Samtidig må det også påpekes at mengde fukt som tørkes ut av konstruksjonen avhenger sterkt av dampmotstanden til materialene i konstruksjonen.

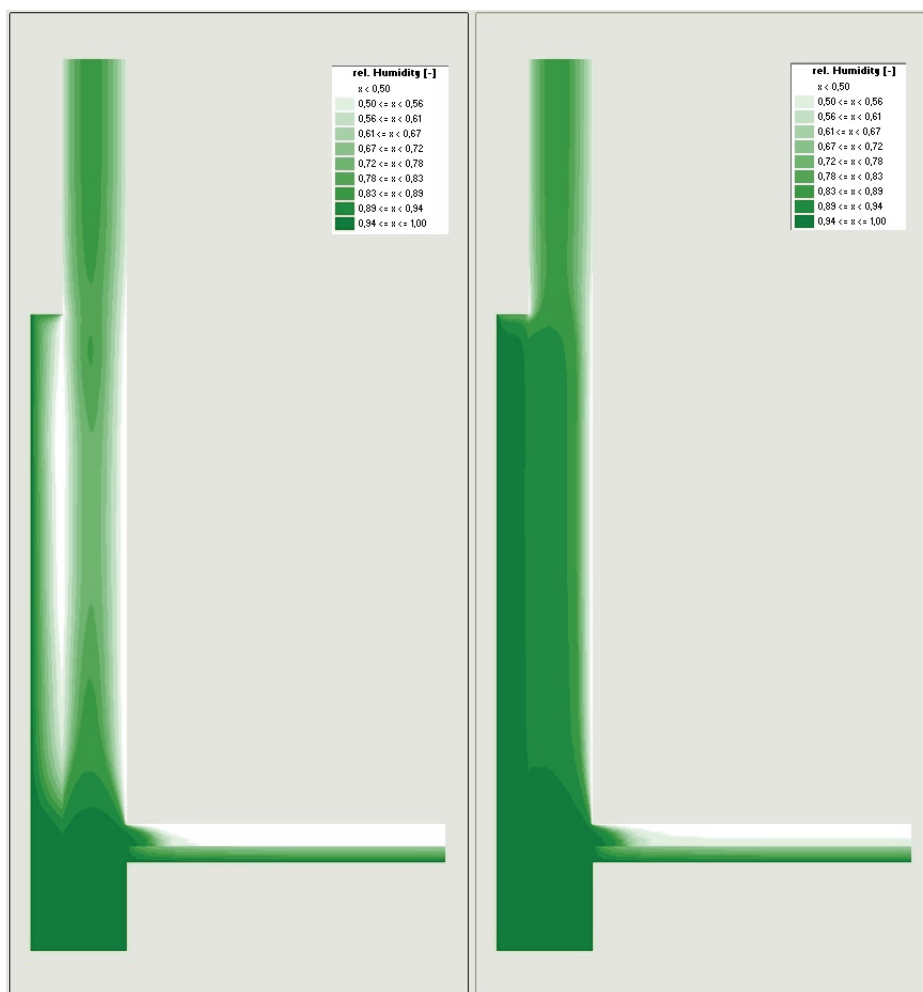
### 2.5.2 Standard beregningsvariant

Beregningsresultatene fra standardvarianten (variant 1) er vist i figur 2.8. Som resultatene viser er konstruksjonen tørrest lengst opp i vegg høyden og lengst inn (mot innsiden) i veggdybden.



Figur 2.8: Beregningsresultater for standard beregningsvariant

Det kan være vanskelig å få et godt inntrykk av fuktsituasjonen i konstruksjonen bare ved å betrakte grafer. På figur 2.9 er fuktsituasjonen i beregningsvariant 1 og 2 etter ett års beregningstid vist. Hvitfargen representerer RF under 50 %, og mørkere grønnfarge representerer høyere RF.



Figur 2.9: Fuktsituasjon for variant 1 (t. v) og variant 2 (t. h) etter ett års beregningstid

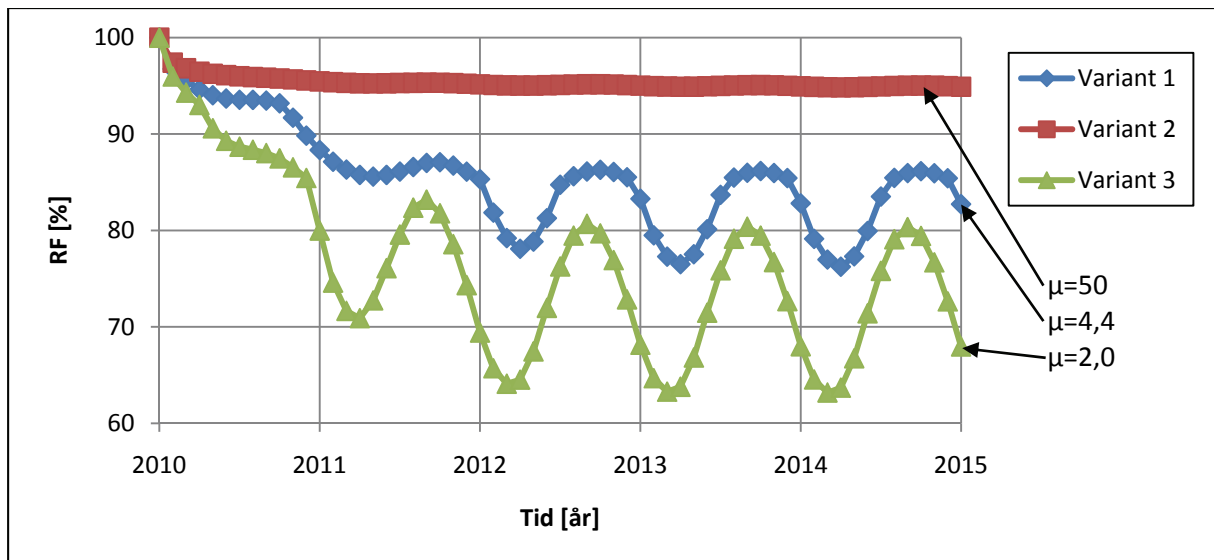
Figuren viser tydelig hvordan den dampåpne isolasjonen gir anledning til tosidig uttørking (figuren til venstre). Til sammenligning er konstruksjonen med damptett EPS vist til høyre.

### 2.5.3 Effekt av dampmotstand i utvendig isolasjon

I dette kapitlet vurderes beregningsvariant 1, 2 og 3. Forskjellen mellom disse variantene er dampmotstanden i utvendig isolasjon. Variant 1, standardvarianten, er modellert med en dampåpen EPS. Variant 2 er modellert med konvensjonell damptett EPS. Variant tre er modellert med en meget dampåpen, trykkfast mineralull.

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm*

Figur 2.10 viser RF-forløpet for beregningsvariant 1, 2 og 3 i høyde 100 mm over gulvet og en dybde 175 mm ut i vegg. Dette målepunktet viser fuktilstanden lengst ut i veggdybden der den utadrettede uttørkingen har størst betydning.



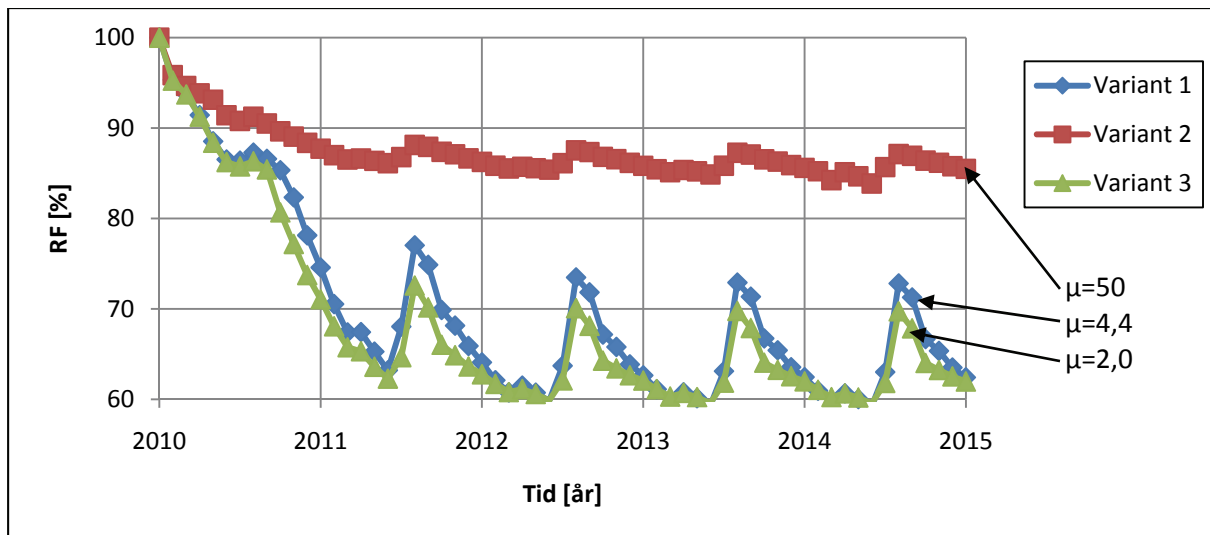
Figur 2.10: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 3

Som det kommer frem av figuren over har dampmotstanden i utvendig isolasjon stor innvirkning på uttørkingen i konstruksjonens ytre deler. Variant 2, med damptett EPS, har så godt som ingen utadrettet uttørking, og den innadrettede uttørkingen langt ut i veggene er meget begrenset. Som en følge av den kapillære oppfuktingen, vil derfor denne varianten innstille seg på et høyt fuktnivå.

De dampåpne variantene 1 og 3 kan antas å ha omtrent den samme kapillære fukttilførselen som variant 2, men siden disse har mulighet for uttørking utover vil en langt større del av uttørkingen gå denne veien. Resultatet er derfor en større netto uttørking, og dermed en tørrere konstruksjon ved bruk av dampåpne utvendig isolasjon. Som resultatene antyder vil størrelsen av utadrettet uttørking være avhengig av dampmotstanden i utvendig isolasjon.

#### Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm

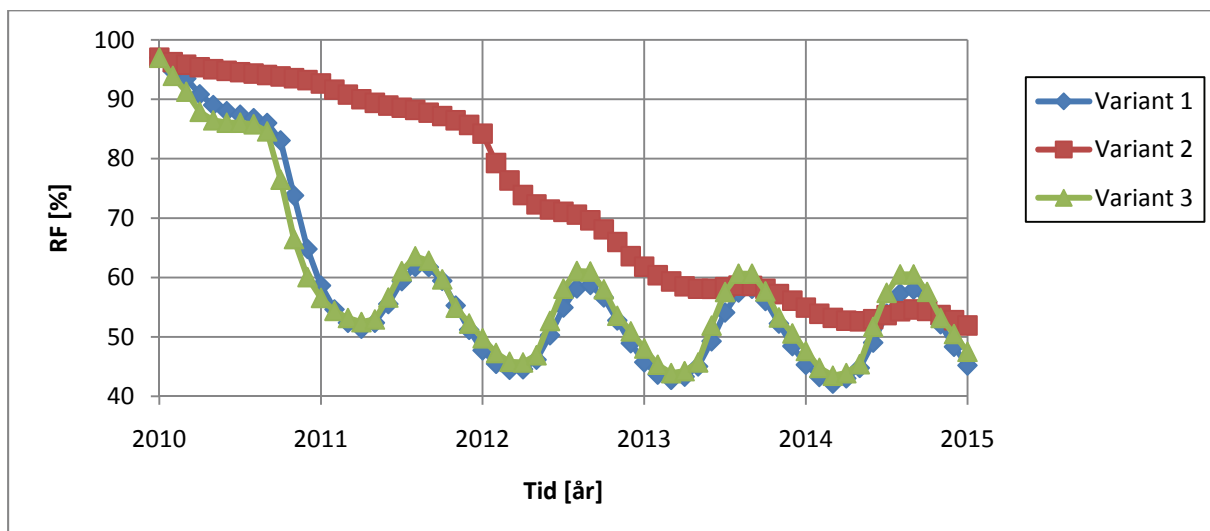
RF-forløpet for beregningsvariant 1, 2 og 3 i høyde 100 mm og en dybde 25 mm er vist i figur 2.11. Det viser seg at dampmotstanden i utvendig isolasjon også påvirker fuktsituasjonen lenger inn i konstruksjonen. I denne dybden er forskjellen mellom de dampåpne variantene marginal. For variant 2 er RF jevnt over høyere i hele tverrsnittet, og ikke bare i de ytre delene der utadrettet uttørking dominerer, se forøvrig figur 2.9. Dette kan forklares med at når det ikke foregår uttørking utover i konstruksjonen, må all uttørking gå innover. Resultatene viser at damptett utvendig isolasjon reduserer konstruksjonens uttørkingsevne betraktelig, og konstruksjonen blir jevnt over fuktigere.



Figur 2.11: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 2 og 3

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 175 mm*

RF-forløpet for beregningsvariant 1, 2 og 3 i høyde 1000 mm og en dybde 175 mm er vist i figur 2.12. I høyde 1000 mm over gulvnivå er den kapillære fukttilførselen fra grunnen liten. I denne høyden vil uttørkingsforløpet være preget av ren uttørking. Det som skiller de to dampåpne variantene fra den damptette er hvor raskt uttørkingen skjer, men alle variantene tørker ut mot den samme RF. For variant 1 og 3 innstiller konstruksjonen seg på et nivå rundt 50 % RF etter om lag 2 år. Variant 2, med damp tett EPS, bruker betraktelig lenger tid på denne uttørkingen, og har trolig innstilt seg på samme RF etter fem år.



Figur 2.12: RF i høyde 1000 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 3

*Kommentar*

Disse beregningene har vist at dampmotstanden i utvendig isolasjon har stor påvirkning på uttørkingsforløpet i konstruksjonen. Forskjellen er spesielt stor mellom dampåpen og damp tett isolasjon. Forskjellen mellom de dampåpne isolasjonene er ikke like markant.

Resultatene viser også at tosidig uttørking reduserer oppfukningen i hele veggdybden, sammenlignet med den konvensjonelle løsningen med damptett EPS utvendig. Ut i fra disse resultatene må utbedringstiltaket kunne sies å være vellykket.

Den kapillære oppsugingen av fukt fra sålen vil muligens reduseres noe, men den vil ikke opphøre. En innvendig utføring som hindrer innadrettet uttørking kan derfor risikere å få skadelig høy oppfukning på lang sikt.

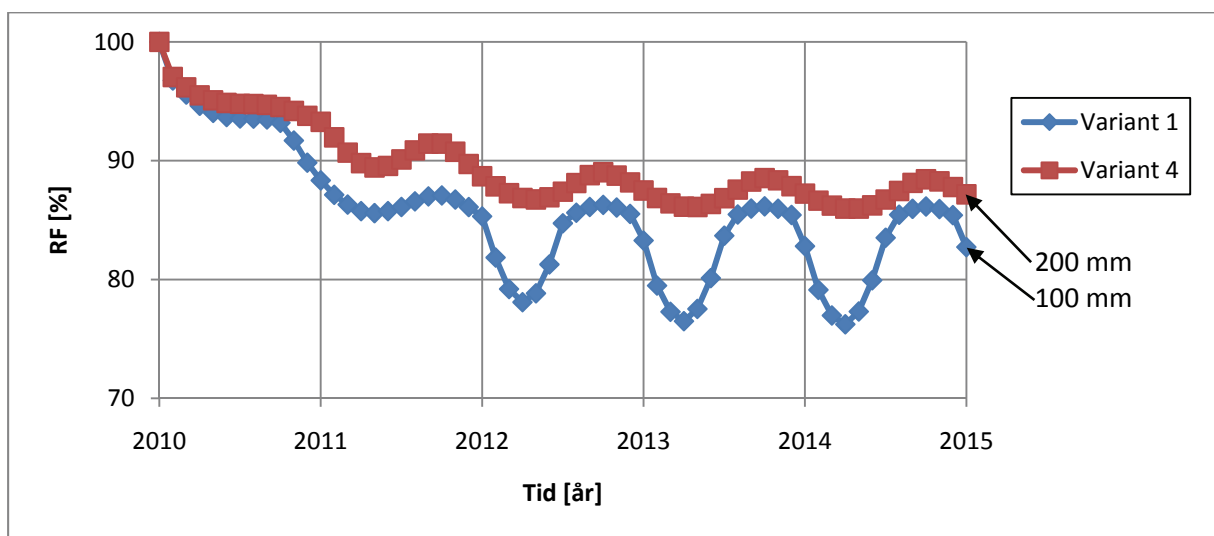
#### 2.5.4 Effekt av utvendig isolasjonstykkelse

I dette beregningstilfellet vurderes effekten av tykkelse på utvendig isolasjon. Det er to effekter av å øke den utvendige isolasjonstykkelsen. For det første vil en økt isolasjonstykkelse heve temperaturen i konstruksjonen, samtidig som temperaturen i grunnen utenfor vil senkes noe. Dette er gunstig for konstruksjonens uttørkingsevne. Det andre er at en dobling av isolasjonstykkelsen også medfører en dobling av dampmotstand i isolasjonen. Dette er vanligvis forbundet med dårligere uttørkingsforhold utover.

I dette kapitlet er det vurdert to beregningsvarianter. Standardvarianten med 100 mm utvendig isolasjon, og variant 4 med 200 mm utvendig isolasjon. Begge variantene er modellert med dampåpen utvendig isolasjon.

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm*

I figur 2.13 vises en sammenligning mellom variant 1 og 4, i høyde 100 mm og dybde 175 mm. Resultatene viser at konstruksjonen med 200 mm utvendig isolasjon har et høyere fuktinnhold enn standardtilfellet med 100 mm utvendig isolasjon



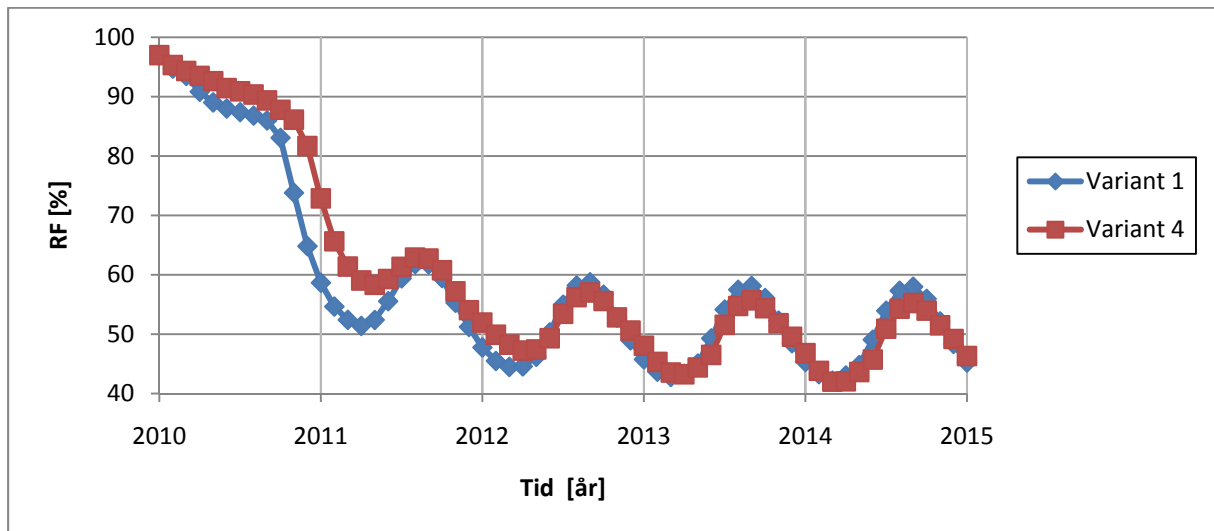
Figur 2.13: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 4

I denne dybden av konstruksjonen vil den utadrettede uttørkingen være av størst betydning. Som figuren viser vil en fordobling av utvendig isolasjon dempe den utadrettede uttørkingen. Disse resultatene er i overensstemmelse med effekten av dampmotstand i utvendig isolasjon, som vist i kapittel 2.5.3. Dette tyder på at effekten av økt temperatur i konstruksjonen ikke overgår effekten av økt dampmotstand i utvendig isolasjon. Resultatet blir at konstruksjonen innstiller seg på et høyere fuktnivå.

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 175 mm*

Uttørkingsforløpet i høyde 1000 mm og dybde 175 mm er vist i figur 2.14. Til forskjell fra målehøyde 100 mm er uttørkingsforløpet i denne høyden omtrent det samme for begge beregningsvariantene. Dette kan forklares ved at temperaturgradienten er høyere lenger opp i konstruksjonen. Siden temperaturen og damptrykket i grunnen er nært forbundet, vil en økt temperaturgradient sannsynligvis også medføre en økt damptrykkgradient.

Det kan derfor tyde på at effekten av økt dampmotstand i utvendig isolasjon oppveies av en økt damptrykkgradient i denne høyden.



Figur 2.14: RF i høyde 1000 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 4

#### *Kommentar*

Ut i fra et fuktteknisk perspektiv vil ikke en fordobling av utvendig isolasjon føre til større forskjeller i uttørkingsforløp. I de nedre delene av konstruksjonen vil den økte dampmotstanden kunne føre til noe lavere utadrettet uttørring grunnet høyere utvendig dampmotstand. Lenger opp i konstruksjonen vil en økt damptrykkgradient oppveie denne effekten, og forskjellen i uttørkingsforløp er marginal.

Varmetekniske spørsmål er ikke vurdert i dette kapittelet.

### **2.5.5 Effekt av innvendig temperatur**

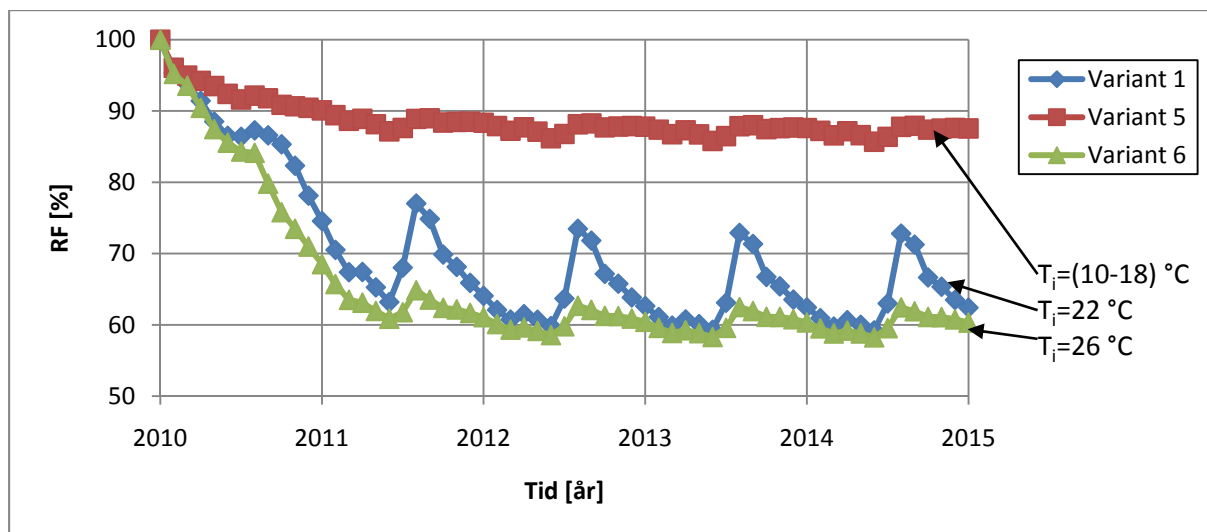
Dette beregningstilfellet vurderer effekten av innvendig temperatur. For beregningsvariant 1 og 6 er innnetemperaturen satt konstant lik henholdsvis 22 °C og 26 °C. For beregningsvariant 5, som er antatt uoppvarmet, varierer innnetemperaturen mellom 10 °C på vinteren og 18 °C på sommeren. For denne beregningsvarianten er det også antatt et noe lavere fukttilskudd til innelufta.

Ved å øke innnetemperaturen økes temperaturen i konstruksjonen. Temperaturen vil også øke noe i grunnen utenfor konstruksjonen, men temperaturøkningen er liten. En høyere temperatur vil medføre et høyere damptrykk i de luftfylte porene inne i konstruksjonen, slik at drivpotensialet for vanddamptransport ut av konstruksjonen øker i samme omfang.

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm*

Figur 2.15 viser RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6. Figuren viser at det er relativt store forskjeller mellom disse beregningsvariantene. Dette målepunktet er lengst inn i konstruksjonen, og gjenspeiler den innadrettede uttørkingen. Variant 6 har høyere innnetemperatur enn standardtilfellet, og dermed en lavere RF i innelufta. Siden fukttilskuddet er uforandret, er

damptrykket på innvendig side nøyaktig det samme som for standardvarianten. Variant 5, som er modellert et som uoppvarmet kjellerrom, er beregnet med et lavere innvendig fukttilskudd, og har derfor et lavere innvendig damptrykk selv om RF er noe høyere.

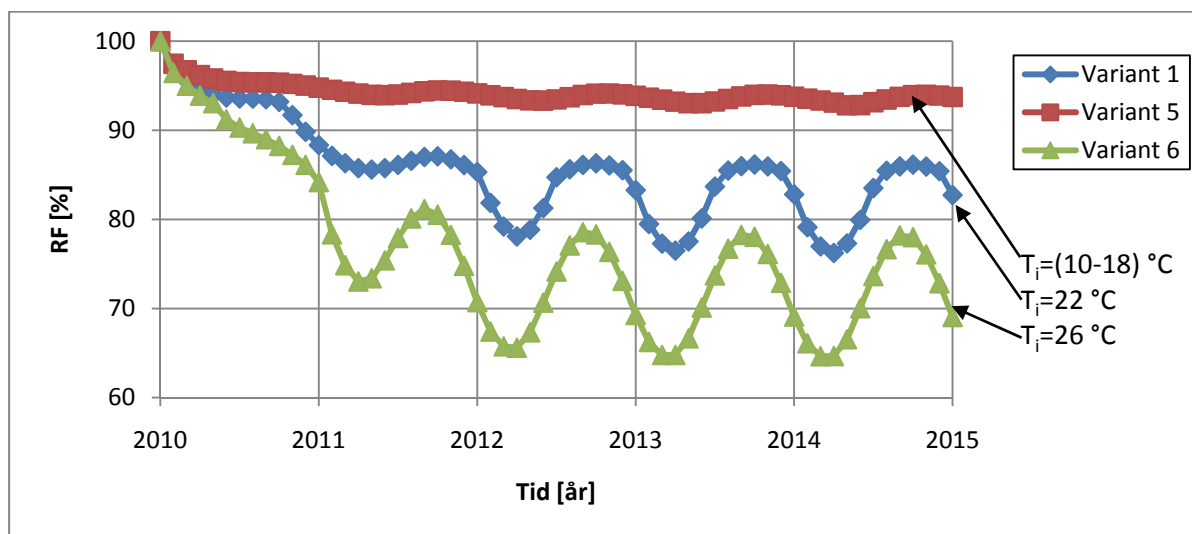


Figur 2.15: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6

Forklaringen på de store forskjellene i fuktinnhold kan derfor ikke forklares med forskjeller i innvendig damptrykk. Forklaringen ligger i økt uttørkingsevne som følge av at damptrykket inne i konstruksjonen er hevet på grunn av temperaturøkningen. Som resultatene viser har denne effekten stor betydning.

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm*

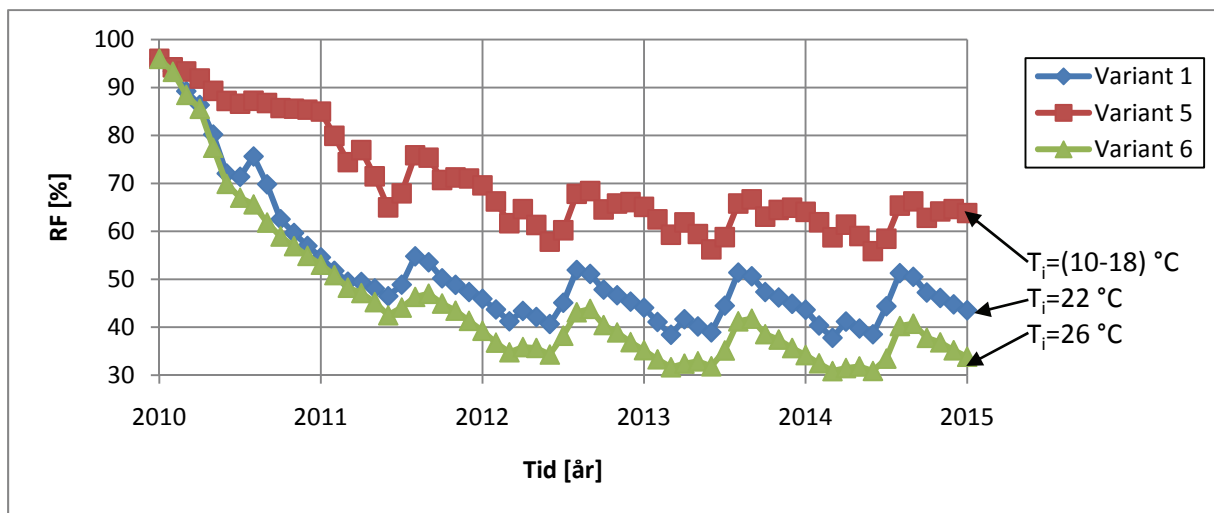
RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6 er vist i figur 2.16. Som det kommer frem av figuren vil temperaturen også påvirke den utadrettede uttørkingen. Dette skyldes en økt damptrykkgradient over den utvendige isolasjonen. Damptrykket i grunnen vil variere lite, siden temperaturen på utvendig side av isolasjonen endrer seg minimalt på grunn av innvendige temperaturvariasjoner. På innvendig side av utvendig isolasjon vil temperaturvariasjonene ha et langt større utslag. Resultatet er en økt damptrykkgradient og økt uttørking.



Figur 2.16: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6

### Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 25 mm

Som tidligere nevnt er temperaturgradienten minst i de nedre delene av konstruksjonen. En uniform temperaturøkning over hele vegg høyden medfører derfor en størst prosentvis økning i temperaturgradienten i de nedre delene av konstruksjonen, der temperaturgradienten er minst i utgangspunktet. I lys av dette vil effekten av å heve innetemperaturen være størst i konstruksjonens nedre deler. RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm, som vist i figur 2.17, understøtter dette. Forskjellen mellom oppvarmet og uoppvarmet inn klima er fortsatt markant, men noe mindre enn ved høyde 100 mm.



Figur 2.17: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 5 og 6

### Kommentar

Resultatene viser tydelig at innetemperaturen har stor betydning for RF-forløpet i hele konstruksjonen. Økt temperatur gir bedre uttørkingsforhold og en tørrere konstruksjon i alle målepunktene.

Resultatene viser også at en uoppvarmet konstruksjon har langt dårligere uttørkingsevne enn tilsvarende konstruksjon i romtemperatur. Dette viser tydelig at en konstruksjon som er utbedret, men av ulike grunner ikke er innredet eller tatt i bruk, ikke bør stå uoppvarmet. Uansett årsak til at kjelleren ikke er tatt i bruk, er det tilrådelig fra et uttørkingsmessig synspunkt å heve temperaturen i kjellerrommet.

### 2.5.6 Effekt av innvendig utlekting

Dette beregningstilfellet vurderer effekten av en innvendig isolert og uisolert utlekting. Den isolerte utlektinga vil ha to effekter på konstruksjonen. For det første medfører mineralull og sponplata en ekstra dampmotstand på innvendig side som reduserer den innadrettede uttørkingen. For det andre vil en innvendig isolering medføre at en større del av temperaturfallet skjer på innsiden, og konstruksjonen vil få en lavere temperatur som følge av dette. Tidligere er det vist at konstruksjonens temperatur spiller en stor rolle på både ut- og innadrettet uttørking.

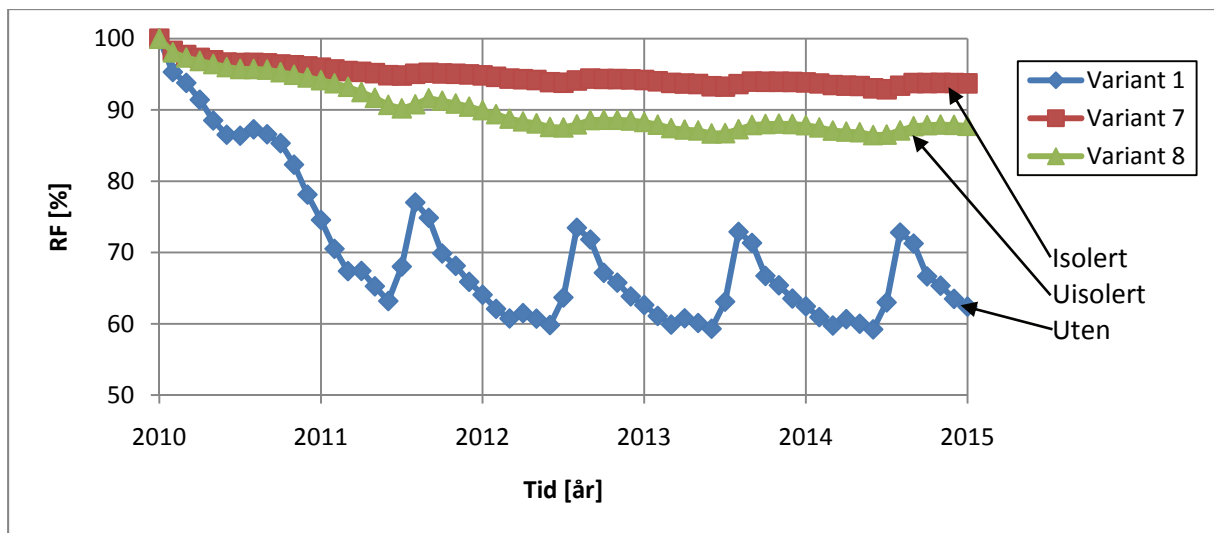
I tillegg er det vurdert en uisolert utlekting. Oppbygningen av utlektingen er den samme, men istedenfor 50 mm mineralull, er det benyttet 50 mm luftspalte. Denne utlektingen vil ha omtrent den samme dampmotstanden på innvendig side. Siden denne utlektingen ikke modelleres med isolasjon, vil ikke noe av temperaturfallet forekomme på innsiden.



*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm*

I figur 2.18 vises RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8. I denne dybden vil den innadrettede uttørkingen ha størst betydning for fuktinnholdet i konstruksjonen. Resultatene viser at den ekstra dampmotstanden på innvendig side har stor effekt på den innadrettede uttørkingen. Dette gjelder både uttørkingstid, og hvilket fuktinnhold konstruksjonen innstiller seg på.

Den uisolerte og den isolerte utlektingen kan for praktiske formål antas å ha samme dampmotstand. Allikevel er det en markant forskjell mellom disse variantene. Denne forskjellen kan sannsynligvis relateres til ulike temperaturer i konstruksjonene. Det kan imidlertid tyde på at effekten av økt temperatur ikke er så stor som effekten av den innvendige dampmotstanden. Uttøringsforløpet vil med andre ord være avhengig av begge disse parametrene, men innvendig dampmotstand har størst betydning for den innadrettede uttørkingen.

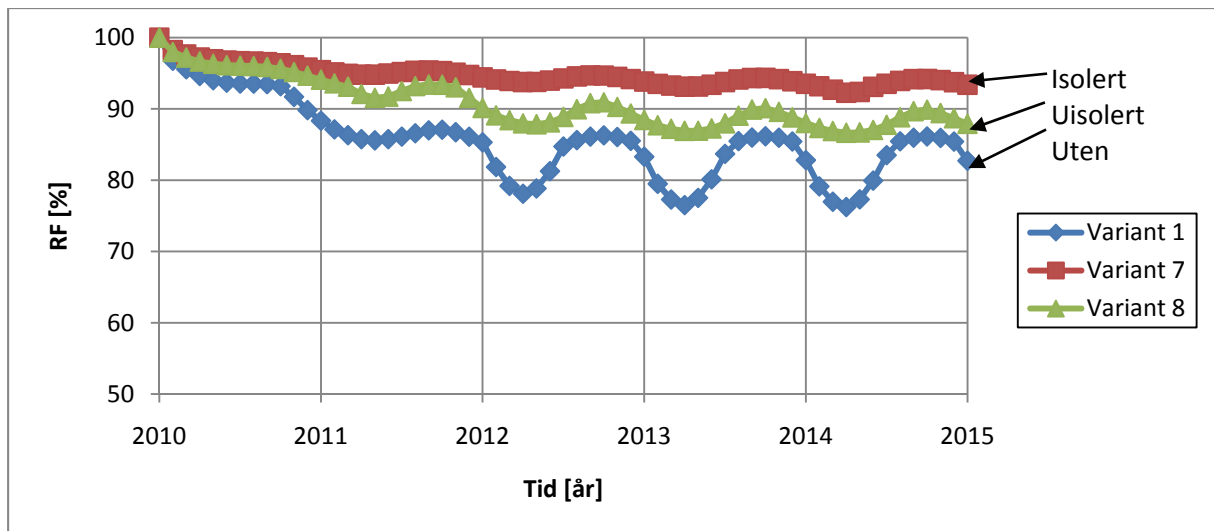


**Figur 2.18:** RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm*

I de ytre delene av konstruksjonen ser man også en tydelig effekt av dampmotstanden på innvendig side, som vist i figur 2.19. Forskjellen mellom den isolerte og uisolerte utlektingen viser igjen hvor viktig det er med en stor temperaturgradient over utvendig isolasjon for at dette utbedringstiltaket skal være effektivt.

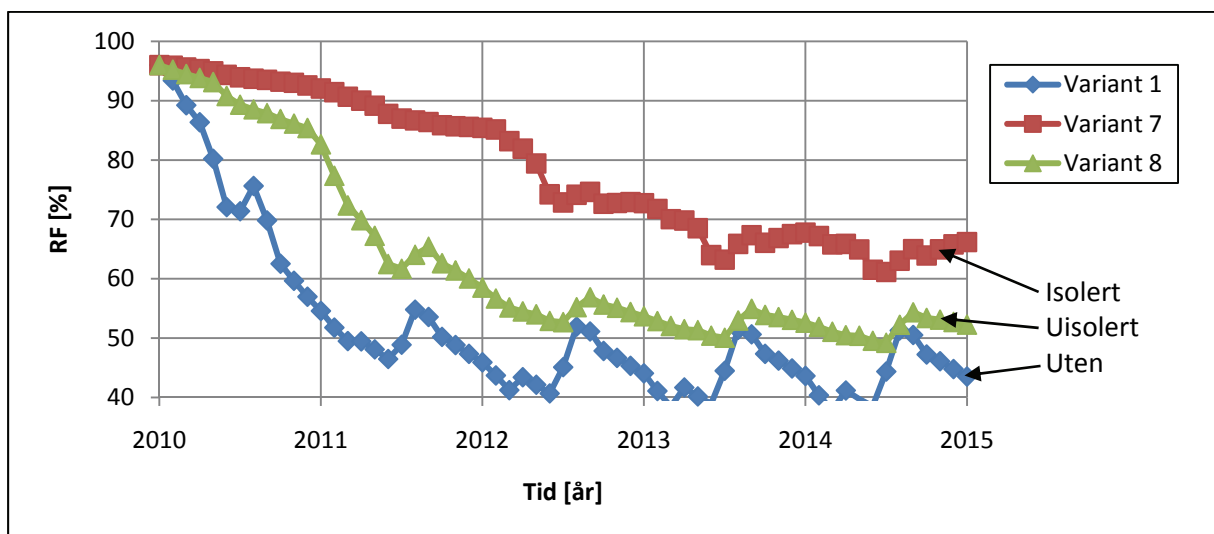
Forskjellen mellom de utlektede variantene og standardvarianten er ikke like stor som i de innerste delene av konstruksjonen. Dette er som forventet siden de ytre delene av konstruksjonen påvirkes i større grad av den utadrettede uttørkingen. Ut i fra disse resultatene tyder det på at konstruksjonens ytre deler påvirkes mer av temperaturforskjellen enn hva som er tilfellet i de indre delene. Allikevel viser resultatene at den innvendige dampmotstanden har en markant betydning for RF-forløpet i hele konstruksjonens dybde.



Figur 2.19: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 25 mm*

Høyere opp i konstruksjonen er den kapillære fuktilførselen mindre, så i utgangspunktet vil denne situasjonen være mer preget av ren uttørking og en beskjeden oppfukting. Men siden uttørkingen på innvendig side er redusert, kan det tenkes at fukt transporteres lenger opp veggen enn i standardtilfellet. I figur 2.20 er uttørkingsforløpet i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8 vist.



Figur 2.20: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 7 og 8

Det er bemerkelsesverdig hvilken effekt utlektingen har på uttørkingstiden. Både effekten av innvendig isolasjon og innvendig dampmotstand ser ut til å påvirke uttørkingstiden betraktelig. For å nå et RF-nivå på 80 % bruker standardvarianten under et halvt år, mens konstruksjonen med isolert utlekting bruker bortimot fem ganger så lang tid på dette. Konstruksjonen med uisolert utlekting når dette nivået etter omtrent ett år. Dette viser igjen den nære relasjonen mellom temperatur og uttørkingsevne.

Av resultatene vises det at variantene innstiller seg på et litt forskjellig fuktnivå etter lang tid. Dette skyldes delvis at den isolerte konstruksjonen har dårligere uttørkingsevne, men dette tyder også på at

de utlektede variantene er utsatt for en oppfukning nedenfra. Dette kan også forklare noe av den store forskjellen i uttørkingstid mellom variantene.

#### *Kommentar*

En innvendig utlekting ser ut til å ha stor innvirkning på uttørkingshastigheten, spesielt i de indre delene av konstruksjonen. I en utbedringssituasjon vil det være betenkelig å kle inn en fuktig konstruksjon rett etter utbedring. Ut i fra disse resultatene vil det være tilrådelig å la konstruksjonen stå åpen en tid og tørke ut noe fuktighet, før den så eventuelt blir innkledd. Hvor lenge konstruksjonen bør stå åpen blir en avveining mellom ulike ønsker i hvert enkelt tilfelle. Resultatene viser imidlertid at uttørkingen går raskest i starten, og selv en relativt kort periode vil kunne tørke ut mye fuktighet.

#### **2.5.7 Effekt av grunnmursmateriale**

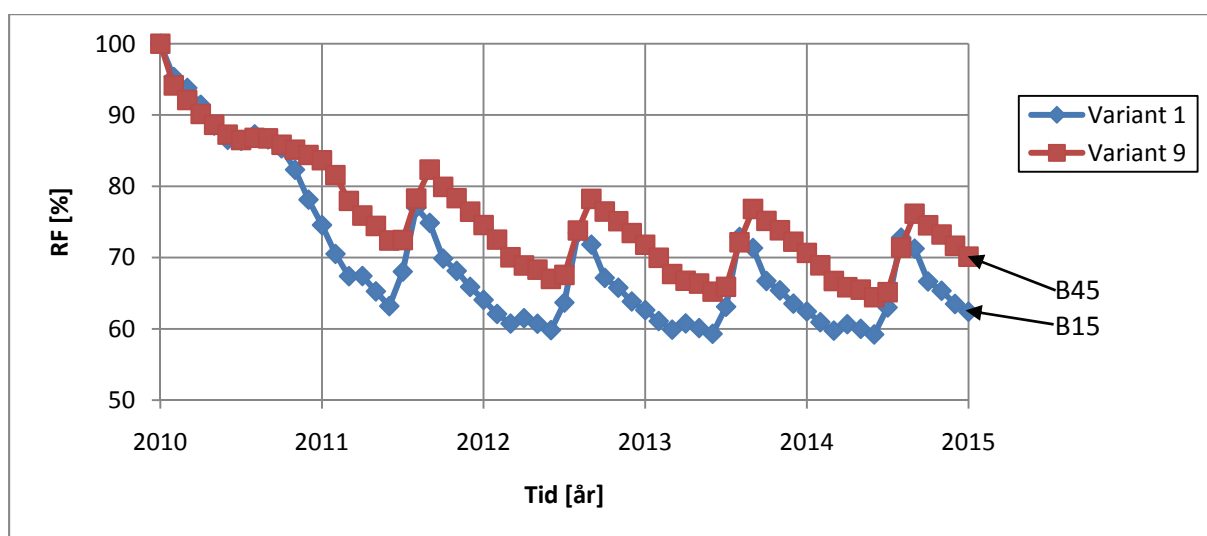
Dette beregningstilfellet sammenligner noen bygningsmaterialer som er vanlig å bruke i grunnmurer. Til forskjell fra de andre beregningstilfellene vil det være flere parametre som varieres samtidig ved disse beregningene. Dette gjør det vanskeligere å fastslå entydig hvilke parametre som er av betydning for uttørkingen.

De ulike materialene har forskjellige parametre som vil påvirke blant annet varmestrøm, kapillær oppsuging og vanndamptransport i konstruksjonen. B45 har omtrent de samme egenskapene som B15, men er mer damp tett, og har litt større kapillær oppsugingsevne. Lettklinkerblokker har lavere varmeledningsevne, lavere kapillær transportkapasitet og er langt mer dampåpen enn betong. Tegl har noe lavere varmeledningsevne, høyere kapillær transportkapasitet og er mer dampåpen enn betong. Se forøvrig tabell 2.2 for materialparametre.

Den største forskjellen mellom disse materialene er diffusjonsmotstanden. Mens lettklinker bare har en 7-8 % av diffusjonsmotstanden til B15, og tegl har omtrent det dobbelte av lettklinker, har en B45 i størrelsesorden 200-300 % av diffusjonsmotstanden til B15. Dette vil ha betydning for uttørkingen av konstruksjonen.

#### *Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm for betong*

I figur 2.21 er RF-forløpet for betong B15 og B45 i høyde 100 mm og dybde 25 mm vist. Disse to variantene er mest hensiktsmessig å sammenligne, siden de har mange like egenskaper. Disse betongtypene representerer to ytterpunkter i betongfasthet. De fleste betongkonstruksjoner i små og mellomstore bygninger har en betongfasthet mellom disse ytterpunktene.



**Figur 2.21:** RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 9

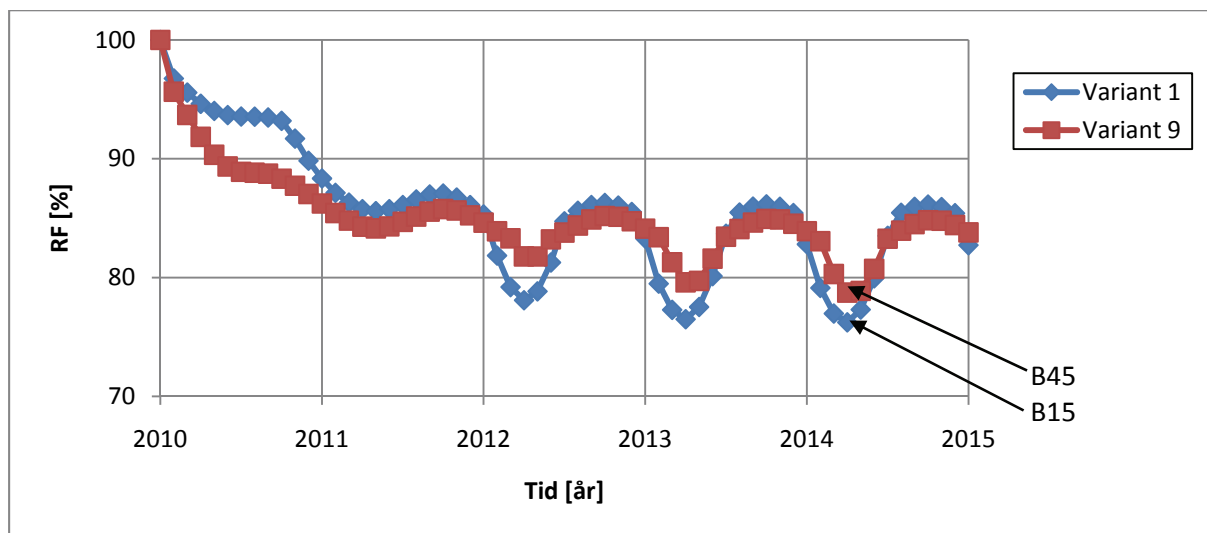
Av disse resultatene vises det at uttørkingshastigheten det første året er ganske likt for begge betongfasthetene. Merk at initialfukten er angitt i relativ luftfuktighet, slik at det absolutte fuktinnholdet i disse konstruksjonene ikke er det samme, og dette kan ha betydning for uttørkingsforløpet i begynnelsen. Etter omtrent ett år øker uttørkingshastigheten for B15, og fuktinnholdet innstiller seg på et noe lavere nivå enn B45.

Den kapillære transportkapasiteten er noe høyere for B45, og det kan derfor forventes at konstruksjoner med B45 er utsatt for en kraftigere oppfukning i de nedre delene av konstruksjonen. Denne forskjellen er imidlertid liten. Forskjellen i diffusjonsmotstand er mye større mellom materialene. Dette har betydning for størrelsen av vanddampfluksen ut av konstruksjonen. Konstruksjoner utført i B45 vil med andre ord være under en kraftigere oppfukning samtidig som uttørkingen går seinere.

Dette forklarer forskjellen i RF-nivå mellom disse variantene. Ut i fra de gitte forutsetningene ville det vært naturlig å anta en relativt stor forskjell i oppfukning mellom disse variantene. Resultatene viser imidlertid at selv om forskjellen er tydelig, er den ikke spesielt stor. Disse resultatene var overraskende, spesielt med tanke på at B45 er to til tre ganger så damptett som B15.

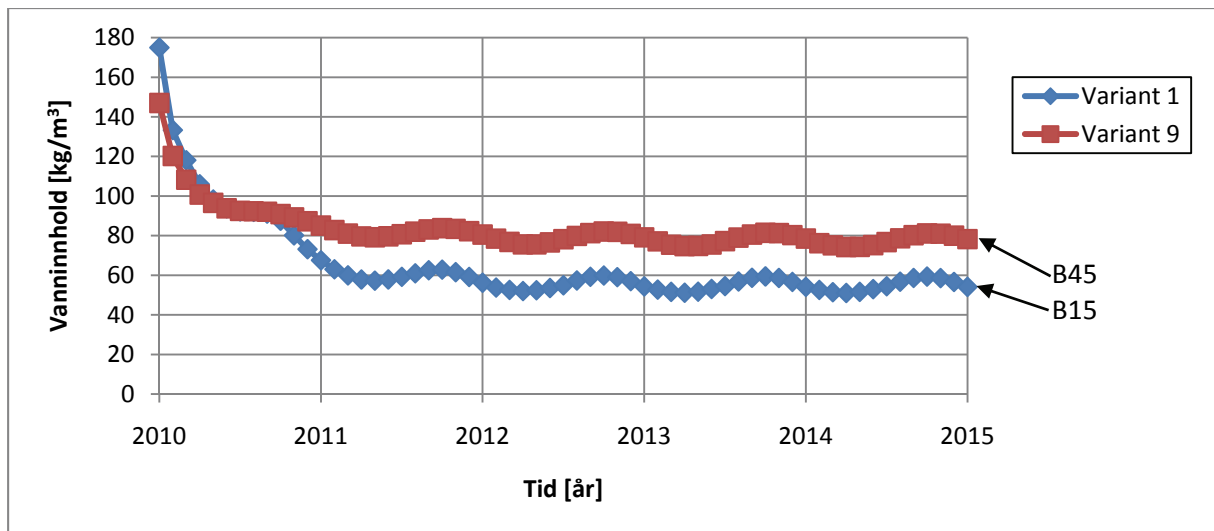
#### *Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm for betong*

For de samme variantene i høyde 100 mm og dybde 175 mm vises en tilsvarende forskjell, som vist i figur 2.22. Her vises faktisk et noe raskere uttørkingsforløp for B45. Igjen skyldes dette sannsynligvis forskjellen i absolutt vanninnhold. Mens B45 har en kapillær metning ved et fuktinnhold på  $147 \text{ kg/m}^3$ , har B15 en kapillær metning på  $175 \text{ kg/m}^3$  på grunn av et større porevolum. Dette er en betydelig ekstra mengde fukt som må tørkes ut, og langt ut i veggene vil uttørkingen generelt være dårligere. Dette viser seg derfor som en seinere uttørking.



Figur 2.22: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 9

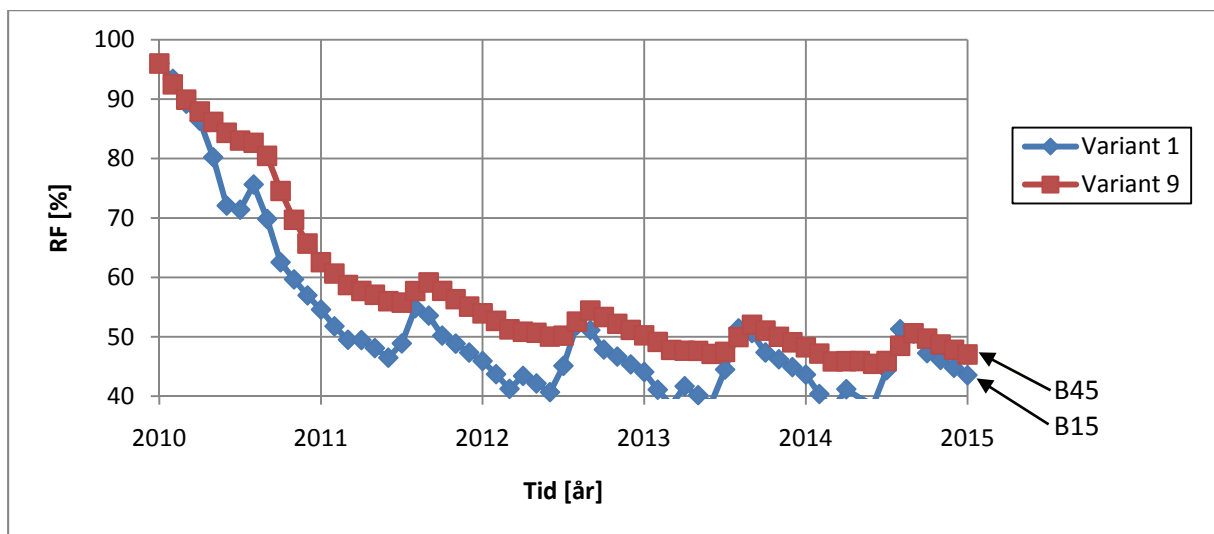
I figur 2.23 vises den samme uttørkingen som i figur 2.22, men her med absolutt fuktinnhold på verdiaksen. Sammenlignes disse figurene kommer det tydelig frem at mengde fukt som tørkes ut er atskillig større for variant 1. Dette understreker nok en gang vanskeligheten med å vurdere varianter der flere parametre endres samtidig.



Figur 2.23: Vanninnhold i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 9

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for betong*

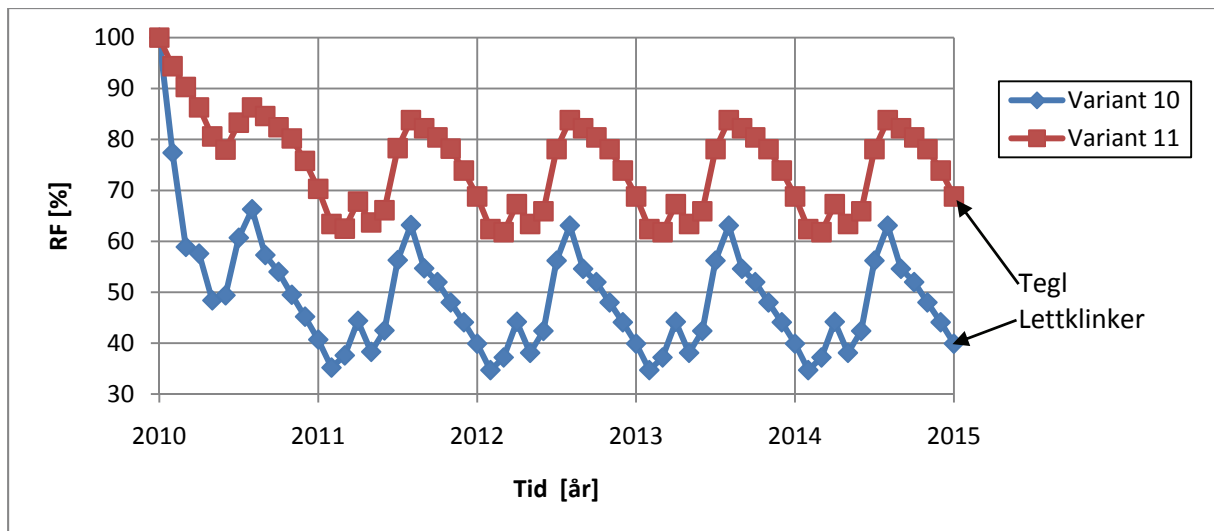
Uttøringsforløp i en høyde 1000 mm og dybde 25 mm vises i figur 2.24. I dette området er initialfuktnivået 96 %, som tilsier at begge variantene har omtrent likt vanninnhold. Begge variantene stabiliserer seg på det samme RF-nivået. Betong B45 bruker imidlertid noe lenger tid på uttøringen.



Figur 2.24: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 9

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm for tegl og lettklinker*

I tillegg til materialene B15 og B45 er det vurdert lettklinker og tegl. Disse skiller seg fra betong ved at de er atskillig mer dampåpne. Tegl har en noe større kapillær transportkapasitet enn lettklinker. I figur 2.25 er RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for tegl og lettklinker vist. Lettklinkeren tørker ut til det området som RF i innelufta varierer med. Dette er omtrent så tørr konstruksjonen kan bli i dette området. Teglkonstruksjonen stabiliserer seg på et høyere fuktnivå, noe som skyldes en større kapillær oppsuging av fukt



Figur 2.25: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 10 og 11

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for tegl og lettklinker*

Lenger opp i konstruksjonen blir effekten av kapillær oppsuging mindre, og uttørkingsforløpet for tegl og lettklinker er identiske. Figur av uttørkingsforløpet er ikke hensiktsmessig, siden måleseriene ikke kan skilles fra hverandre. Alle resultater ligger imidlertid vedlagt i appendiks B.

*Kommentar*

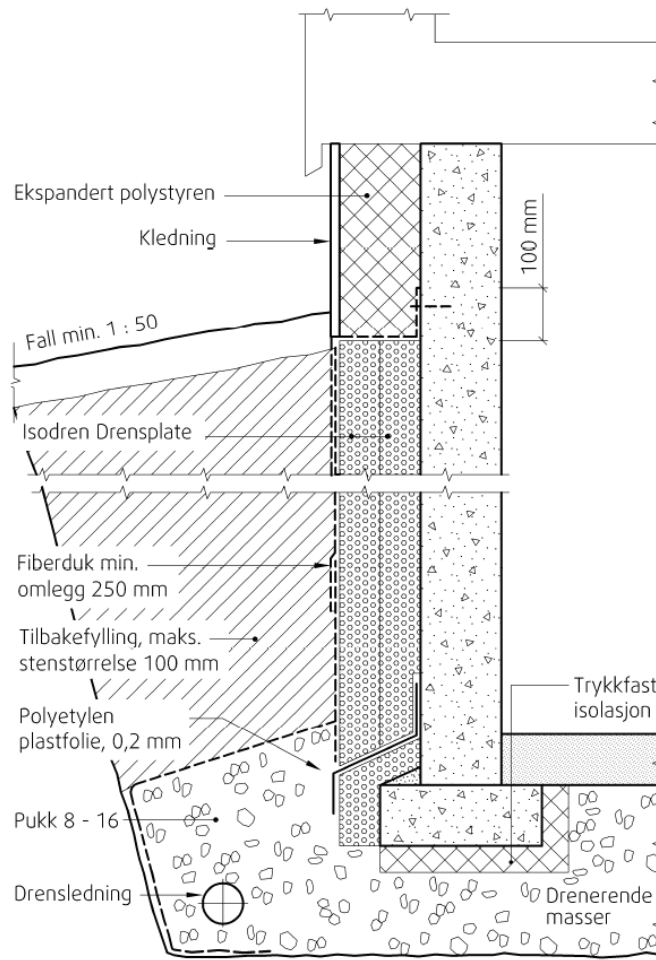
I dette kapittelet er det vurdert fire forskjellige grunnmursmaterialer. Forskjellen mellom betongkvalitetene B15 og B45 er ikke stor. B15 er noe mer dampåpen, og har derfor noe raskere uttørkingsforløp. B45 har imidlertid et mindre porevolum, og vil inneholde mindre fuktighet ved tilsvarende RF.

Materialer som tegl og lettklinker er langt mer dampåpne enn betong, og uttørkingen av disse materialene går derfor langt raskere. Dette medfører at fuktnivået i disse materialene i større grad avhenger av fuktsituasjonen i innelufta.

**2.5.8 Effekt av høyde på utvendig isolasjon**

I alle bergningsvariantene frem til nå er den utvendige isolasjonen ført opp til terrengnivå, slik at de øverste 800 mm av konstruksjonen står direkte eksponert for uteklimaet. I et fukt- og varmeteknisk perspektiv er dette uheldig. Grunnen til at isolasjonen ikke blir ført lenger opp er vanligvis at estetiske hensyn går foran bygningstekniske hensyn. I utgangspunktet behøver det ikke bety at isolasjon som er ført opp til etasjeskiller er en estetisk dårlig løsning. Denne løsningen medfører imidlertid ofte ekstrautgifter, og avslutningen mot etasjeskiller kan være problematisk.

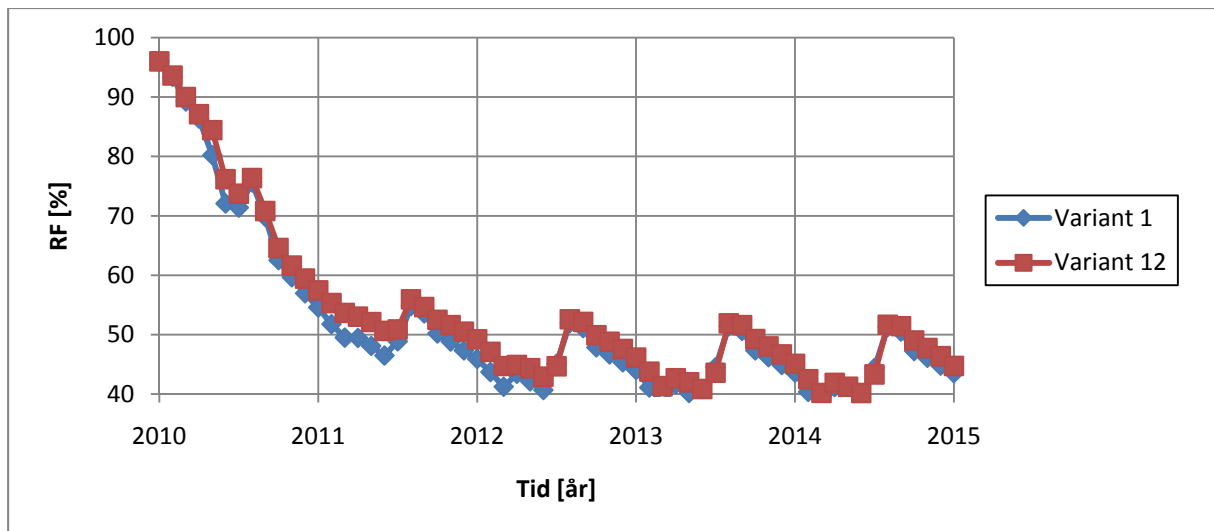
I denne beregningsvarianten har den utvendige isolasjonen blitt ført helt opp til etasjeskiller. Forskriftsmessig utføring i henhold til produsentens anvisninger er vist i figur 2.26. Det benyttes konvensjonell, damp tett EPS som isolasjon over terrengnivå. Dette fører til at denne konstruksjonen får en redusert uttørkning utover i dette området, i forhold til standardvarianten. Samtidig vil konstruksjonen utsettes for en mindre oppfukting siden kondensutslagene forsvinner.



**Figur 2.26: Forskriftsmessig bruk av dampåpen isolasjon [5]**

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 25 mm*

RF-forløpet for variant 1 og 12 i høyde 1000 mm og dybde 25 mm er vist i figur 2.27. Varianten med isolasjonen ført opp til etasjeskiller har en marginalt høyere oppfukning, som skyldes en begrenset utadrettet uttørring over terrengnivå. Dette er i utgangspunktet litt overraskende, men dette betyr ikke at fuktnivået i veggen samlet sett er høyere. Dette er fordi størstedelen av effekten til dette tiltaket foregår i de øverste delene av konstruksjonen, og fanges ikke opp i målepunktet i høyde 1000 mm. Disse forskjellene er imidlertid så små at det godt kan falle inn under usikkerheten i beregningene.



Figur 2.27: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 12

#### Kommentar

Fuktnivåene i konstruksjonens nedre deler påvirkes lite av å føre isolasjonen opp til etasjeskiller. Denne varianten er først og fremst interessant å vurdere i et varmeteknisk perspektiv. Ved å føre isolasjonen opp til etasjeskiller oppnås en betydelig reduisering av kuldebroen som oppstår fra terrengoverflaten og oppover. Senere i dette kapittelet vil det gjøres en sammenligning av konstruksjonenes varmetap, og det forventes at denne varianten vil ha langt bedre egenskaper på dette området.

#### 2.5.9 Effekt av utvendig grunnmursplate

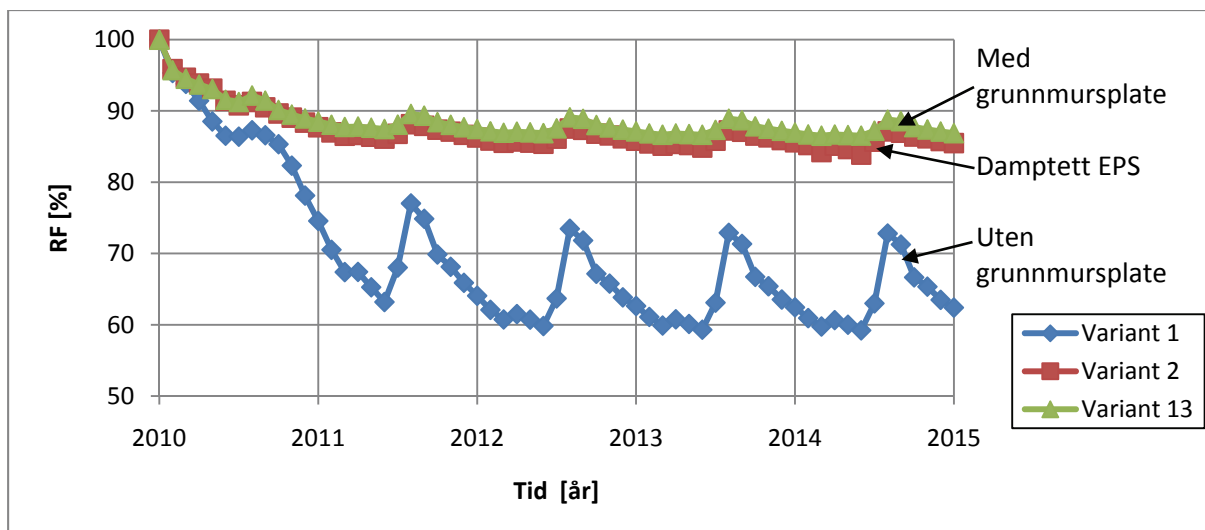
I følge anvisningene fra produsenten av dampåpen utvendig isolasjon, skal det ikke benyttes utvendig grunnmursplate, se figur 2.26. For damp tett EPS er imidlertid anvisningen at grunnmursplaten skal ligge mot grunnmuren og innenfor isolasjonen. Med tanke på at denne type utbedringer ofte utføres av grave-entreprenører, med begrenset bygningsfysisk forståelse, er det ikke usannsynlig at dampåpen isolasjon ved en feiltagelse har blitt kombinert med grunnmursplate ved enkelte tilfeller.

Formålet med en dampåpen utvendig isolasjon er å muliggjøre en tosidig uttørking. Å legge en grunnmursplate mellom grunnmur og isolasjon vil hindre all uttørking utover. Selv om dette åpenbart er feil bruk av produktet er det ønskelig å påvise hvilken effekt en slik feilaktig utførelse har på konstruksjonens uttørkingsforløp.

#### Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm

Uttørkingsforløpet for variant 1, 2 og 13 i høyde 100 mm og dybde 25 mm er vist i figur 2.28. Som resultatene viser har feil bruk av grunnmursplate stor innvirkning på uttørkingsforløpet i konstruksjonen. Grunnmursplaten hindrer all utadrettet uttørking, og som figuren viser påvirker dette også uttørkningsforløpet i konstruksjonens indre deler. Dette skyldes en kraftigere oppfukning på innsiden på grunn av at all fuktigheten må tørke ut innover. Det er interessant at uttørkingsforløpet for varianten med grunnmursplate og varianten med damp tett EPS er ganske likt.

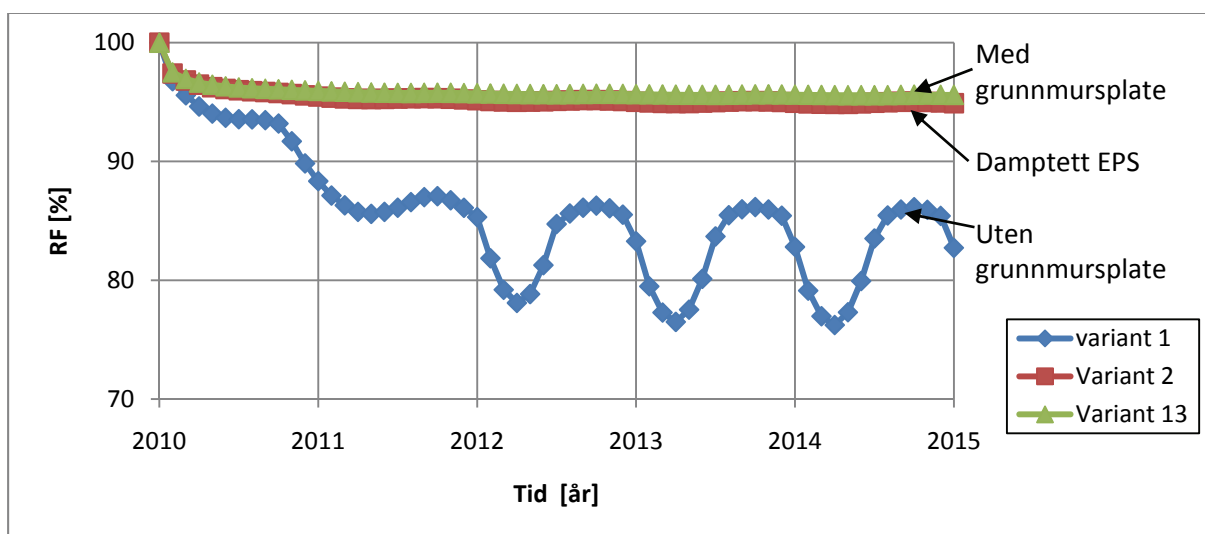




Figur 2.28: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1, 2 og 13

*Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm*

Uttørkingsforløpet i høyde 100 mm og dybde 175 mm er vist i figur 2.29. Langt ut i vegg vil den utadrettede uttørkingen være dominerende. Dette er grunnen til at varianten med utvendig grunnmursplate tørker ut i et meget beskjedent omfang. Igjen ligger dette uttørkingsforløpet nært varianten med dampnett utvendig isolasjon.

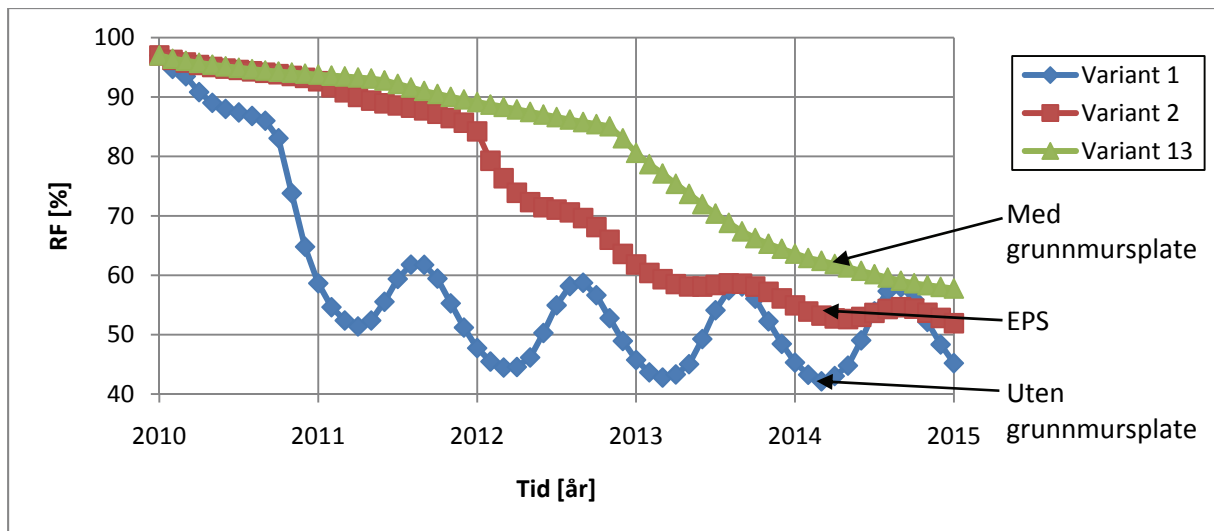


Figur 2.29: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 13

Forklaringen ligger naturlig nok i dampmotstanden på utvendig side. Både dampnett EPS og grunnmursplaten har tilstrekkelig dampmotstand til å stoppe eller kraftig hindre den utadrettede uttørkingen. Resultatene viser at dette har stor effekt på konstruksjonens uttørkingsforløp.

*Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 175 mm*

I høyde 1000 mm er oppfuktingen nedenfra mindre, og betydningen av utvendig grunnmursplate er primært hvor raskt uttørkingen går. I figur 2.30 vises uttørkingsforløpet for variant 1, 2 og 13 i høyde 1000 mm og dybde 175 mm. Resultatene viser at alle variantene tørker ut mot det samme nivået, men hastigheten er meget varierende. I denne figuren vises også at dampnett EPS ikke er like dampnett som en grunnmursplate, og at en viss utadrettet uttørking forekommer her også.



Figur 2.30: RF i høyde 1000 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1, 2 og 13

#### Kommentar

Ved å benytte grunnmursplate sammen med dampåpen utvendig isolasjon er det klart at uttørkingen reduseres kraftig. Uttørkingsforløpet ligner mer på tilfellet med damptett EPS som utvendig isolasjon, og dette skyldes åpenbart dampmotstanden på utvendig side. I en utbedringssituasjon er det derfor viktig at grave-entreprenøren ikke utfører utbedringen ”av gammel vane”, men er påpasselig på at det ikke brukes grunnmursplate.

En annen interessant betraktning fra resultatene er at damptett EPS har stor nok dampmotstand til å dempe den utadrettede uttørkingen kraftig. Dette medfører at når det benyttes damptett EPS som utvendig isolasjon spiller det ingen eller liten rolle om grunnmursplaten ligger på utsiden eller innsiden av utvendig isolasjon. Dampmotstanden er uansett stor nok til at den utadrettede uttørkingen stanser opp.

#### 2.5.10 Effekt av høy fuktbelastning i grunn

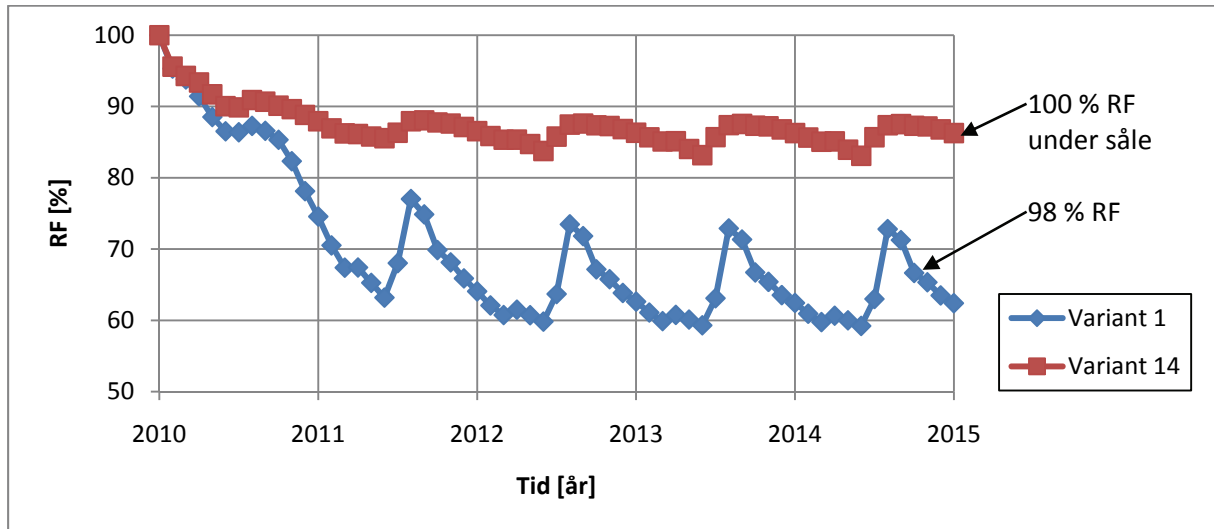
I alle beregningsvariantene frem til nå er det antatt en konstant RF i grunnmaterialets luftfylte porer på 98 %. Argumentasjonen er at konstruksjonen skal få en rimelig sjanse til å tørke ut. En konstruksjon med utbedret drenering og drensag vil utvilsomt få tilført mindre fuktighet enn før utbedringen ble utført. For å gjenspeile denne situasjonen er RF i grunnen redusert noe.

Hvilket RF-nivå som hadde gitt det mest realistiske beregningsresultatet er ikke kjent. Den vanlige konvensjonen er å anta 100 % RF i grunnens porer. For RF-nivåer over 98 % går materialet inn i det kapillære området, og vanninnholdet øker kraftig med økende RF. Det samme gjør den kapillært oppsugde fukten fra grunnen. Derfor er det antatt at 100 % RF i grunnen hadde gitt en urealistisk høy oppfukting.

For å kunne dokumentere hvilken effekt høy fuktbelastning i grunnen har er det vurdert ett tilfelle der RF i grunnen rett under sålen er 100 %. Dette skal forestille en høy grunnvannstand som når undersiden av sålen. RF i resten av grunnen er satt til 98 %, så det er med andre ord kun den 200 mm lange flaten under sålen som er utsatt for høy fuktbelastning. Dette vil først og fremst påvirke oppfuktingen nedenfra, og lenger opp i vegghøyden vil påvirkningen fra den høye fuktbelastningen være mindre.

Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 25 mm

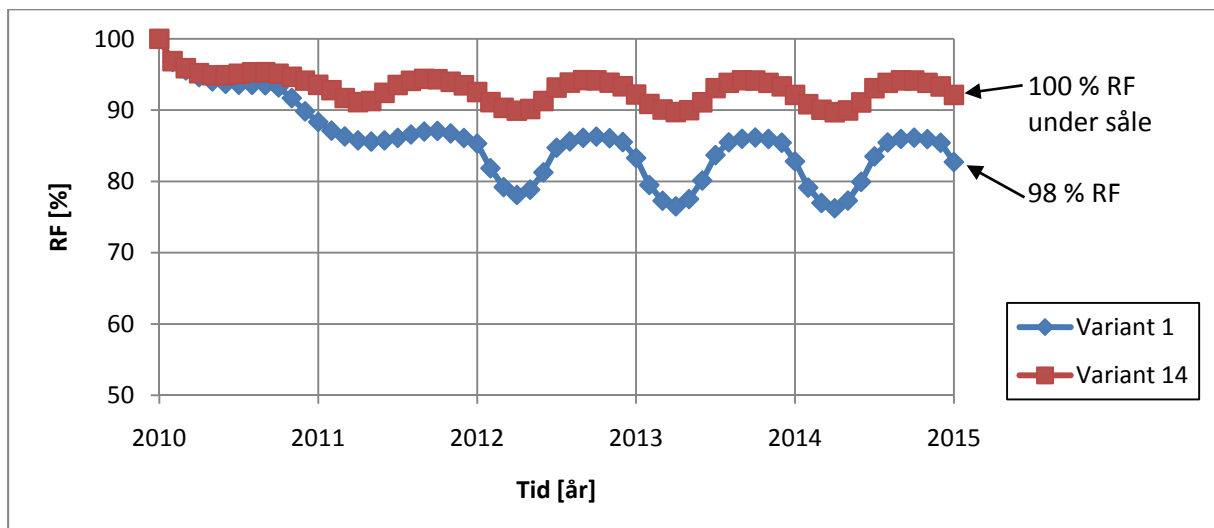
RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm vises i figur 2.31. Som resultatene viser har en økning i RF på to prosentpoeng stor innvirkning på hvor mye fuktighet som blir transportert opp i konstruksjonen. Siden begge variantene har samme uttøringsforhold vil forskjellen i RF-nivå skyldes økt kapillær fuktilførsel.



Figur 2.31: RF i høyde 100 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 14

Målepunkt i høyde 100 mm og dybde 175 mm

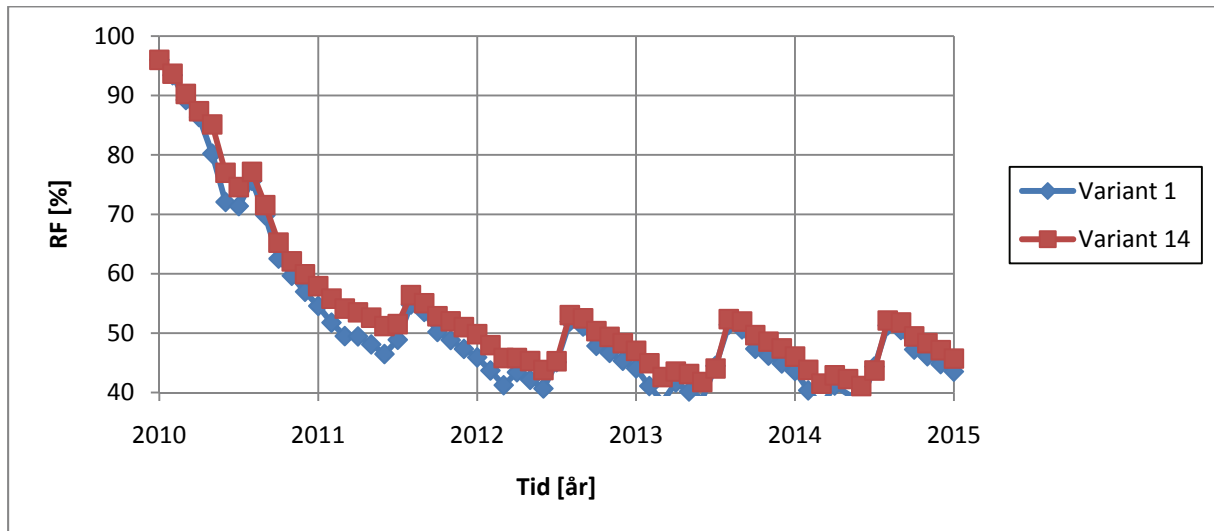
På samme måte ser man en økning i RF-nivå i veggens ytre deler, som vist i figur 2.32. Dette viser at oppfuktingen nedenfra påvirker RF-nivå i både ytre og indre deler av konstruksjonen. Som resultatene viser er forskjellene store, som igjen sier noe om størrelsen til den kapillært oppsugde fukten. Et RF-nivå i grunnen på 98–100 % er innenfor hva som kan antas å være et realistisk fuktnivå. Disse resultatene viser derfor tydelig at selv om konstruksjonen utbedres etter forskriftene vil den kapillære oppfuktingen fortsatt kunne være betydelig.



Figur 2.32: RF i høyde 100 mm og dybde 175 mm for beregningsvariant 1 og 14

#### Målepunkt i høyde 1000 mm og dybde 25 mm

Lenger opp i vegg høyden er den kapillære oppfuktingen nedenfra neglisjerbar i sammenligning. RF for høyde 1000 mm og dybde 25 mm er vist i figur 2.33. Disse resultatene viser kun en marginal forskjell i RF-nivå mellom disse variantene. Sammenlignes disse resultatene med tilsvarende tall fra en målehøyde på 100 mm, er det åpenbart at effekten av høy RF i grunnen avtar raskt oppover i veggen.



Figur 2.33: RF i høyde 1000 mm og dybde 25 mm for beregningsvariant 1 og 14

#### Kommentar

Disse resultatene har vist at RF i grunnen har meget stor betydning for hvor stor den kapillære oppsugingen av fukt er. Spesielt stor er effekten i det kapillære området. Med bakgrunn i dette kan det virke som den etablerte konvensjonen med at grunnens luftfylte porer har en RF på 100 % til enhver tid, gir en for høy fuktbelastning. I dagligtale vil ikke betydningen av et par prosentpoeng være interessant i denne sammenheng, men for numeriske beregninger er denne forskjellen av stor betydning. Det virker heller ikke urimelig å anta at et godt drenert drensag har lavere RF enn en jordfuktig leire.

Et tilbakevendende problem for alle beregningene er den kapillære oppsugingen fra grunnen. Denne utbedringsmetoden ser ikke på hvordan denne oppsugingen skal stoppes. Det kan argumenteres med at den dampåpne isolasjonen muliggjør tosidig uttørking og kapillær oppsuging til innvendig side reduseres som følge av dette. Resultatene i denne rapporten viser at selv om en tosidig uttørking forekommer, er den ikke tilstrekkelig for å motvirke oppfukting på innvendig side. Dette vises tydelig når RF-nivåer mellom målehøyde 100 mm og 1000 mm sammenlignes.

Den kapillære oppsugingen blir først et problem når konstruksjonen blir innkledd på innvendig side. Siden oppsugingen ikke opphører vil konstruksjonen og innvendig utføring kunne fuktes opp til et nivå hvor skadelig soppvekst kan forekomme. En videreutvikling av denne utbedringsmetoden bør derfor innebære å stoppe den kapillært oppsugde fukten.

### 2.5.11 Varmestrømsbetraktninger

Frem til nå har konstruksjonens fukttekniske aspekter blitt vurdert. Ved å betrakte hvordan RF endrer seg med tiden, kan uttøringsforløpet i konstruksjonen vurderes. Dette sier imidlertid ingenting om varmemstrømmen i konstruksjonen. Gode fukttekniske løsninger kan være dårlige varmetekniske løsninger, og motsatt. En god konstruksjon skal ivareta begge deler.

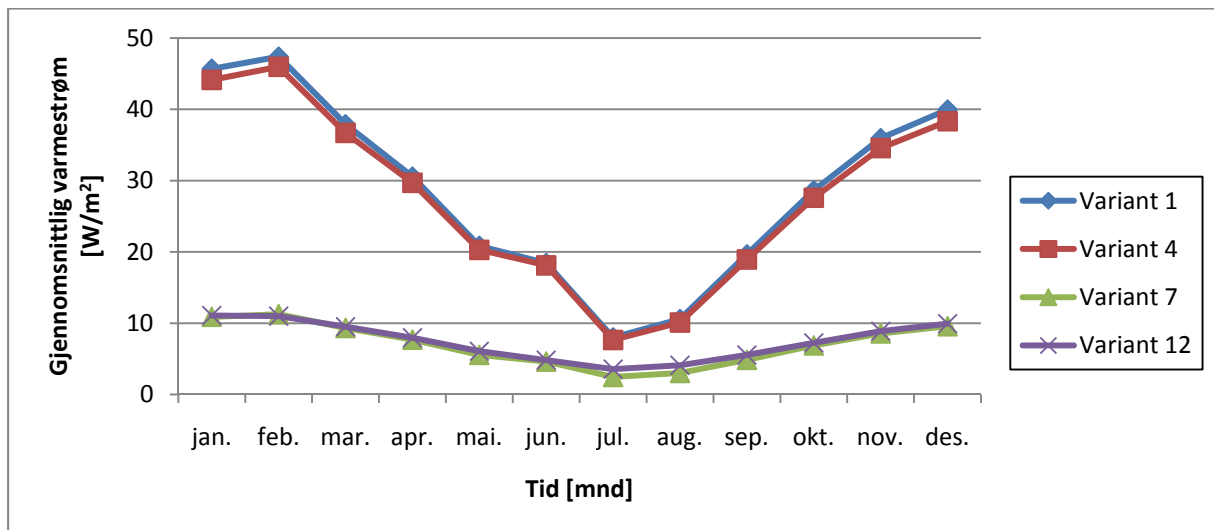
Det er derfor utført en vurdering av varmemstrømmen for enkelte av beregningsvariantene. Måten dette er vurdert på er å betrakte en midlere varmemstrøm for hele veggkonstruksjonen. Dette finnes ved å dele den totale varmemstrømmen gjennom veggkonstruksjonen (i watt pr. løpemeter) på vegg høyden, 2,4 m.

Dette er imidlertid ikke å anse som noen U-verdi siden temperaturdifferansen ikke er gitt. Eventuell isolasjonsverdi fra massene i grunnen er neglisjert. Derfor er ikke disse verdiene nødvendigvis helt realistiske, men siden grunnlaget er det samme for alle variantene vil det være uproblematisk å sammenligne dem.

Det er valgt å sammenligne fire varianter:

- Variant 1 med 100 mm utvendig isolasjon opp til terrengnivå
- Variant 4 med 200 mm isolasjon opp til terrengnivå
- Variant 7 med 50 mm innvendig isolasjon og 100 mm utvendig isolasjon
- Variant 12 med 100 mm utvendig isolasjon ført opp til etasjeskiller

Gjennomsnittlig varmemstrøm over ett år for disse fire variantene er vist i figur 2.34. Siden varmemstrømmen kan ha store svingninger fra time til time er det regnet ut måneds-middelverdier. Positive verdier betyr at varmemstrømmen er utadrettet.



Figur 2.34: Gjennomsnittlig varmemstrøm for beregningsvariant 1, 4, 7 og 12

Variant 1 og 4 er isolert opp til terrengnivå, og de 800 mm av konstruksjonen som står over terreng er uisolert. Disse resultatene viser med all tydelighet hvilken effekt kuldebroen i de øverste 800 mm av konstruksjonen har på varmemstrømmen i konstruksjonen. Variant 4 har dobbelt så tykk isolasjon som standardvarianten, men har bare en ubetydelig lavere gjennomsnittlig varmemstrøm. Disse resultatene indikerer at utvendig isolasjonstykkelse er uvesentlig for den totale varmemstrømmen dersom det ikke er isolert over terrengnivå. Det er derfor ganske åpenbart at konstruksjoner som ikke er isolert

utvendig opp til etasjeskiller, må derfor isoleres på innvendig side, dersom kjelleren skal brukes til oppholdsrom.

Av figur 2.34 vises det at løsningen med 50 mm innvendig isolering har et langt mindre varmetap enn standardvarianten. Figuren viser også at variant 12 har omtrent det samme varmetapet, så fra et varmeteknikk perspektiv har disse to variantene omtrent de samme egenskapene. Figuren viser imidlertid ikke hvor i konstruksjonen varmetapet forekommer. For varianten med innvendig isolering går sannsynligvis en stor andel av varmetapet ut over terrengnivå, mens under terreng er det totalt 150 mm isolasjon og andelen av varmetapet er mindre. Dette kan medføre kondensfare i konstruksjonens øvre deler. For varianten med utvendig isolasjon ført opp til etasjeskiller er varmetapet jevnere fordelt, med en liten kuldebro ved sålen.

Som tidligere nevnt må en god konstruksjon ivareta både fukt- og varmetekniske forhold. Ut ifra figur 2.34 og tidligere resultater kan det sies at variant 1 og 4 har gode fukttekniske egenskaper, men varmetapet i den uisolerte delen av konstruksjonen er så stort at løsningen ikke kan brukes til oppvarmede oppholdsrom. En vanlig løsning på dette problemet er å isolere på innvendig side. Av figuren ser man at dette totalt sett er en god varmeteknikk løsning. Tidligere er det imidlertid vist at denne utlektingen kan hindre uttørkingen, og konstruksjonen får generelt et høyt fuktinnhold. I tillegg kan denne løsningen være utsatt for kondensutslag i øvre deler. Variant 12, med isolasjonen ført helt opp til etasjeskiller, er en god løsning med tanke på både det fukttekniske og det varmetekniske. Siden denne varianten har all isolasjonen på utsiden, er varmetapet jevnere fordelt og kondensfaren er liten.

## 2.6 Oppsummering og konklusjon

For dette utbedringstiltaket er det vurdert åtte ulike parametre og fjorten beregningsvarianter. Det er vurdert hvordan de ulike parametrene påvirker uttørkingsforløpet i konstruksjonen. Resultatene i dette kapittelet har gitt et inntrykk av hvilke parametre som er av stor betydning og hvilke som er av mindre betydning med tanke på konstruksjonens uttørkingsforløp.

Hovedfokuset i dette kapittelet er på effekten av dampåpen utvendig isolasjon. Denne effekten sammenlignes mot en konvensjonell løsning med damp tett isolasjon. Resultatene viser meget tydelig at konstruksjonen får en tosidig uttørking ved bruk av dampåpen utvendig isolasjon. Sammenlignet med ensidig uttørking (damp tett isolasjon) viser resultatene at konstruksjonen får et langt tørrere og raskere uttørkingsforløp i alle målepunktene som er betraktet. Forskjellen mellom de dampåpne isolasjonene er imidlertid liten. Dampmotstanden i utvendig isolasjon må kunne sies å være en viktig parameter for kjellerens uttørking.

Tykkelsen på den utvendige isolasjonen vil ha en tosidig effekt på uttørkingen. På den ene siden økes utvendig dampmotstand, som igjen reduserer utadrettet uttørking. På den andre siden vil temperaturen i konstruksjonen økes med tykkere isolasjon. Resultatene fra beregningene viser at en fordobling av utvendig isolasjon medfører en liten reduksjon av den utadrettede uttørkingen. Denne effekten vil variere med vegg høyden. For konstruksjonen sett under ett vil isolasjonstykkelsen bare ha mindre betydning for uttørkingsforløpet.

Videre er effekten av innvendig temperatur vurdert. Ved siden av dampmotstand i utvendig isolasjon er dette en av parametrene som har størst betydning for uttørkingsforløpet. Økt temperatur i innelufta øker uttørkingshastigheten og gir et tørrere uttørkingsforløp i hele konstruksjonen. Effekten er spesielt tydelig for den utadrettede uttørkingen. Med utgangspunkt i disse resultatene vil det derfor være tilrådelig å heve innetemperaturen for konstruksjoner i en uttørkingstilstand.

En innvendig utlekting vil redusere den innadrettede uttørkingen i stor grad. Denne effekten kommer som følge av dampmotstanden på innvendig side og en lavere temperatur i konstruksjonen. I en utbedringssituasjon vil det derfor være tilrådelig at konstruksjonen får tørke ut noe av fuktigheten før den blir innkledd.

Grunnmursmaterialet er også vurdert. Betongkvalitetene B15 og B45 har omtrent det samme uttørkingsforløpet, men B45 har en noe seinere uttørking. Begge disse materialene kan karakteriseres som ganske damptette. Lettklinker og tegl er imidlertid dampåpne materialer i sammenligning. Resultatene viser også at disse materialene vil tørke raskere ut. Fuktforholdene i disse materialene vil i større grad bestemmes av fuktforholdet i kjellerluften.

Det ble vurdert et beregningstilfelle der utvendig isolasjon ble ført opp til etasjeskiller. Resultatene fra beregningene viser at dette ikke har noen nevneverdig påvirkning på fuktforholdene langt ned i veggen. Denne beregningsvarianten vil imidlertid ha et langt mindre varmetap enn alle de andre beregningsvariantene som er vurdert.

Det er også vist at utvendig bruk av grunnmursplate er uforenelig med dampåpen isolasjon. Grunnmursplaten vil effektivt forhindre all utadrettet uttørking, og uttørkingsforløpet blir nesten tilsvarende likt som ved bruk av dampnett utvendig isolasjon.

Beregningen med høy fuktbelastning i grunnen har vist at fukttransporten øker dramatisk i det kapillære området. Dette reiser spørsmål om hva som er hensiktsmessig fuktbelastning i grunnen. Den alminnelige oppfatningen er at RF i grunnen er konstant lik 100 % hele året. Resultatene fra disse beregningene antyder at denne antagelsen gir en urealistisk kraftig fuktpåkjenning. For fremtidige numeriske analyser anbefales det å vurdere en noe lavere fuktpåkjenning.

Et tilbakevendende problem for samtlige beregningsvarianter er den kapillære oppsugingen. Selv om den tosidige uttørkingen vil kunne redusere oppsugingen en god del, vil den ikke opphøre. Dersom konstruksjonen blir innkledd på innsiden vil den innadrettede uttørkingen reduseres kraftig, mens den kapillære oppsugingen vil være den samme. Dette kan føre til at den innvendige utforingen fuktes opp til et nivå der skadelig muggsoppvekst kan forekomme. Som supplement til utbedringsmetoden bør drenering og drenslag utbedres til forskriftsmessig stand. Eventuelle tiltak for å redusere kapillær oppsugingen bør også vurderes for å videreutvikle denne utbedringsmetoden.

## 3 Utbedringstiltak 2 – Innvendig grunnmursplate og isolert utforing

---

### 3.1 Beskrivelse av metoden

Fukt i bygningssammenheng er forbundet med en rekke problemer. Den mest alvorlige konsekvensen av fuktige bygningsdeler er soppdannelse som i verste fall kan medføre helsemessige problemer. Muggsopp kan dannes på de fleste overflater dersom forholdene ligger til rette for det. Da må både fukt og temperatur ligge innenfor områder som muggsoppen trives i. I tillegg trenger muggsoppen tid for å etablere store soppkolonier. For at en konstruksjonsdel skal kunne bli utsatt for et muggsoppangrep må altså fukt- og temperaturforholdene være gode over et lenger tidsrom.

De konstruktive egenskapene til eksempelvis betong vil imidlertid ikke påvirkes av fuktinnholdet i konstruksjonen. Konstruksjonen vil derfor ha den samme funksjonaliteten som i tørr tilstand. Dette er utgangspunktet for dette utbedringstiltaket.

Utbedringen går ut på å legge en grunnmursplate direkte mot den oppfuktede grunnmuren på innvendig side, og den isolerte utforingen på innsiden av denne. Det hevdes at selv om grunnmuren er fuktig, vil fuktforholdene i utforingen kunne forbli upåvirket av dette. Grunnmursplaten vil derfor fungere som et beskyttende sjikt mellom en fuktig grunnmur og en tørr utforing. Grunnmuren på sin side vil kunne fungere utmerket i oppfuktet tilstand.

Ved denne utbedringen er det derfor forholdene i utforingen som undersøkes. Utbedringstiltaket tar ikke sikte på å tørke ut betongen, slik som utbedringstiltak 1. Grunnmursplaten vil imidlertid danne en luftespalte mot betongen, som kan muliggjøre en liten uttørkning innover. Dette vil være sekundære effekter av utbedringen.

Den store fordelene med denne utbedringen er at det ikke er nødvendig med utvendig oppgraving. All utbedring skjer på innsiden. Denne metoden gjør det også mulig å utbedre enkelte rom, eller deler av en kjeller.

Det er også noen betenkeligheter rundt dette utbedringstiltaket. Siden konstruksjonene utbedres på innsiden vil all isolasjon bli plassert på innsiden. Dette medfører en viss risiko for kondensutslag på innsiden av grunnmursplaten. Videre vil det være aktuelt å vurdere om kondens og høy RF gir grunnlag for soppvekst i utforingen. Dette vurderes ved å betrakte temperatur og RF over tid i en kritisk del av konstruksjonen.

Det er antatt at den mest kritiske delen av konstruksjonen er den delen som står eksponert over terrengnivå, siden det er her de største temperaturforskjellene forekommer på vinterstid. For sommerforhold kan det mest kritiske området av konstruksjonen ligge under terreng. Videre vil den mest kritiske dybden være rett innenfor grunnmursplaten.

I dette kapitlet utføres det en parameterstudie som ser på hvordan for eksempel isolasjonstykkelse, fukttilskudd, innvendig dampmotstand og grunnmurens varmemotstand påvirker muggsoppveksten i utforingen. Formålet med denne parameterstudien er å kunne si noe om hvilke konstruksjoner som er utsatt for muggsoppangrep, og hvilke parametre som er av betydning for muggveksten.



## 3.2 Beregningsoppsett

### 3.2.1 Geometri og målsetting

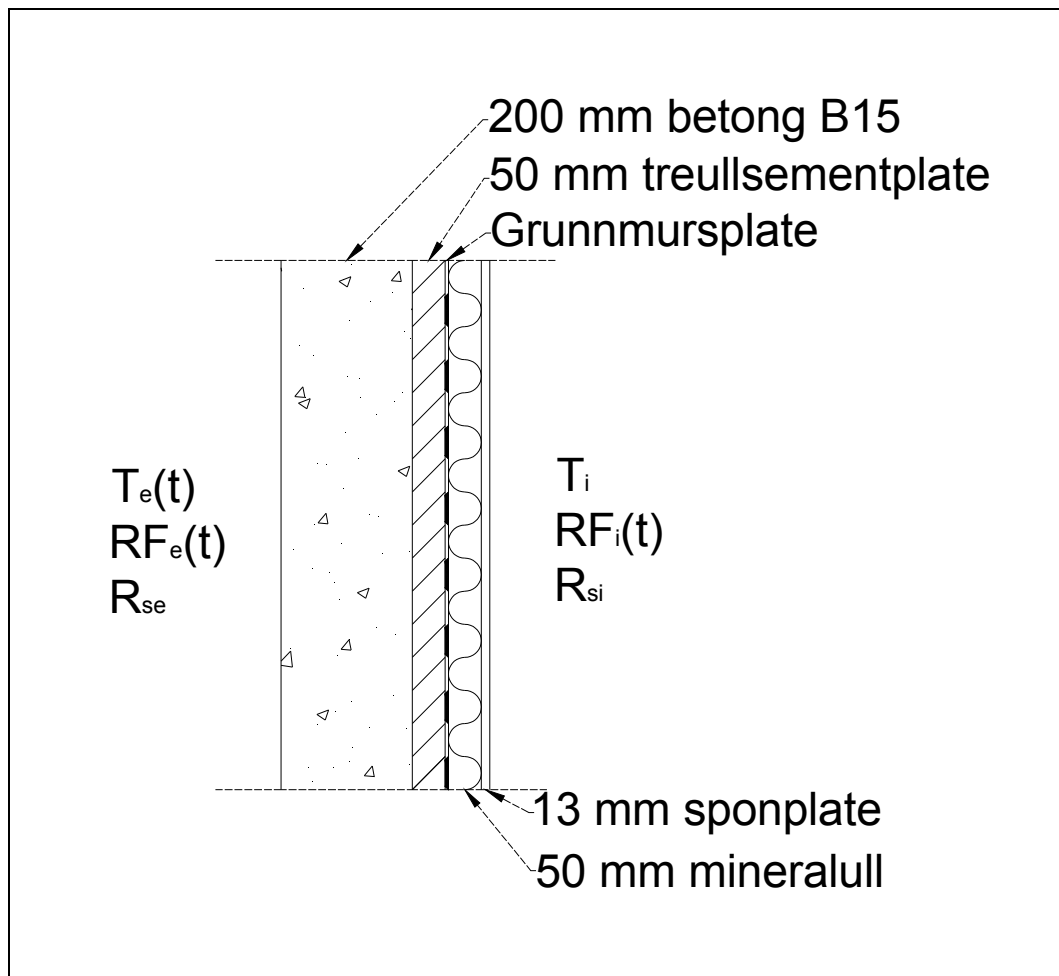
Den mest kritiske delen av konstruksjonen for kondensutslag er i delen over terrengnivå. Her er det ingen kapillær oppfukning nedenfra og fukt- og varmemstrømmen er tilnærmet endimensjonal. For disse beregningene brukes derfor WUFI Pro 4.2, dels fordi situasjonen tillater det og dels fordi det er meget tidsbesparende.

Ved å bruke WUFI Pro 4.2 er det mulig å forenkle beregningene betraktelig i forhold til det todimensjonale tilfellet. Dette gjelder også geometrien. For endimensjonale beregninger er det kun et snitt i en bestemt høyde som betraktes. Dette snittet beskriver konstruksjonsoppbygningen lagvis utenfra og inn.

På samme måte som for utbedringstiltak 1 er det valgt å angi en standardkonstruksjon. Standardkonstruksjonen har følgende oppbygning regnet utenfra:

- 200 mm betong B15
- 50 mm treullsement
- Grunnmursplate
- 50 mm mineralull
- 13 mm sponplate med overflatebehandling

Standardkonstruksjonen er vist i figur 3.1. I utgangspunktet har grunnmursplaten utpressede fordypninger som vil danne en luftespalte mot grunnmuren. Det kan tenkes at denne luftespalten har en viss isolasjonsverdi. Bunnen av utpressingen vil ligge anlagt mot grunnmuren, og der vil isolasjonsverdien av luftespalten uansett ikke gjøre seg gjeldene. Denne isolasjonsverdien er derfor neglisjert. Grunnmursplaten er modellert som en tykk dampsperre, uten luftespalte, i WUFI.



Figur 3.1: Standard konstruksjonsoppbygning for utbedringstiltak 2

### 3.2.2 Materialparametre

WUFI Pro 4.2 og WUFI 2D bruker den samme materialdatabasen. I hovedsak er de samme materialene benyttet for begge utbedringsmetodene. De aktuelle materialene og tilhørende materialparametre for beregningene i dette kapittelet er derfor angitt i tabell 2.2.

### 3.2.3 Initialbetingelser

#### *Initialtemperatur*

Som ved som ved beregningene i forrige kapittel vil initialtemperaturene utjevnes raskt og de har liten betydning for beregninger som går over flere år. Initialtemperaturen for hele konstruksjonen er satt til 20 °C.

#### *Initialfukt*

Initialfukt i grunnmuren er ikke viktig å bestemme nøyaktig siden dette ikke vil ha noen betydning for fuktsituasjonen i utforingen. Det er imidlertid antatt at grunnmuren er fuktig i utgangspunktet, og initialfuktnivået er satt til 80 %.

Initialfuktnivået i utforingen er den initialbetingelsen som vil ha størst betydning for resultatene, og må derfor anslås mest nøyaktig. Initialfuktigheten i utforingen vil være bestemt av fuktinnholdet i mineralulla og lektene i utforingen.

Det er tenkt at fuktinnholdet til lektene og mineralulla vil fordeles jevnt i utforingen, og initialfuktnivået kan derfor beskrives som en midlere verdi av disse i  $\text{kg/m}^3$ . Mineralulla kan antas å være helt tørr. Det er antatt et stenderverk er av gran med densitet på  $500 \text{ kg/m}^3$  og et vanninnhold på 16 vekt-%. Dette vil tilsvare et fuktinnhold på  $80 \text{ kg/m}^3$ . Tas det utgangspunkt i en utforing med  $50 \times 50 \text{ mm}$  stendere med senteravstand  $600 \text{ mm}$  blir fuktinnholdet i utforingen:

$$\text{Fuktinnhold i utforing} = \frac{\text{fukt i kg}}{\text{volum i m}^3}$$

$$\text{Fuktinnhold i utforing} = \frac{80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,05 \cdot 0,05 \cdot 1) \text{m}^3}{(0,6 \cdot 0,05 \cdot 1) \text{m}^3} = \underline{\underline{6,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

Det benyttes et startfuktnivå på  $6,67 \text{ kg/m}^3$  i utforingen.

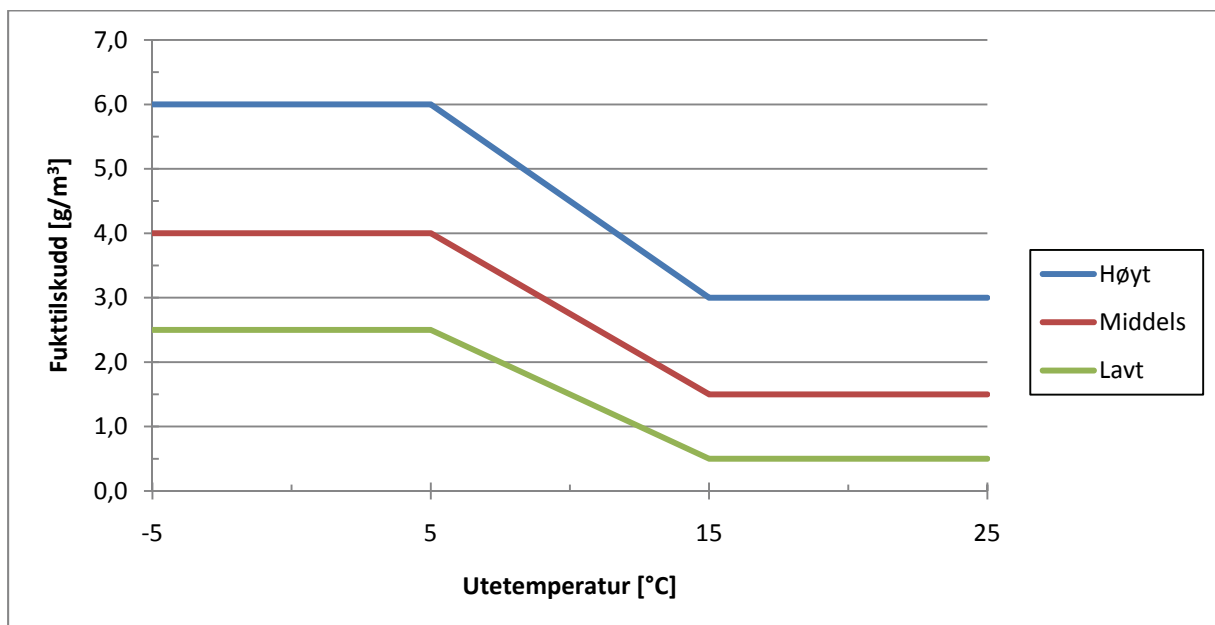
Sponplata som ligger utenpå utforingen er antatt å ha et fuktinnhold på  $50 \text{ kg/m}^3$ , som tilsvarer en likevekt ved RF på 50 %

### 3.2.4 Innvendig klima

Som ved de todimensjonale beregningene er inneluftas RF modellert med et variabelt fukttilskudd. Denne parameteren vil ha avgjørende betydning for hvor fuktig utforingen kan bli. Dette er derfor en parameter som skal varieres, for å kunne se effekten av fukttilskuddet.

Geving et al. viser i [3] et forslag for dimensjoneringsverdier for henholdsvis høyt, middels og lavt fukttilskudd. Siden dette er dimensjoneringsverdier er dette konservative anslag for fukttilskudd. De aller fleste reelle kjellerrom vil derfor ha en mindre påkjenning enn et middels fukttilskudd på  $4 \text{ g/m}^3$ . For rom som bad og vaskerom kan det tenkes at fuktbelastningen overskrider dette.

Høyt, middels og lavt fukttilskudd som funksjon av utetemperatur er vist i figur 3.2.



Figur 3.2: Dimensjonerende fukttilskudd [3]

Innetemperaturen er en parameter som ikke vurderes i disse beregningene. For alle beregningene er innetemperaturen satt konstant lik  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.2.5 Utvendig klima

Som utvendig klima er det benyttet et referanseår, et Moisture Design Reference Year (MDRY). Dette er reelle klimadata, og har en kraftigere klimapåkjenning enn et normalår. I dette kapittelet er det vurdert referanseår fra Oslo, Trondheim og Røros.

Ved siden av temperatur og RF har disse klimafilene også informasjon om solinnstråling og nedbør. I denne rapporten neglisjeres nedbør, og konstruksjonen utsettes dermed ikke for slagregn. Videre er konstruksjonen beregnet som nordvendt og med emissivitet på utvendig flate som tilsvarer en normal puss.

### 3.2.6 Målepunkter

Beregningsresultatene leses fra den mest fuktkritiske delen av konstruksjonen. Dette vil være rett innenfor grunnmursplaten, der temperaturen og metningstrykket i utforingen er lavest og risikoen for kondensutslag er størst. Måledybde er derfor varierende, men alle målingene blir tatt rett innenfor grunnmursplaten.

Målehøyden er et snitt som representerer den delen av konstruksjonen som står over terreng. Dette vil være den mest fuktkritiske delen av konstruksjonen på vinterstid. Lave utetemperaturer øker risikoen for kondensutslag i konstruksjonens ytre deler.

Det er imidlertid vurdert noen varianter med måledybde 1250 mm under terrengnivå. Dette kan være den mest fuktkritiske vegg høyden på sommerstid. Da vil fuktig luft i innelufta kunne kondensere mot en relativt kjølig kjellervegg. Sannsynligvis vil ikke kondensutslagene være like alvorlige som over terrengnivå på vinterstid.

### 3.2.7 Kontroll for muggvekst

For å kunne vurdere faren for soppvekst i konstruksjonen benyttes det i denne rapporten to kontrollmetoder. Veksthastigheten til muggsoppen avhenger av RF og temperatur. Dette er derfor basisparametrene for vurdering av muggsoppvekst i disse kontrollmetodene. De to metodene som er brukt er:

1. Kumulativ eksponering
2. Soppvekstpotensial

#### *Kumulativ eksponering*

Den kritiske grensen for muggvekst er avhengig av temperaturforholdene. I tabell 3.1 er det vist kritiske RF-nivåer for muggvekst på gran og furu. Over disse nivåene forventes det at det forekommer muggvekst. Legg merke til at for temperaturer under 0 °C og over 50 °C foregår det ikke muggsoppvekst og  $RF_{kritisk}$  er derfor satt til 100 %.

**Tabell 3.1: Kritisk RF for muggvekst på gran og furu [6]**

	< 0 °C	0 – 5 °C	5 – 15 °C	15 -50 °C	> 50 °C
$RF_{kritisk}$	100 %	90 %	85 %	80 %	100 %

På grunnlag av beregningsresultatene og tabell 3.1 kan det regnes ut en kumulativ eksponering (CE). Den kumulative eksponeringen sier noe om hvor lang tid en konstruksjonsdel er utsatt for muggvekst, og hvor gode vekstforholdene er. Den kumulative eksponeringen for ett år beregnes etter følgende formel:

$$CE = \frac{1}{168} \sum_{i=1}^{8760} (E_i \cdot \Delta t)$$

- $\Delta t$  er tidssteget, 1 time
- $E_i$  er eksponeringen i tidssteg  $i$ , og beregnes etter:
 

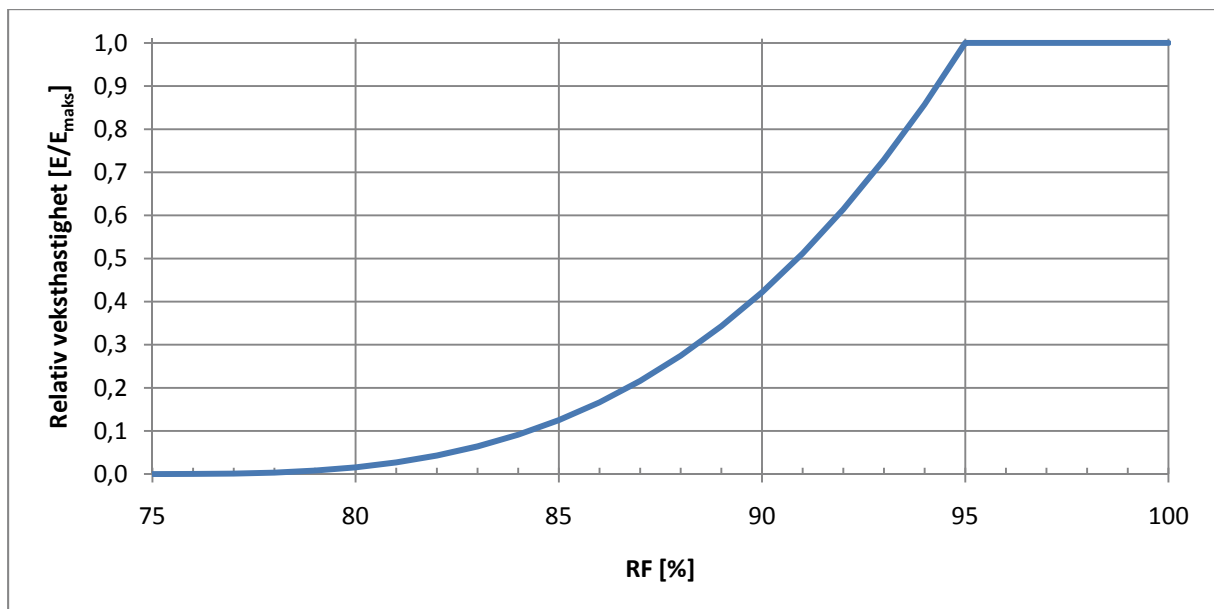
$E = RF_i - RF_{\text{kritisk}}$	når $RF_i > RF_{\text{kritisk}}$
$E = 0$	ellers

Kumulativ eksponering gir en kvantitativ størrelse til å beskrive muggveksten i utforingen. For å få benevnelsen i uke·%RF divideres summen på 168, som er antall timer i én uke. [1][6]

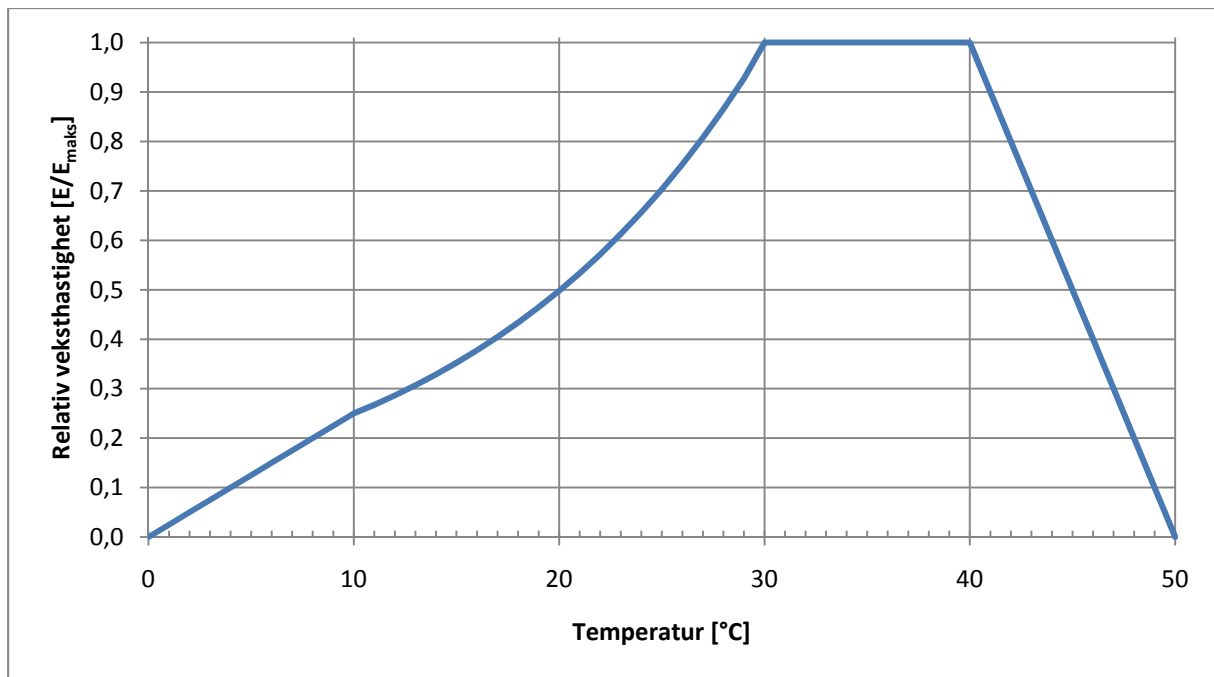
#### *Soppvekstpotensial*

Veksthastigheten for muggsopp kan beskrives som en funksjon av RF og temperatur. Maksimal veksthastighet finner sted ved RF over 95 % og temperaturer mellom 30-40 °C. Denne kontrollmetoden går ut på å beskrive soppvekstpotensialet som et ekvivalent antall maksdøgn med muggsoppvekst. Et maksdøgn tilsvarer et døgn med muggsoppvekst under optimale vekstforhold. For eksempel vil 30 døgn med relativ veksthastighet på 0,1 tilsvare tre maksdøgn.

Den relative veksthastigheten finnes ved å multiplisere muggveksthastigheten som funksjon av RF med muggveksthastigheten som funksjon av temperatur. Muggveksthastighet som funksjon av RF og temperatur er gitt i henholdsvis figur 3.3 og figur 3.4. [7]



Figur 3.3: Relativ veksthastighet som funksjon av RF [7]



Figur 3.4: Relativ veksthastighet som funksjon av temperatur [7]

Resultatene fra beregningene er timeverdier av RF og temperatur. For å få benevnningen til døgn må resultatet divideres på 24. Beregning av antall maksdøgn over ett år blir derfor:

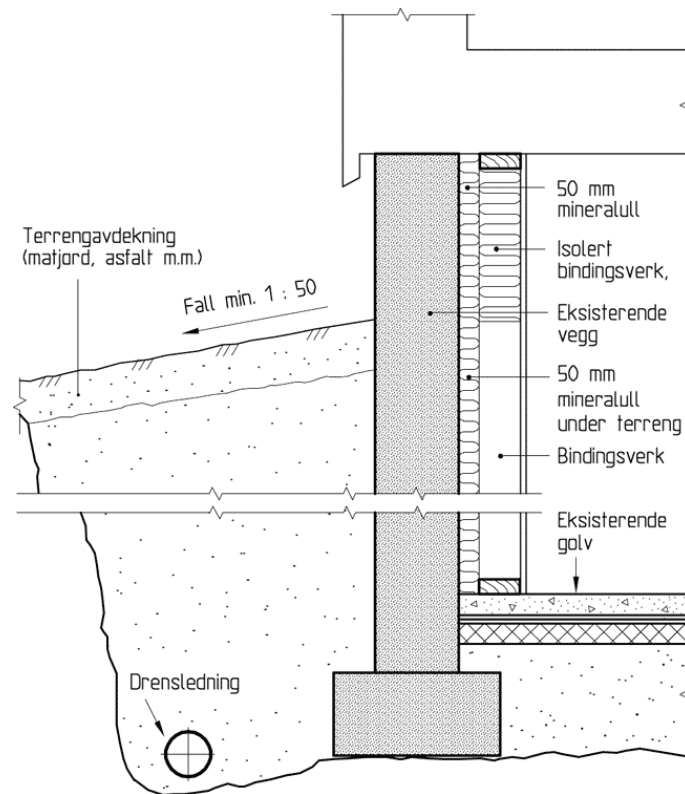
$$\text{Maksdøgn} = \frac{1}{24} \cdot \sum_{i=1}^{8760} (RVT_i \cdot RV\varphi_i \cdot \Delta t)$$

- $\Delta t$  er tidssteget, 1 time
- $RVT_i$  = Relativ veksthastighet som funksjon av temperatur ved tidssteg i. Gitt av figur 3.4.
- $RV\varphi_i$  = Relativ veksthastighet som funksjon av RF ved tidssteg i. Gitt av figur 3.3.

#### Grenseverdier

Ulempen med disse kontrollmetodene er at de ikke angir noen grense for hva som er skadelig muggsoppvekst. Dette kommer som en følge av at muggsoppkolonier er noe som etableres over tid. Det er derfor vanskelig å definere en grense hvor muggveksten blir ansett som problematisk, siden dette er noe som utvikles gradvis.

For å etablere en konvensjon for hva som kan regnes for normale verdier er det gjort prøveberegninger på en konvensjonell konstruksjon. Denne konstruksjonen er kun innvendig isolert, som resten av beregningsvariantene. Konstruksjonen det er utført prøveberegninger på er vist i figur 3.5, og beskrevet i [8].



Figur 3.5: Yttervegg mot terreng med isolert utforing på innvendig side [8]

Beregningsoppsettet som ble brukt under prøve-beregningene:

- Utvendig grunnmursplate under terreng
- 200 mm betong, 100 mm mineralull, 13 mm sponplate
- 4 – 1,5 g/m<sup>3</sup> fukttilskudd
- Innvendig S<sub>d</sub>-verdi lik 1 m
- Oslo klima

Disse beregningene ble kjørt over en beregningsperiode på tre år. Målepunktet var mellom isolasjon og betong. Resultatene er vist i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Veiledende grenseverdier ved muggsvekstvurdering

	Maksdøgn [døgn]				Kumulativ eksponering [Uke·%RF]			
	Totalt	1. år	2. år	3. år	Totalt	1. år	2. år	3. år
Over terreng	<b>61</b>	17	21	23	<b>512</b>	142	173	197
Under terreng	<b>63</b>	21	20	22	<b>551</b>	181	174	196

For beregningstilfellet under terreng er det ikke tatt hensyn til eventuell kapillær oppsuging av fukt fra grunnen. Dette kan være et betydelig bidrag til oppfukting, og disse verdiene kan derfor være for lavt anslått.

Det er ikke gitt at disse verdiene representerer en fuktsikker konstruksjon. Sannsynligvis vil denne konstruksjonen utsettes for både kondensutslag og oppfukning fra grunnen. Muggsoppangrep som følge av dette kan også forekomme. Formålet med disse prøve-beregningene er imidlertid å etablere et referansepunkt, som de øvrige beregningsvariantene kan sammenlignes mot.

### 3.2.8 Øvrige beregningsparametre

I tabell 3.3 oppsummeres noen bygningsfysiske og beregningsmessige parametre som brukes i WUFI.

Tabell 3.3: Bygningsfysiske og beregningsmessige parametre

	Verdi	Benevning
<b>Bygningsfysiske parametre:</b>		
Innvendig overgangsmotstand	0,10	[m <sup>2</sup> K/W]
Utvendig overgangsmotstand	0,04	[m <sup>2</sup> K/W]
Orientering av konstruksjonen	Nord	[-]
Emissivitet på utvendig flate	0,9	[-]
Absorptivitet på utvendig flate	0,4	[-]
Regnvannabsorpsjonstall	0	[-]
<b>Beregningsmessige parametre:</b>		
Tidssteg	3600	[s]
Antall tidssteg i beregningene	26280	[-]

## 3.3 Parametervariasjoner

For dette utbedringstiltaket er det seks parametre som vurderes.

### 3.3.1 Tykkelse på innvendig isolasjon

For denne utbedringsmetoden er det vurdert tre isolasjonstykkelser:

- 50 mm innvendig isolasjon
- 100 mm innvendig isolasjon
- 150 mm innvendig isolasjon

Som standard er det benyttet 50 mm innvendig isolasjon.

Tykkelsen på innvendig isolasjon vil først og fremst påvirke temperaturen i sjiktet mot grunnmursplaten. Videre vil temperaturen ha betydning for RF i sjiktet som betraktes og vekstraten til muggsoppen. Generelt er tykkere innvendig isolasjon forbundet med større risiko for muggsoppvekst. På den andre siden er det ønskelig med tykkere isolasjon for å redusere varmetapet i konstruksjonen. Det er derfor ønskelig å vurdere hvilke forhold som kan tillate tykkere isolasjon uten en stor risiko for muggsoppvekst.

For isolasjonstykkelser på 100 mm og 150 mm er det også mulig å trekke inn stenderverket noe, såkalt utklossing. På denne måten blir det fuktømfintlige trevirket skjermet for den kraftigste oppfuktingen. Der det er aktuelt er det vurdert en utklossing på en trededel av isolasjonstykkelsen. For isolasjonstykkelse på 100 mm tilsvarer dette en utklossing på 30 mm, og for 150 mm tilsvarer dette 50 mm.



### 3.3.2 $S_d$ -verdi på innvendig kledning

Det er vurdert innvendig kledning med forskjellige dampmotstander. Det er vurdert fem forskjellige dampmotstander på innvendig side:

- $S_d$ -verdi på 0,5 m
- $S_d$ -verdi på 1,0 m
- $S_d$ -verdi på 2,0 m
- Varierende  $S_d$ -verdi
- $S_d$ -verdi på 70 m

Standardverdien på  $S_d=1,0$  m tilsvarer en 13 mm tykk sponplate med en akryl-lateksmaling som overflatebehandling.  $S_d$ -verdier på 0,5 m og 2,0 m representerer henholdsvis en dampåpen og en damptett overflatebehandling av sponplata.  $S_d$ -verdien på 70 m tilsvarer 0,15 mm PE-folie mellom isolasjon og sponplate.

I tillegg er det vurdert en dampbrems med variabel dampmotstand. Dette er et kommersielt tilgjengelig produkt som har variabel dampmotstand etter hvilket RF-nivå den befinner seg i. Dampbremsen i disse beregningene har en  $S_d$ -verdi på 3,5 m ved RF på 30 %, og en  $S_d$ -verdi på 1 m ved en RF på 70 %. Dette skal begrense oppfukting på vinterstid, da RF i innelufta er lav, og tillate uttørking på sommerstid da RF er høy.

Størrelsen på dampmotstanden til den innvendige kledningen har to effekter. På den ene siden vil en høy dampmotstand føre til lavere kondensfare, spesielt på vinterstid. På den andre siden vil en høy dampmotstand redusere uttørkingsmuligheten betraktelig. Dersom det hadde vært antatt helt tørre materialer i utforingen ville dette sannsynligvis vært gunstig. Når det da antas et startfuktningshold på  $6,67 \text{ kg/m}^3$  er det en mulighet for at en høy dampmotstand kan føre til en skadelig høy oppfukting over en lengre tid.

### 3.3.3 Fukttilskudd til inneluft

Det er utført parametervariasjoner med høyt, middels og lavt fukttilskudd som beskrevet i kapittel 3.2.4 og i [3].

Fukttilskuddet er et direkte mål på hvor kraftig fuktbelastning konstruksjonen utsettes for. Det er derfor antatt at denne parameteren har stor betydning for muggsoppveksten. Merk at disse fukttilskuddene er dimensjoneringsverdier, og representerer 90 %-kvantilen av de målte boligene i [3]. De fleste boligene med normalt fukttilskudd vil derfor ligge under denne verdien. Som standard er det benyttet et middels fukttilskudd på  $4 \text{ g/m}^3$  i disse beregningene.

### 3.3.4 Varmemotstand i grunnmuren

Varmemotstanden i grunnmuren vil ha betydning for hvor mye av temperaturfallet som skjer på utsiden av utforingen. Varmemotstanden i grunnmuren har derfor stor betydning for temperaturen i sjiktet mellom isolasjon og grunnmursplate.

Siden det ikke foregår fuktvandring over grunnmursplaten er det kun fokusert på selve varmemotstanden til grunnmuren. Konstruksjonsoppbygning og fukttekniske egenskaper til grunnmuren har neglisjerbar betydning for varmemotstanden. De fire varmemotstandene tilsvarer følgende konstruksjoner:

- $R = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  tilsvarer 200 mm betong
- $R = 0,43 \text{ m}^2\text{K/W}$  tilsvarer 200 mm betong og 50 mm treullsement
- $R = 0,63 \text{ m}^2\text{K/W}$  tilsvarer 250 mm lettklinkerblokker
- $R = 1,88 \text{ m}^2\text{K/W}$  tilsvarer 250 mm lettklinkerblokker og 50 mm mineralull

Disse verdiene er beregnet ut i fra en forutsetning om at  $\lambda_{\text{betong}} \approx 2,0$ ,  $\lambda_{\text{lettklinker}} = 0,4$ ,  $\lambda_{\text{mineralull}} = 0,04$  og  $\lambda_{\text{treullsement}} = 0,15$ . Verdiene er hentet fra materialdatabasen i WUFI ved en RF på 80 %.

Som standard er det benyttet en varmemotstand tilsvarende 200 mm betong med innstøpt 50 mm treullsementplate.

### 3.3.5 Uteklima

Det er vurdert tre forskjellige uteklima i beregningene:

- Osloklima
- Trondheimsklima
- Rørosklima

Osloklima er benyttet som standard i beregningene. Osloklima er karakterisert som et tørt og relativt kaldt innlandsklima. Trondheimsklimaet er mer kystnært og er mildere og fuktigere. Rørosklimaet er et tørt og meget kjølig innlandsklima.

Uteklimaet vil også påvirke RF i innelufta, siden det benyttes fukttilskudd i forhold til utelufta i beregningene.

### 3.3.6 Dybde under terreng

I disse beregningene er det vurdert et snitt over terrengnivå og et snitt i dybde 1250 mm under terrengnivå.

Den mest kritiske delen av konstruksjonen vil være over terrengnivå, siden det er her de laveste temperaturene opptrer på vinterstid. Vanligvis er også grunnmuren på det tørreste i denne høyden. Dette medfører at effekten av utbedringstiltaket vil være liten i denne høyden i forhold til konvensjonelle løsninger.

Fordelen med denne utbedringsmetoden vises imidlertid best for konstruksjonen under terrengnivå, der utforingen er mer utsatt for oppfukning fra grunnmuren. Faren for kondensutslag er antatt å være mindre under terrengnivå. Konstruksjonen over terrengnivå er derfor satt som standardvariant.

### 3.3.7 Beregningsvarianter

Alle beregningsvariantene er vist i tabell 3.4 og tabell 3.5.

Tabell 3.4: Beregningsvariant 1 – 14 for utbedringstiltak 2. Standardparametre i fet skrift

Parametre		Variant													
	Verdi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Innvendig isolasjon	<b>50 mm</b>	x	x	x	x							x	x	x	x
	100 mm					x	x	x	x						
	150 mm									x	x				
S <sub>d</sub> -verdi på innvendig kledning	0,5 m											x			
	<b>1,0 m</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	2,0 m												x		
	Variierende 70 m													x	x
Fuktilskudd	2,5 g/m <sup>3</sup>														
	<b>4,0 g/m<sup>3</sup></b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	6,0 g/m <sup>3</sup>														
Varmemotstand i grunnmuren	0,10 m <sup>2</sup> K/W		x			x									
	<b>0,43 m<sup>2</sup>K/W</b>	x					x					x	x	x	x
	0,63 m <sup>2</sup> K/W			x				x		x					
	1,88 m <sup>2</sup> K/W				x				x		x				
Uteklima	<b>Oslo</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Trondheim														
	Røros														
Dybde under terreng	<b>Over</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	1250 mm														

Tabell 3.5: Beregningsvariant 15 – 26 for utbedringstiltak 2. Standardparametre i fet skrift

Parametre		Variant													
	Verdi	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Innvendig isolasjon	<b>50 mm</b>	x	x						x	x		x			
	100 mm			x	x	x	x	x			x		x		
	150 mm														
S <sub>d</sub> -verdi på innvendig kledning	0,5 m														
	<b>1,0 m</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	2,0 m														
	Variierende 70 m														
Fuktilskudd	2,5 g/m <sup>3</sup>	x		x		x	x	x							
	<b>4,0 g/m<sup>3</sup></b>								x	x	x	x	x		
	6,0 g/m <sup>3</sup>		x		x										
Varmemotstand i grunnmuren	0,10 m <sup>2</sup> K/W					x									
	<b>0,43 m<sup>2</sup>K/W</b>	x	x	x	x				x	x	x	x	x		
	0,63 m <sup>2</sup> K/W						x								
	1,88 m <sup>2</sup> K/W							x							
Uteklima	<b>Oslo</b>	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
	Trondheim								x						
	Røros									x	x				
Dybde under terreng	<b>Over</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	1250 mm											x	x		

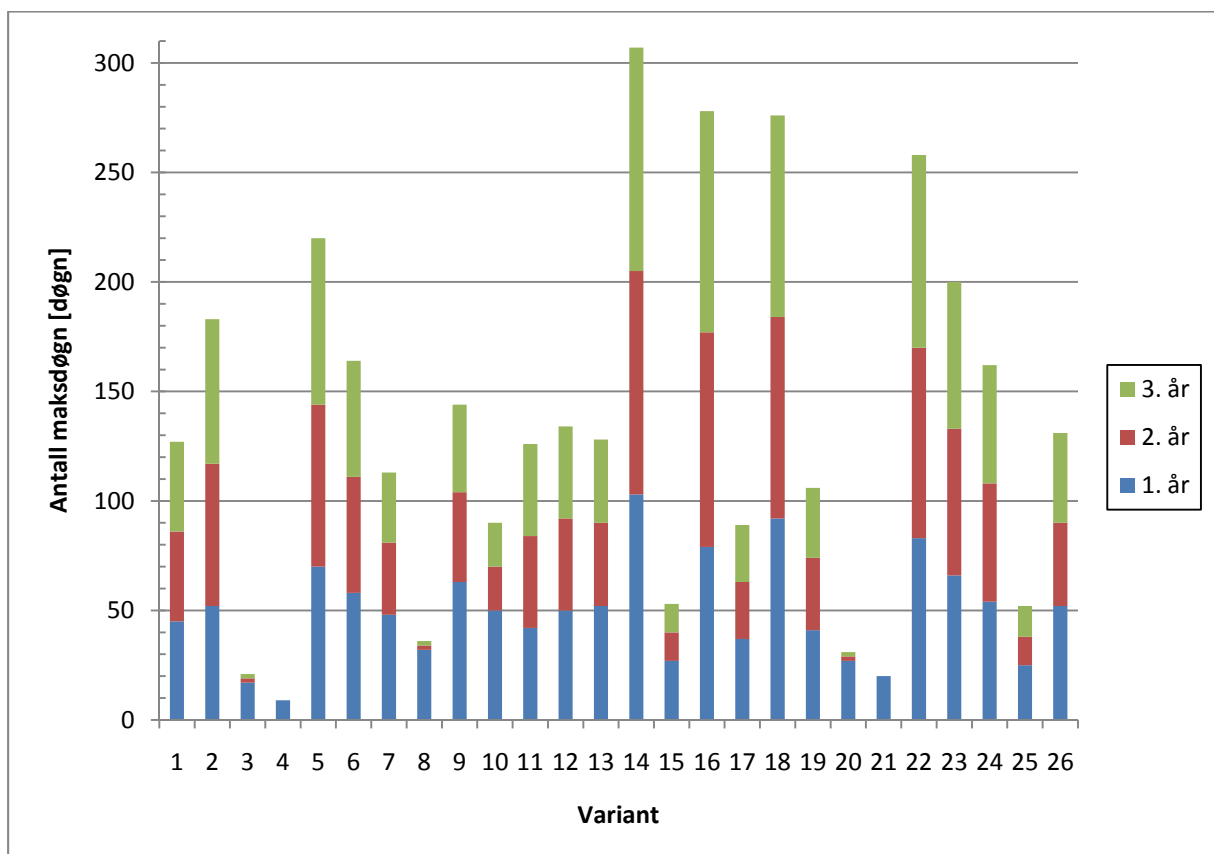
### 3.4 Resultater og vurderinger

Resultatene fra disse beregningene er RF- og temperaturkurver plottet over en treårsperiode. Med mindre noe annet er angitt er målepunktet rett innenfor grunnmursplaten. RF- og temperaturkurvene for alle beregningene er gjengitt i appendiks D. Kumulativ eksponering og muggvekstpotensialet er beregnet på grunnlag av disse resultatene.

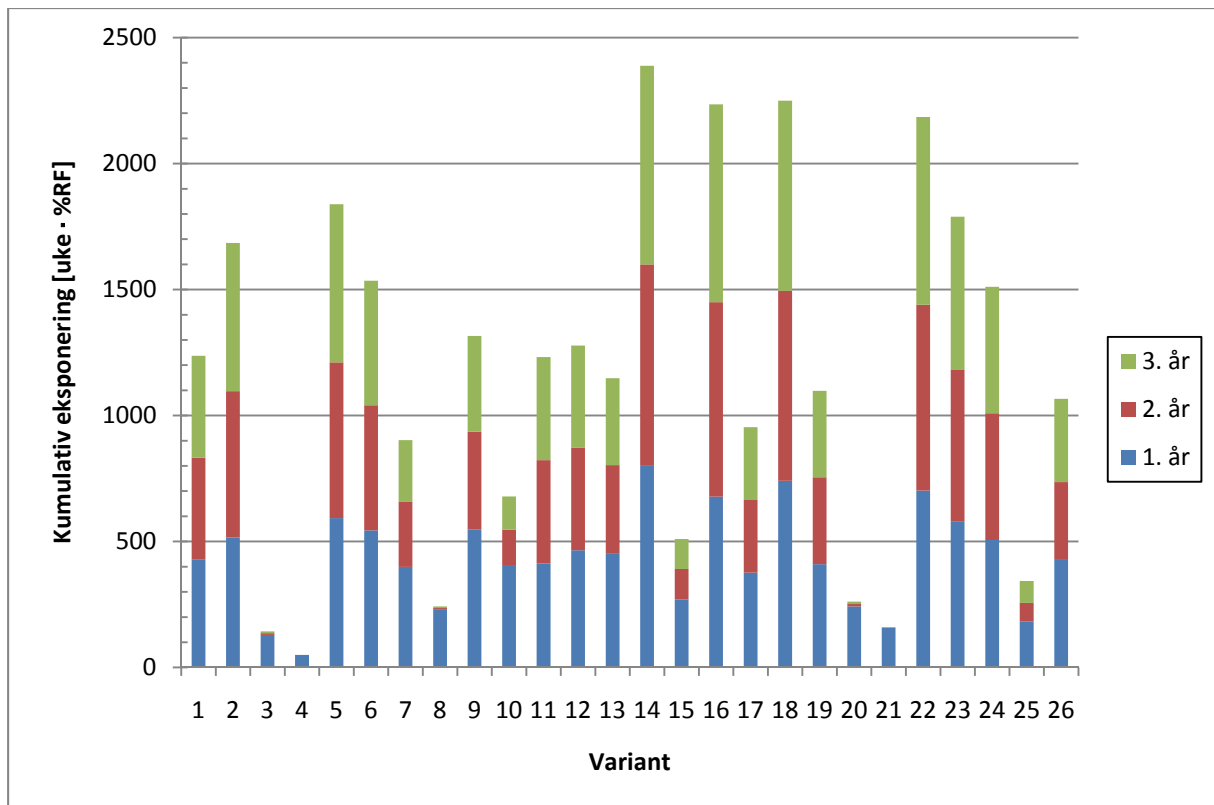
#### 3.4.1 Risiko for muggvekst

Det er beregnet kumulativ eksponering og muggvekstpotensial i henhold til kapittel 3.2.7 for alle beregningsvariantene. Uttørking av byggfukt kan være et kritisk moment ved denne utbedringsmetoden. Et høyt startfuktnivå kan gi gode vekstvilkår for muggsopp. Dersom det er en netto uttørking med tiden vil vekstvilkårene være avtagende. I motsatt tilfelle, med en fuktakkumulasjon, kan vekstvilkårene tilta eller forbli stabilt høye. Det er derfor valgt å vurdere vekstvilkårene for hvert enkelt år. På denne måten kan det vurderes om muggvekstrisikoen er avtagende, tiltagende eller stabil.

Antall maksdøgn med muggsoppvekst for alle beregningsvariantene er vist i figur 3.6. Kumulativ eksponering for alle beregningsvariantene er vist i figur 3.7. Tallgrunnlaget for figurene ligger vedlagt i appendiks C.



Figur 3.6: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for alle beregningsvariantene



Figur 3.7: Kumulativ eksponering for alle beregningsvariantene

De enkelte beregningsvarianter blir vurdert senere i dette kapittelet.

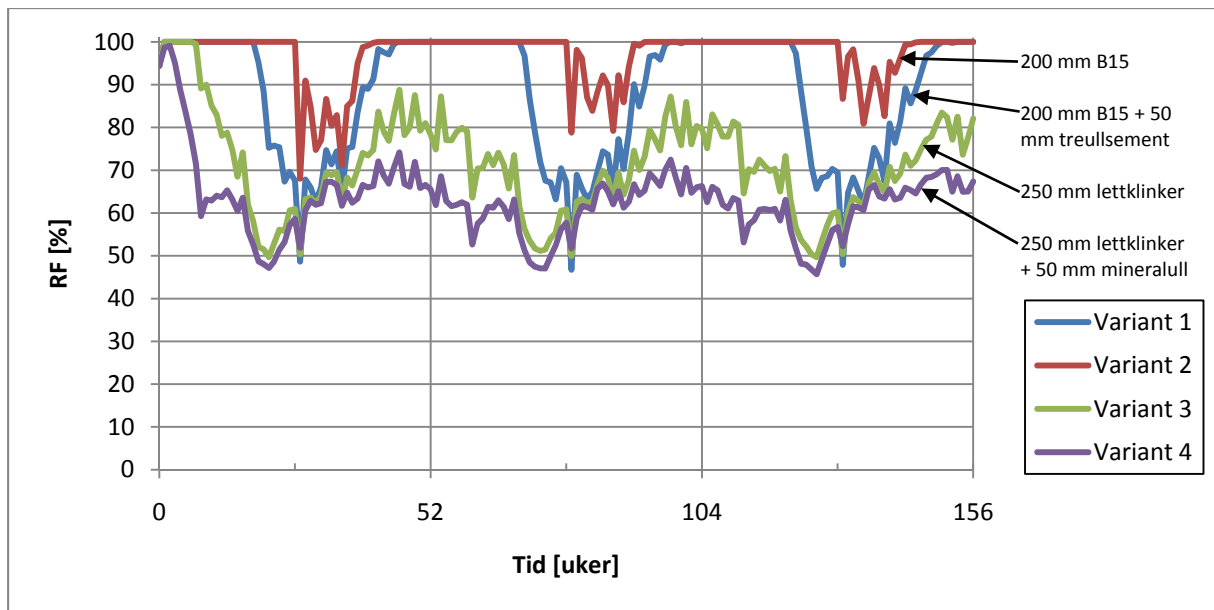
Kumulativ eksponering og muggvekstpotensial er to prinsipielt forskjellige måter å vurdere risiko for muggvekst på. Likheten mellom figur 3.6 og figur 3.7 er imidlertid tydelig. Selv om størrelsesordenen er forskjellig, er proporsjonene meget like for disse figurene. Dette kan underbygge gyldigheten til resultatene, siden to modeller forutsier de samme resultatene. I tillegg kan dette være interessant ved fremtidige numeriske beregninger. Metoden for kumulativ eksponering er enklere å beregne og mindre tidkrevende. For raske overslagsberegninger eller mindre nøyaktige beregninger vil derfor kumulativ eksponering være å foretrekke på grunn av arbeids- og tidsbesparelsen.

På grunn av denne likheten refereres det i hovedsak til muggvekstpotensialet videre i dette kapittelet. Den kumulative eksponeringen ville følgelig gitt lignende resultater.

### 3.4.2 Effekt av grunnmurens varmemotstand med 50 mm innvendig isolering

For beregningsvariant 1 til 4 er det vurdert hvilken effekt varmemotstanden i grunnmuren har for fukt- og temperaturforholdene i sjiktet på innsiden av grunnmursplaten. Denne varmemotstanden har stor betydning for hvor kald flaten blir på vinterstid, og kaldere flater er mer utsatt for kondens.

Figur 3.8 viser RF i grensesjiktet mellom grunnmursplate og mineralull for beregningsvariant 1, 2, 3 og 4.



Figur 3.8: RF for beregningsvariant 1, 2, 3 og 4

#### Variant 1 og 2

Som resultatene i figur 3.8 viser ligger både variant 1 og 2 med en RF opp mot 100 % store deler av året. Dette er helt naturlig å tolke som kondensutslag. Variant 1 og 2 tilsvarer begge en 200 mm betongkonstruksjon, men variant 1 har en 50 mm treullsementplate i tillegg. Resultatene viser at dette ikke isolerer godt nok til å unngå kondensutslag, spesielt i vinterhalvåret. Resultatet av denne vedvarende oppfuktingen er gode vekstvilkår for muggsopp.

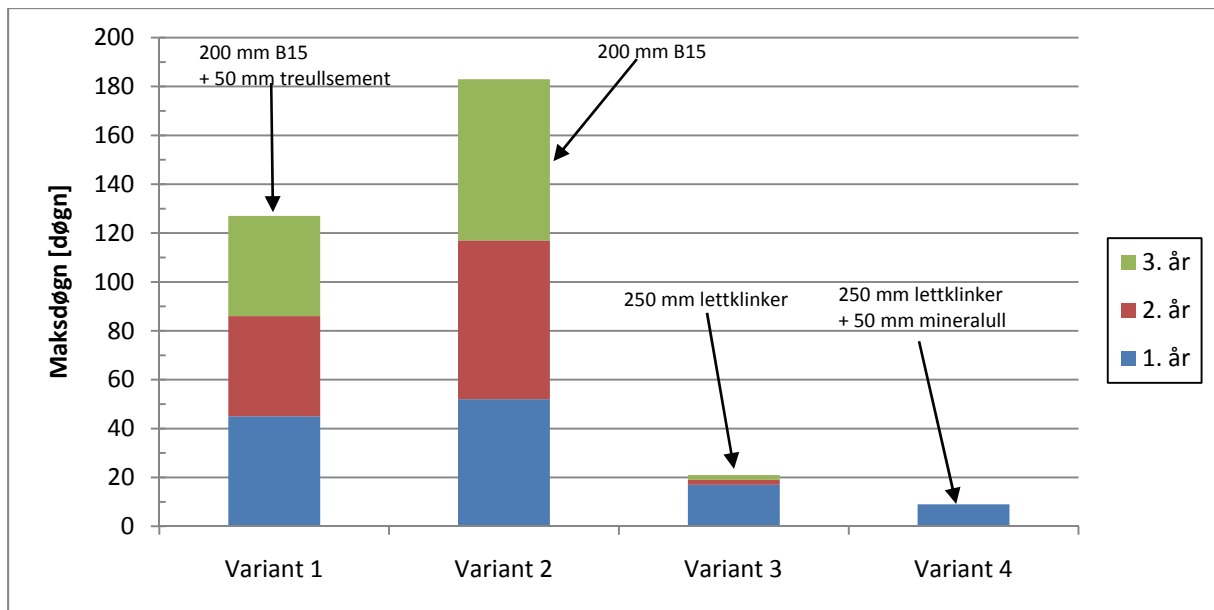
Figur 3.9 viser at muggvekstpotensialet for variant 1 er 127 døgn, og for variant 2 er det 183 døgn. Den konvensjonelle konstruksjonen, som vist på figur 3.5, oppnådde 61 maksdøgn for samme periode. I tillegg viser figuren en stabil eller svakt tiltagende trend for disse variantene. Dette gir klare indikasjoner på at disse to konstruksjonsvariantene vil utsettes for muggsoppangrep over tid.

#### Variant 3 og 4

Variant 3 og 4 tilsvarer 250 mm lettklinkerblokker, men variant 4 har i tillegg 50 mm mineralull. Denne mineralulla kan representere en utvendig isolering, eller isolasjonskjernen i en lettklinkerblokk. Lettklinker har også bedre varmeisolasjonsevne enn betong i tillegg til at konstruksjonen er 50 mm tykkere enn variant 1. Følgelig har variant 3 og 4 en langt bedre varmemotstand enn variant 1 og 2.

Resultatene i figur 3.8 viser at RF for disse variantene ikke ligger opp mot 100 %, og det er derfor ingen kondensutslag. Ut i fra forutsetningene i denne rapporten foregår det ingen muggvekst for RF under 75 %. Variant 4 vil derfor ikke være utsatt for noen muggvekst utover det første året. Variant 3 kan være utsatt for muggvekst i deler av vinterhalvåret. I dette tidsrommet er også temperaturen på det laveste, slik at muggveksten er sannsynligvis begrenset.

En økt varmemotstand i grunnmuren øker temperaturen i sjiktet som betraktes. En økt temperatur reduserer RF, men forbedrer også vekstvilkårene for muggsoppen. Dette betyr at temperaturen har to effekter på muggsoppveksten. Som det kommer frem av figur 3.9 er ikke effekten av den økte temperaturen stor. Variant 3 og 4 har henholdsvis 20 og 9 maksdøgn over en tre års beregningsperiode. Trenden er også raskt avtagende, slik at det er ingen eller meget liten muggsoppvekst etter at byggfukten er tørket ut.



Figur 3.9: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for variant 1, 2, 3 og 4

#### Kommentar

Utforingene i beregningsvariant 1 og 2 vil sannsynligvis utsettes for muggsoppvekst på grunn av den høye oppfuktingen. Konstruksjonsvariant 3 og 4 har på grunn av en høyere isolasjonsverdi ingen kondensutslag i utforingen. Dette fører til en mindre oppfukting, som igjen gir lavere risiko for muggsoppvekst. Disse konstruksjonsvariantene ville sannsynligvis fungert godt under de gitte forutsetningene.

Selv om det er åpenbart at betongkonstruksjoner er mer utsatt for muggsoppangrep enn lettklinker-konstruksjoner er det ikke hensiktsmessig å sammenligne dem direkte. Noe av hensikten med disse beregningene er å kartlegge under hvilke forutsetninger denne utbedringsmetoden fungerer.

Uansett virker det klart at varmemotstanden i grunnmuren har stor betydning for muggveksten på innsiden av grunnmursplaten. Mest mulig av varmemotstanden bør være på kald side av grunnmursplaten for å forhindre muggvekst i utforingen.

#### 3.4.3 Effekt av grunnmurens varmemotstand med 100 mm innvendig isolering

For beregningsvariant 5, 6, 7 og 8 er det benyttet 100 mm innvendig isolasjon i utforingen. Det er med andre ord den samme parameter variasjonen som forrige kapittel, men med 100 mm innvendig isolasjon.

Formålet med å benytte mer isolasjon i utforingen er å redusere varmetapet i konstruksjonen. På den andre siden vil konstruksjonen bli mer utsatt for både kondensutslag og muggsoppvekst ved en økt isolasjonstykkelse.

Noe av formålet med denne parameter variasjonen er å se hvor mye isolasjon som kan plasseres på innvendig side før det oppstår muggvekstproblemer. Fra resultatene i forrige kapittel ble det klart at konstruksjoner med lav varmemotstand i grunnmuren ville blitt utsatt for muggsoppangrep. Ved å vurdere de samme konstruksjonene med 100 mm isolasjon gir resultatet nærmest seg selv. Konstruksjonene vil bli utsatt for ytterligere oppfukting, og risikoen for muggsoppvekst øker tilsvarende.

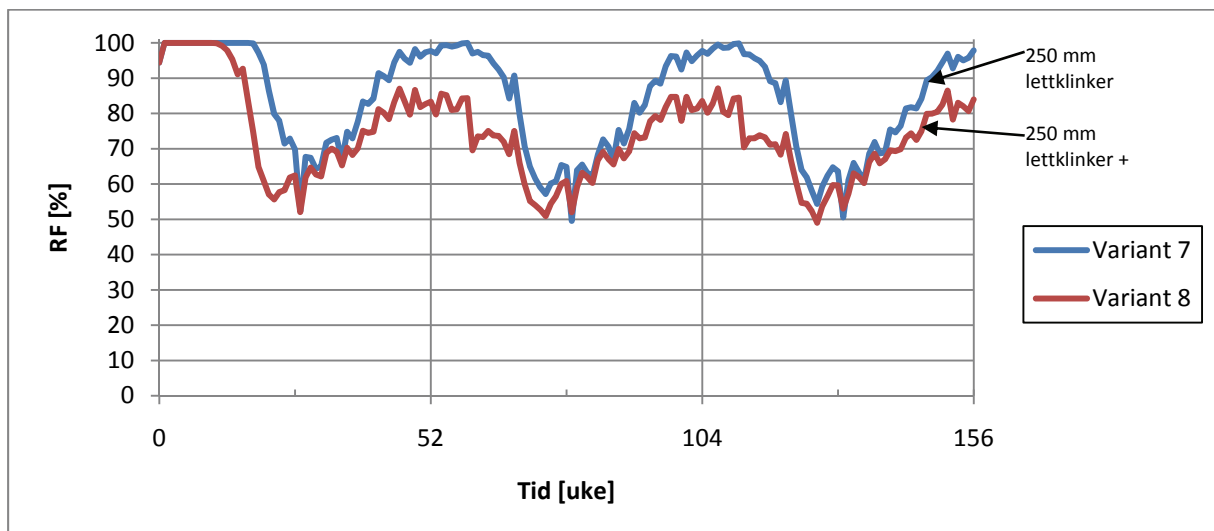
Det er derfor antatt uhensiktsmessig å vurdere muggvekstrisikoen for grunnmurer i betong i detalj her. I bygningsteknikken finnes det imidlertid en løsning som går ut på å trekke fuktfølsomt trevirke noe inn i utforingen, såkalt utklossing. Ved å benytte denne løsningen kan konstruksjonen allikevel få en tilfredsstillende bestandighet mot muggvekst. Dette forutsetter selvsagt at utklossingen lar seg gjøre, og i praksis er dette kun aktuelt for isolasjonstykkelser på 100 mm eller mer. Måten dette modelleres på i WUFI er å flytte målepunktet 1/3 av isolasjonstykkelsen inn i utforingen, i dette tilfellet 30 mm.

#### *Variant 7 og 8*

RF-forløpet for variant 7 og 8 er vist i figur 3.10. Variant 7 og 8 er lettklinker-konstruksjonene. Som resultatene viser er oppfukningen betydelig høyere enn når isolasjonstykkelsen var 50 mm. Dette er selvsagt som forventet siden temperaturen i det betraktete sjiktet er lavere.

Som følge av dette er også konstruksjonene utsatt for en større muggvekstrisiko. Muggvekstpotensialet for begge variantene har økt på grunn av tykkere innvendig isolasjon. Variant 7 har over tre år blitt eksponert for 112 maksdøgn med muggvekst. Trenden viser også at veksten av muggsopp foregår jevnt over de tre årene. Muggveksten er med andre ord ikke tydelig redusert etter at initialfukten er tørket ut. På sikt fører dette trolig til skadelig muggsoppvekst.

Variant 8 har også en økning i antall maksdøgn muggsoppvekst, men økningen er liten. For beregningsperioden på tre år er denne varianten utsatt for totalt 36 maksdøgn. Igjen viser resultatene at mesteparten av muggsoppveksten for denne varianten foregår det første året. Dette medfører at denne varianten vil ha liten risiko for videre muggsoppangrep over tid. Denne konstruksjonsvarianten vil sannsynligvis fungere godt med 100 mm innvendig isolasjon.



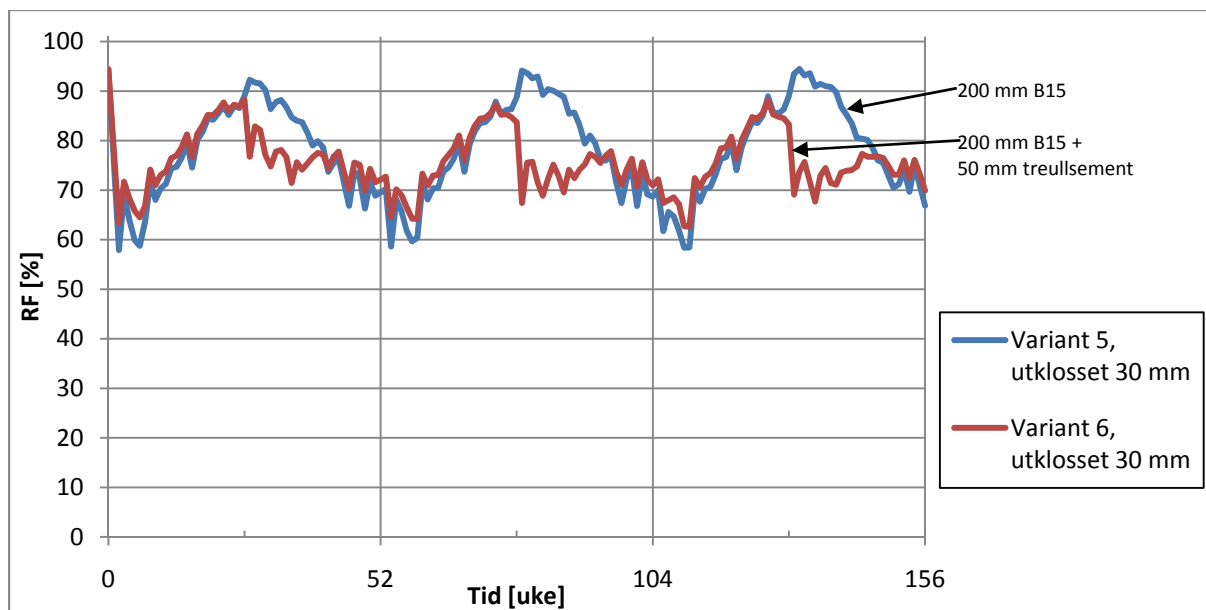
**Figur 3.10: RF for beregningsvariant 7 og 8**

#### *Variant 5 og 6 utklosset*

Sjiktet innenfor grunnmursplaten er kraftig oppfuktet store deler av året. Uten mer detaljerte vurderinger kan det fastslås at disse variantene vil være utsatt for kraftige muggsoppangrep i dette sjiktet.

Ved å trekke inn stenderverket 30 mm vil trevirket skånes for de kraftigste oppfuktingene. RF for variant 5 og 6 utlektet 30 mm er vist i figur 3.11.





Figur 3.11: RF for beregningsvariant 5 og 6, utklosset 30 mm

Fuktsitasjonen bare 30 mm inn i utforingen er langt bedre enn ved grunnmursplaten. Muggsoppangrep på trevirket vil utvilsomt være mindre i en utklosset utforing. Muggsopp kan imidlertid etablere seg på de fleste overflater. Det er derfor en risiko for at muggsopp kan etablere seg mellom grunnmursplaten og isolasjonen selv om det ikke er trevirke til stedet. Overflatens beskaffenhet vil imidlertid være av betydning for hvordan muggsoppen trives. Plastflater og mineralull er ikke flater som muggsopp trives godt på.

Det er derfor vanskelig å vurdere hvor det mest kritiske snittet i konstruksjonen er. Rett innenfor grunnmursplaten er det beregnet totalt 220 maksdøgn for variant 5, og 164 maksdøgn for variant 6. På plast vil vekstraten være mindre, og antall maksdøgn er nødvendigvis ikke representativt for de utklossede variantene.

Skal det benyttes 100 mm innvendig isolasjon med denne grunnmursoppbygningen må stenderverket utklosses.

#### Kommentar

Også i dette kapittelet er det vist at varmemotstanden i grunnmuren er av avgjørende betydning for hvor utsatt konstruksjonen er for muggsoppangrep. Følgende betraktninger kan gjøres:

- Tykkelsen på innvendig isolering må vurderes i sammenheng med varmemotstanden i grunnmuren
- Kravet til god varmemotstand i grunnmuren øker med tykkelsen på innvendig isolasjon
- 100 mm med innvendig isolasjon bør kun brukes der grunnmuren har god varmemotstand
- For grunnmurer med lav varmemotstand må utklossede utforinger benyttes

### 3.4.4 Effekt av grunnmurens varmemotstand med 100 mm innvendig isolering og lavt fukttilskudd

Det er viktig å merke seg at alle vurderingene i denne rapporten blir gjort på grunnlag av de forutsetningene som ligger i bunn. I forrige kapittel var det forutsatt et fukttilskudd på  $4 \text{ g/m}^3$ . Som resultatene viste vil mange konstruksjoner kunne bli utsatt for muggsoppvekst med 100 mm innvendig isolasjon.

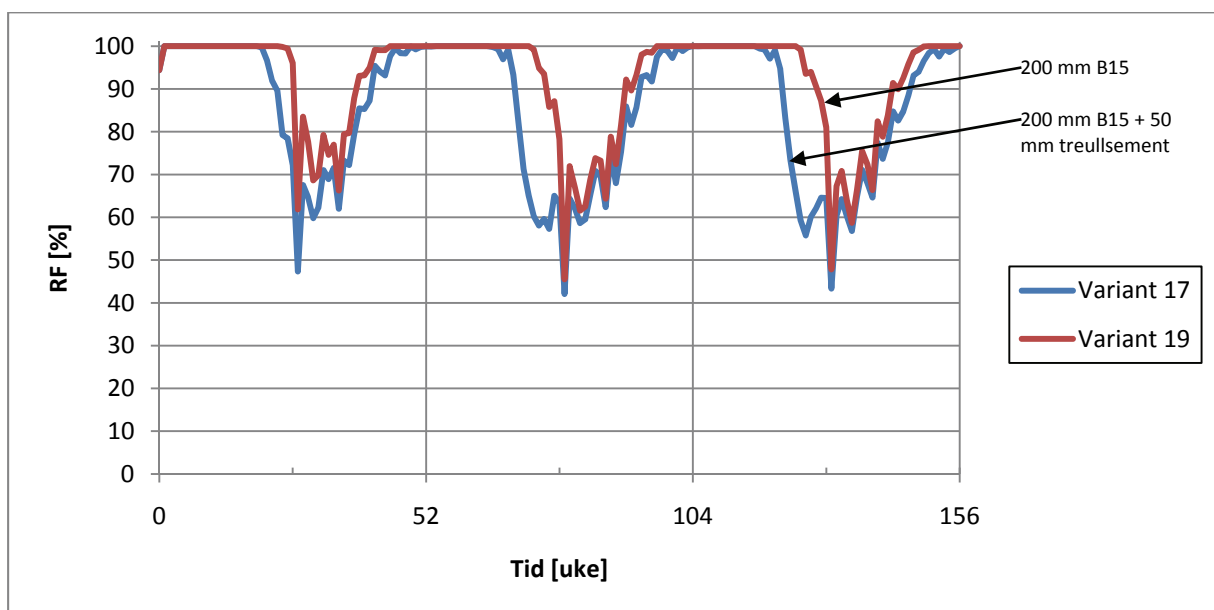
Et fukttilskudd på  $4 \text{ g/m}^3$  er imidlertid en dimensjoneringsverdi, og er ikke nødvendigvis representativt for en gjennomsnittlig kjeller. I [3] ligger *gjennomsnittsverdien* for en norsk kjeller rundt et fukttilskudd på  $2,2 \text{ g/m}^3$ , som sannsynligvis er en mer realistisk verdi og følgelig vil gi mer realistiske resultater. Klassifikasjonen kjeller kan imidlertid ha et vidt spenn. Det kan variere fra fuktige råkjellere til fullt innredede oppholdsrom. På samme måte kan fukttilskuddet i en kjeller ha et vidt spenn.

I dette kapittelet skal det vurderes hvordan grunnmurens varmemotstand påvirker RF og muggsoppvekst når det er 100 mm innvendig isolasjon og lavt fukttilskudd. Dette er derfor den samme vurderingen som ved forrige kapittel, men med et fukttilskudd på  $2,5 \text{ g/m}^3$ . Denne vurderingen kan derfor være mer relevant for tørre oppholdsrom.

I dette kapittelet vurderes beregningsvariant 17, 19, 20 og 21.

#### Variant 17 og 19

Variant 19 har en grunnmursoppbygning med 250 mm betong, og variant 17 har 50 mm treullsement i tillegg til dette. RF-forløpet for beregningsvariant 17 og 19 er vist i figur 3.12.



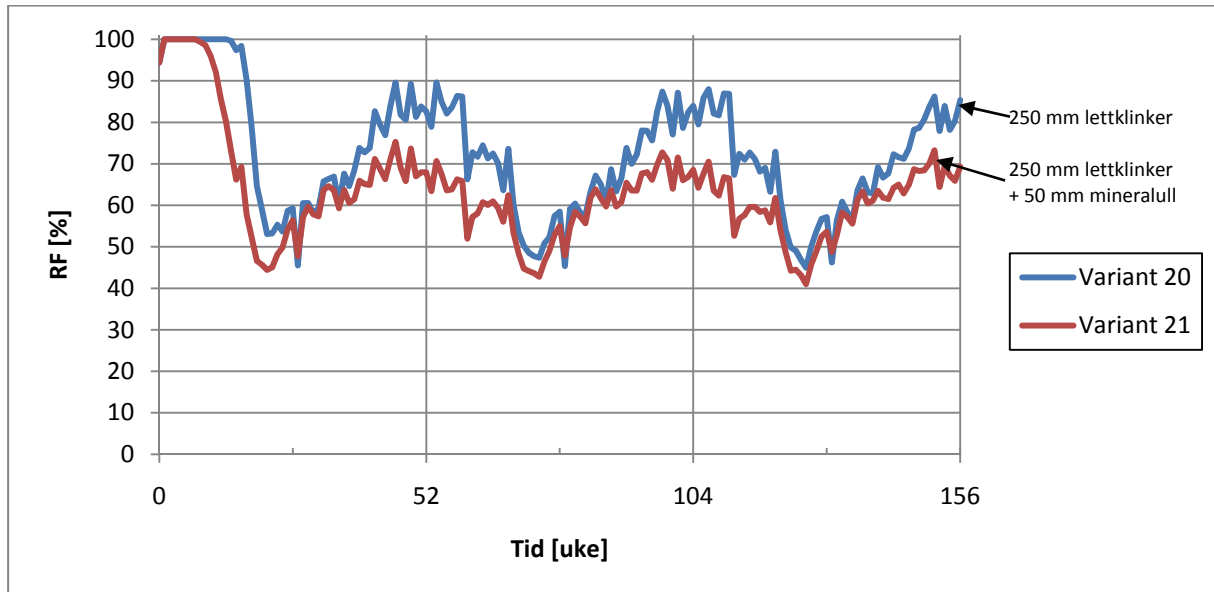
Figur 3.12: RF for beregningsvariant 17 og 19

Figuren viser at begge variantene utsettes for kondensutslag i vinterhalvåret. Den største forskjellen sammenlignet med varianten med høyt fukttilskudd er uttørkingen i sommerhalvåret. Et lavere damptrykk i innelufta forbedrer uttørkingsevnen innover i konstruksjonen. Dette vises godt i sommerhalvåret da begge variantene tørker ut til en RF på under 75 %. Under 75 % er det antatt at det ikke forekommer muggvekst.

Figur 3.14 viser antall maksdøgn med muggsoppvekst disse variantene utsettes for i denne perioden. For variant 17 og 19 er dette henholdsvis 88 og 106 maksdøgn. Sett i forhold til varianten med fuktilskudd på  $4 \text{ g/m}^3$  er dette omtrent en halvering. Referanseverdiene i tabell 3.2 er 61 maksdøgn. Dette betyr at selv med en halvering i muggveksten kan fortsatt disse konstruksjonene være utsatt for muggsoppangrep.

#### Variant 20 og 21

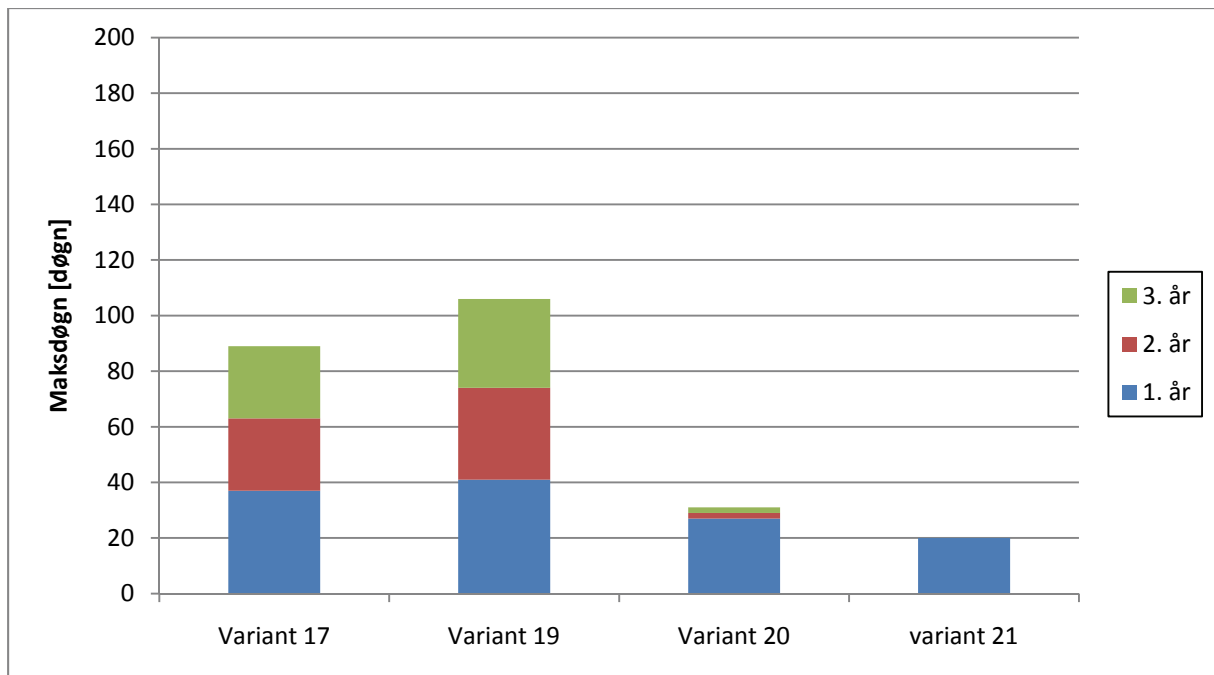
For variant 20 og 21, lettklinker-konstruksjonene, ser man en lignende effekt som ved variant 17 og 19. Oppfuktingen er mindre i vinterhalvåret, og uttørkingen går raskere i sommerhalvåret. RF for variant 20 og 21 er vist i figur 3.13.



Figur 3.13: RF for beregningsvariant 20 og 21

For variant 21 vil ikke RF overskride 75 % etter at byggfukten er tørket ut. Denne konstruksjonen vil ikke utsettes for muggsoppangrep. Variant 20 er fuktet opp til rundt 80 – 90 % RF på vinterstid, men da er også temperaturen på det laveste, og muggveksten er meget begrenset.

Som vist på figur 3.14 har variant 20 og 21 henholdsvis 31 og 20 maksdøgn med muggsoppvekst. Veksten er imidlertid raskt avtagende og disse konstruksjonene vil ikke utsettes for muggsoppvekst utover det første året.



Figur 3.14: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for variant 17, 19, 20 og 21

#### Kommentar

Som resultatene viser fører et redusert fukttilskudd til en tydelig reduksjon i muggvekstrisikoen. Dette indikerer at det kan være hensiktsmessig å ta med kjellerens bruksmønster i vurderingen av hvor tykk isolasjon konstruksjonen tåler. Resultatene viser at:

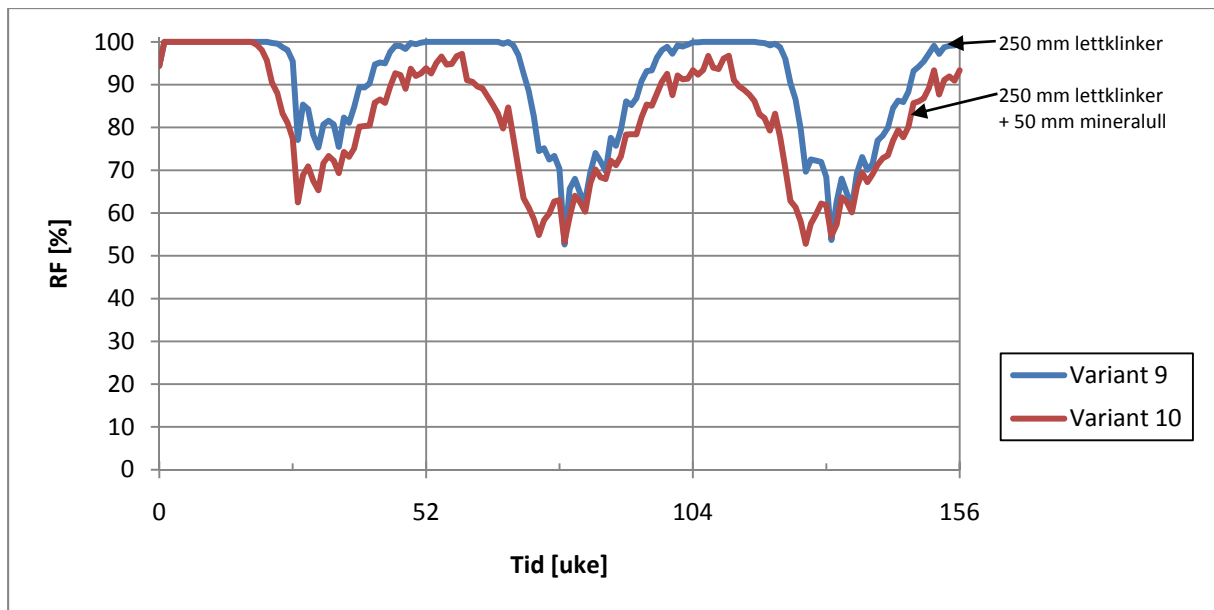
- Risikoen for muggvekst reduseres ved lavere fukttilskudd
- Konstruksjoner med lav varmemotstand (variant 17 og 19) vil være utsatt for muggvekst når det benyttes 100 mm innvendig isolasjon, selv med et redusert fukttilskudd.
- Konstruksjoner med høy varmemotstand (variant 20 og 21) kan fungere godt med 100 mm innvendig isolasjon, gitt lavt fukttilskudd.

#### 3.4.5 Effekt av grunnmurens varmemotstand med 150 mm innvendig isolering

Det er også vurdert to beregningstilfeller med 150 mm innvendig isolasjon. 150 mm isolasjon vil i beste fall kun være aktuelt for grunnmurer med høy varmemotstand. Hensikten med disse beregningene er å se hvor mye isolasjon som kan plasseres på innsiden av grunnmursplaten. Fra kapittel 3.4.3 kom det frem at en grunnmur med varmemotstand som tilsvarer 250 mm lettklinker, vil med 100 mm isolasjon få problemer med muggsoppvekst. Det er derfor tvilsomt at en slik konstruksjon vil fungere spesielt godt med 150 mm isolasjon. Beregningsvariantene som er vurdert er variant 9 og 10.

#### Variant 9 og 10

RF-forløpet for variant 9 og 10 er vist i figur 3.15. Begge variantene er utsatt for kraftig oppfukning på vinterstid. Variant 9 utsettes for 144 maksdøgn over tre år, med en svakt avtagende trend. Denne konstruksjonen vil sannsynligvis bli angrepet av muggsopp. Variant 10 utsettes for 90 maksdøgn i samme periode, med avtagende trend. Etter det første året har disse variantene omtrent den samme muggveksten som referansekonstruksjonen. Dette er et grensetilfelle, og hvorvidt det dannes skadelig muggsoppvekst over tid er vanskelig å vurdere. I et tørt miljø kan det tenkes at denne konstruksjonen kan fungere greit.



Figur 3.15: RF for beregningsvariant 9 og 10

#### Kommentar

For å kunne bruke 150 mm med innvendig isolasjon må det stilles krav til god varmeisolasjon i grunnmuren. Det kan argumenteres med at hvis det er påkrevd mye isolasjon i grunnmuren for å bruke 150 mm isolasjon i utforingen, vil det heller ikke være nødvendig med 150 mm isolasjon i tillegg. Det må også forutsettes et tørt inneklima for at slike isolasjonstykkelser skal kunne brukes.

På grunn av den betydelige risikoen for muggsoppvekst ved de aller fleste vanlige konstruksjonsoppbygninger, vil det ikke være tilrådelig å anbefale 150 mm innvendig isolasjon under disse forutsetningene.

#### 3.4.6 Effekt av dampmotstand i innvendig kledning

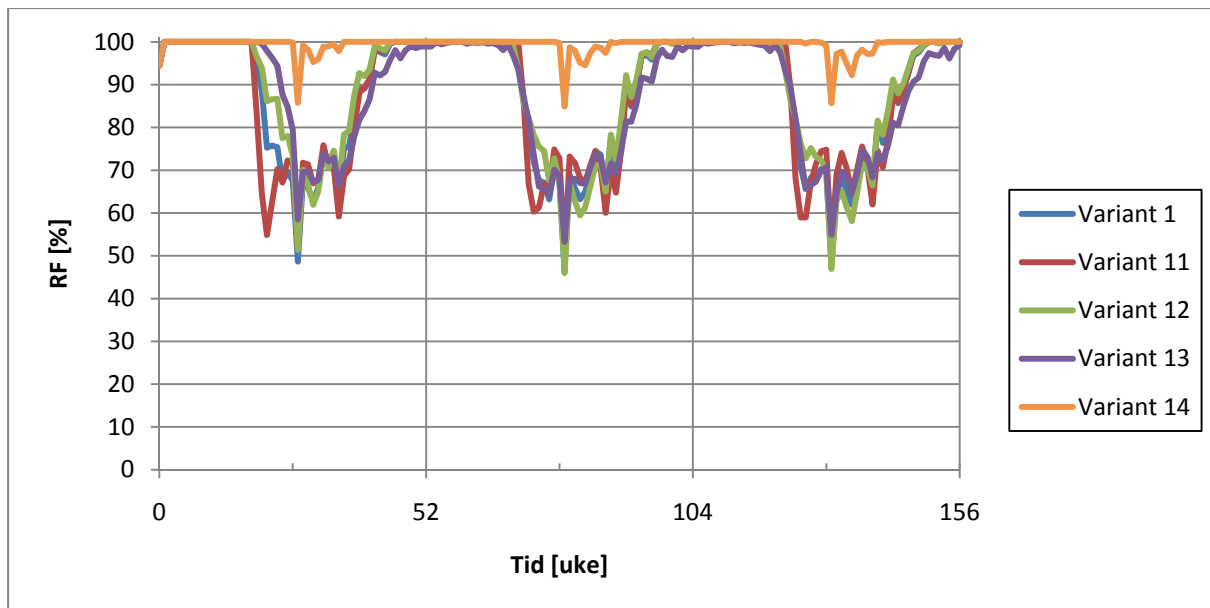
Dampmotstanden i den innvendige kledningen påvirker både uttørkingen og oppfuktingen av utforingen. I utgangspunktet vil det være gunstig med en høy dampmotstand for å forhindre oppfukting på vinteren. Men materialene som er brukt i utforingen kan ikke antas å være tørre i utgangspunktet. Uttørkingen av denne byggfukten vil gå meget seint ved bruk av høy dampmotstand. I dette tidsrommet kan muggsopp etableres.

De variantene som vurderes i dette kapitlet er beregningsvariant 11, 1, 12, 14 og 13. Disse variantene representerer henholdsvis en innvendig  $S_d$ -verdi på 0,5 m, 1,0 m, 2,0 m, 70 m og variabel dampmotstand.

#### Variant 1, 11 og 12

Disse tre variantene er å anse som dampåpne kledninger. Forskjellen i dampmotstand kan skrives til forskjellige overflatebehandlinger. Dampmotstanden for disse variantene er 0,5 m, 1,0 m og 2,0 m, det vil si en faktor to i forskjell mellom disse.

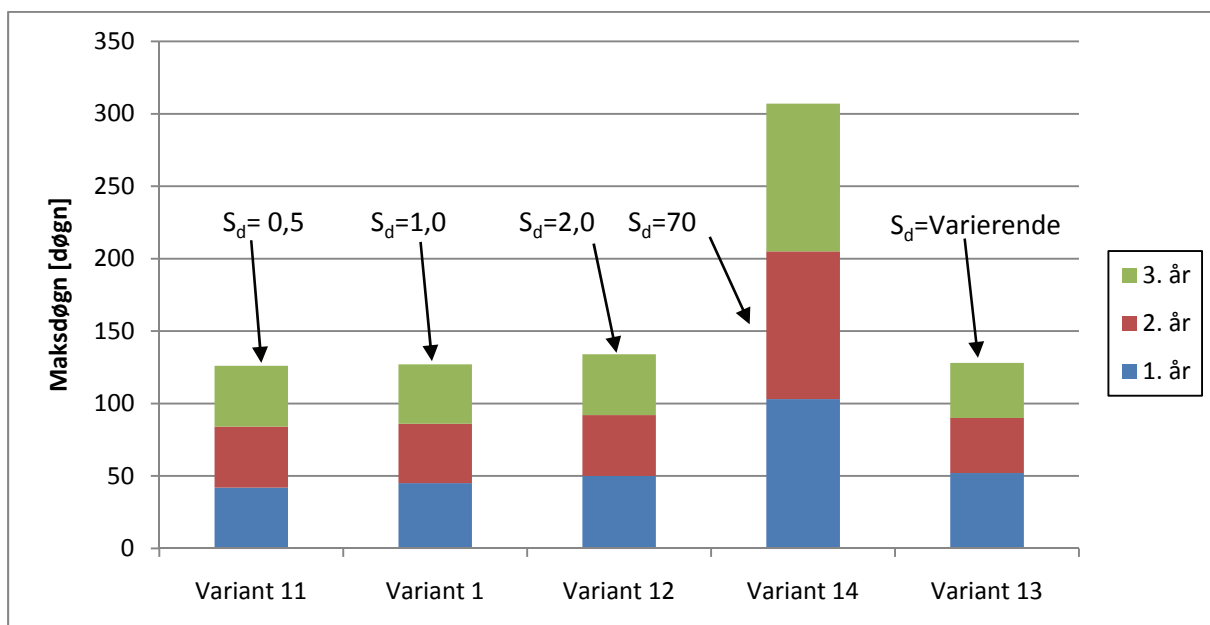
RF for disse variantene er vist på figur 3.16. Som figuren viser er uttørkingsforløpet for disse variantene meget like. En interessant observasjon er hvordan byggfukten tørker ut det første året. Av figuren kommer det frem at utforingen tørker ut raskere jo mer dampåpen kledningen er. Dette er som forventet, siden lavere dampmotstand gir bedre mulighet for uttørking av byggfukt. For den øvrige delen av beregningsperioden er forløpet mer eller mindre identisk.



Figur 3.16: RF for beregningsvariant 1, 11, 12, 13 og 14

Av figur 3.17 kommer det frem at det også er liten forskjell i antall maksdøgn mellom disse variantene. Variant 11, 1 og 12 har henholdsvis 125, 127 og 134 maksdøgn med muggsoppvekst. Etter at byggfukten er tørket ut det første året har disse variantene nær sagt identisk antall maksdøgn. Dette medfører at den totale forskjellen i antall maksdøgn kan tilskrives det første året.

Dette er også i god overensstemmelse med tolkningen av figur 3.16. Dette tyder på at dampmotstanden i dampåpne kledninger først og fremst har betydning for uttørkningstiden av byggfukten. Etter det første året er det ikke påvist forskjeller mellom disse variantene av betydelig grad.



Figur 3.17: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 11, 12, 13 og 14

### *Variant 13*

Variant 13 er utført med en dampbrems med variabel dampmotstand mellom isolasjon og innvendig kledning. Denne dampbremsen vil ha en  $S_d$ -verdi på 3,5 m ved en RF på 30 % og en  $S_d$ -verdi på 1 m ved en RF på 70 %. Formålet med denne type dampbrems er at oppfuktingen skal gå seinere på vinteren og uttørkingen skal gå raskere på sommeren.

I figur 3.16 er RF for denne beregningsvarianten vist. Som forventet viser figuren at oppfuktingen går noe seinere på vinteren, og det er antydning til at uttørkingen går litt raskere på sommeren. Forskjellen mellom denne varianten og de dampåpne variantene med konstant dampmotstand er imidlertid liten.

Som vist på figur 3.17, har denne varianten omtrent samme antall maksdøgn med muggvekst som de andre dampåpne variantene. Denne varianten har noe seinere uttørking av initialfukt, men noe lavere fuktbelastning den øvrige delen av beregningsperioden. Resultatene viser at denne varianten derfor har en noe større andel av muggveksten i det første året, i forhold til de andre variantene. For resten av beregningsperioden ligger muggveksten noe under de andre variantene. Dette er gunstig med tanke på muggveksten, men disse forskjellene er imidlertid veldig små.

Effekten av variabel dampmotstand vises i resultatene. Sammenlignes disse resultatene med de andre dampåpne variantene, er forskjellen imidlertid meget liten. Det er uventet at denne forskjellen ikke er større enn det som kommer frem her. Dette kan simpelthen skyldes at dampmotstanden ikke varierer nok for RF i dette modellerte innklimaet.

### *Variant 14*

Variant 14 er modellert med 0,15 mm PE-folie mellom isolasjon og innvendig kledning. Dette tilsvarer omtrent en  $S_d$ -verdi på 70 m. Dette vil bryte med prinsippet om å ikke plassere organisk materiale mellom to damptette sjikt.

RF for variant 14 er vist i figur 3.16. Som figuren viser er denne varianten kontinuerlig kraftig oppfuktet. Åpenbart fører den høye dampmotstanden til at fuktigheten ikke kan tørke ut. Som følge av denne kraftige oppfuktingen vil denne konstruksjonen utvilsomt bli utsatt for muggsoppangrep.

Dette kommer også klart frem av figur 3.17. Over denne treårsperioden vil variant 14 utsettes for 306 maksdøgn med muggsoppvekst. Det er den kraftigste muggveksten av alle beregningsvariantene som er vurdert. Veksten av muggsopp er også jevnt fordelt over hele beregningsperioden, uten noen tegn til at veksten reduseres. Det er derfor åpenbart at bruk av innvendig dampspærre må frarådes, grunnet høy risiko for muggvekst.

### *Kommentar*

Beregningene for de dampåpne kledningene gav ingen tydelige resultater. For innvendige dampmotstander i størrelsen 0 til 3,5 m er forskjellene så små at de kommer inn under usikkerhet og avrundingsfeil.

Det er kjent fra tidligere studier at innvendig dampmotstand har betydning for innadrettet uttørking. Dette beregningstilfellet er imidlertid ingen rendyrket uttørkingssituasjon. Utføringen er i like stor grad også utsatt for oppfukting. I tillegg vil en varierende temperatur påvirke RF i utføringen. Disse beregningene er derfor ikke direkte sammenlignbare med rene uttørkingssituasjoner.

For situasjonen med innvendig dampspærre er resultatene imidlertid langt mer tydelige. Høy vedvarende oppfukting på grunn av dårlig uttørkingsevne, gjør denne konstruksjonsvarianten meget utsatt for muggvekst. Innvendig bruk av dampspærre må frarådes.

### 3.4.7 Effekt av fukttilskudd

I dette kapittelet vurderes effekten av fukttilskuddet i innelufta. Det er vurdert et lavt, middels og høyt fukttilskudd. I tillegg er det vurdert to isolasjonstykkelser sammen med disse fukttilskuddene. Totalt seks beregningsvarianter er vurdert i dette kapittelet; 1, 6, 15, 16, 17 og 18.

I disse beregningene er varmemotstanden i grunnmuren ikke variert. Konstruksjonsoppbygningen tilsvarer 200 mm betong med en innstøpt 50 mm treullsementplate. Som vist tidligere vil ikke denne konstruksjonsoppbygningen ha en tilfredsstillende bestandighet mot muggsoppangrep med 100 mm innvendig isolasjon, selv med et lavt fukttilskudd.

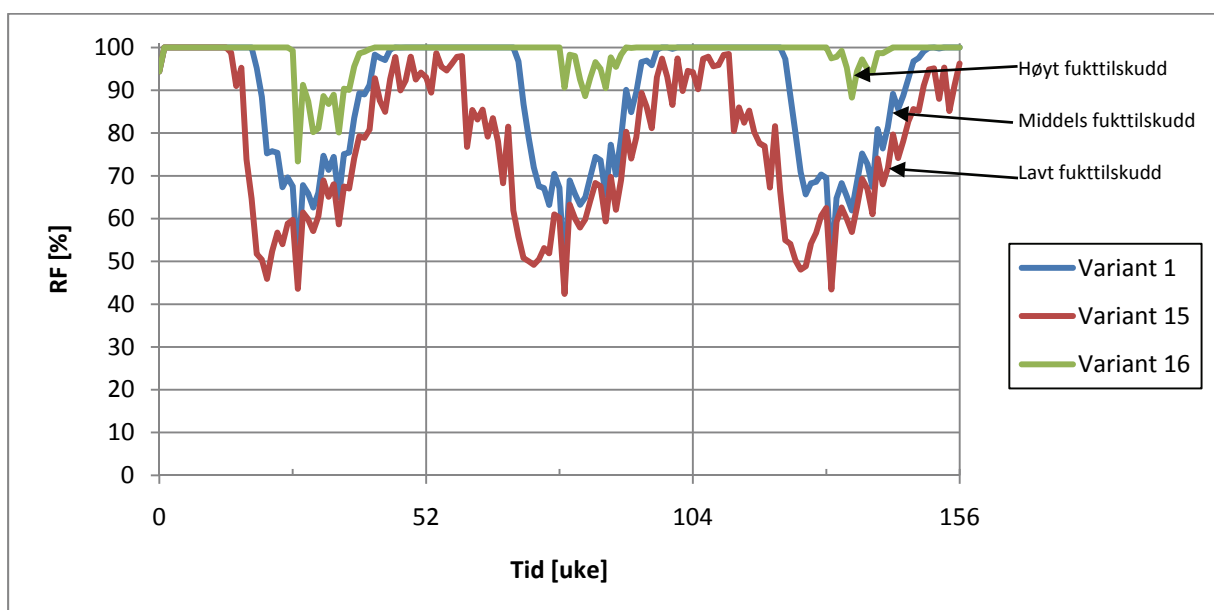
Hvorvidt konstruksjonen utsettes for muggsoppangrep avhenger av en rekke faktorer, deriblant fukttilskuddet. Formålet med disse beregningene er først og fremst å påvise hvor stor effekt dette fukttilskuddet har på muggsoppveksten. Det er tidligere påvist at denne konstruksjonstypen er utsatt for muggsoppangrep, og dette vurderes derfor ikke videre i detalj.

#### Variant 1, 15 og 16

Disse variantene er modellert med 50 mm innvendig isolasjon. Variant 15, 1 og 16 har henholdsvis lavt, middels og høyt fukttilskudd, som beskrevet i kapittel 3.2.4.

Siden varmemotstanden i grunnmuren er relativt lav, forventes det at oppfuktingen vil være høy jamfør kapittel 3.4.2. RF for variant 1, 15 og 16 er vist på figur 3.18. Effekten av det varierende fukttilskuddet kommer tydelig frem av resultatene. Som figuren viser påvirker fukttilskuddet både oppfukting og uttørking av utforingen. Variant 15 har en oppfukting i vinterhalvåret som går betraktelig seinere enn de to andre variantene. Forskjellen er enda større for sommerhalvåret der uttørkingen for denne varianten går langt raskere enn de to andre variantene.

Konstruksjonsoppbygningen er nøyaktig den samme for disse variantene, slik at forskjellene i RF og muggsoppvekst kan tilskrives fukttilskuddet. Det er derfor noe uventet at det er så store forskjeller mellom beregningsvariantene. Ved et fukttilskudd på  $2,5 \text{ g/m}^3$  viser konstruksjonene gode uttørkningsegenskaper, og for hele sommerhalvåret ligger RF under 75 %. I motsatt tilfelle, med et fukttilskudd på  $6 \text{ g/m}^3$ , er utforingen kontinuerlig kraftig oppfuktet og resultatene viser også antydninger til fuktakkumulasjon.

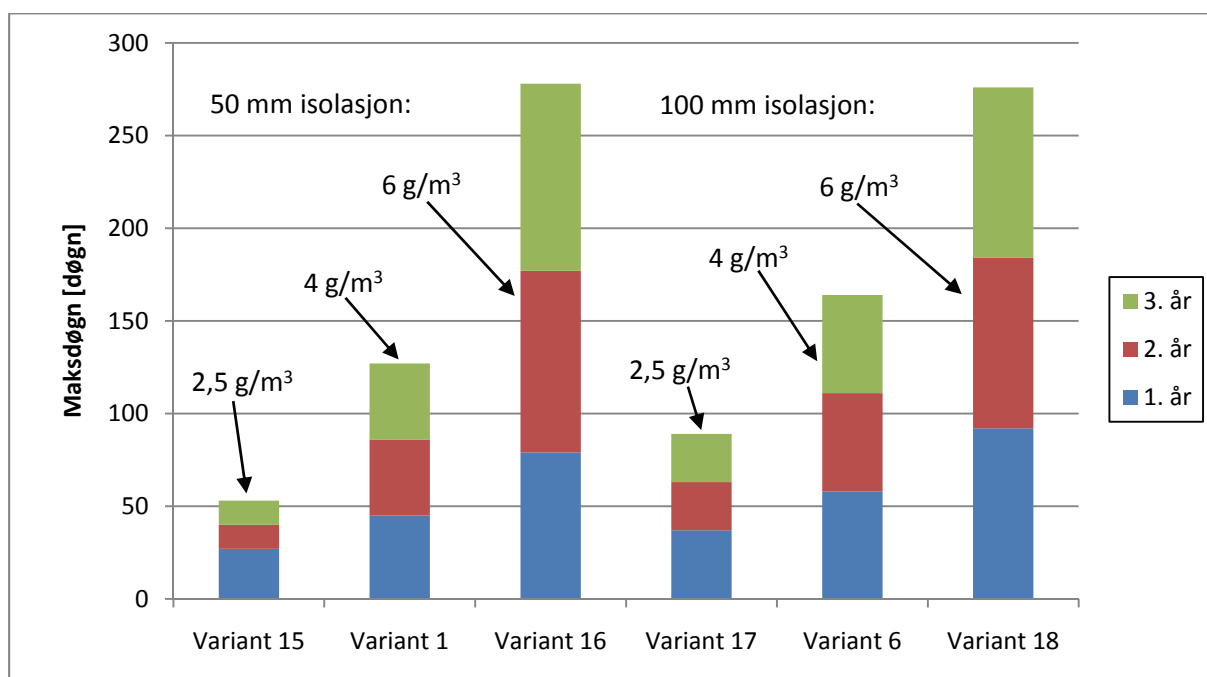


Figur 3.18: RF for beregningsvariant 1, 15 og 16



Disse resultatene bekreftes også av figur 3.19. Denne figuren viser at variant 15, 1 og 16 har henholdsvis 52, 127 og 278 maksdøgn med muggsoppvekst for denne beregningsperioden. Variant 16 har også en tiltagende muggsoppvekst. Denne varianten vil utvilsomt bli kraftig angrepet av muggsopp, og bør unngås.

Varianten med høyt fuktilskudd har over fem ganger så kraftig muggvekst som varianten med lavt fuktilskudd. Dette gir klare indikasjoner på at fuktilskuddet i innelufta har stor betydning for muggveksten i utforingen. Fuktilskuddet er derfor en viktig parameter ved vurdering av egnetheten til denne utbedringsmetoden. Resultatene tyder på at denne type utbedringsmetode er uegnet for rom med høy fuktbelastning.



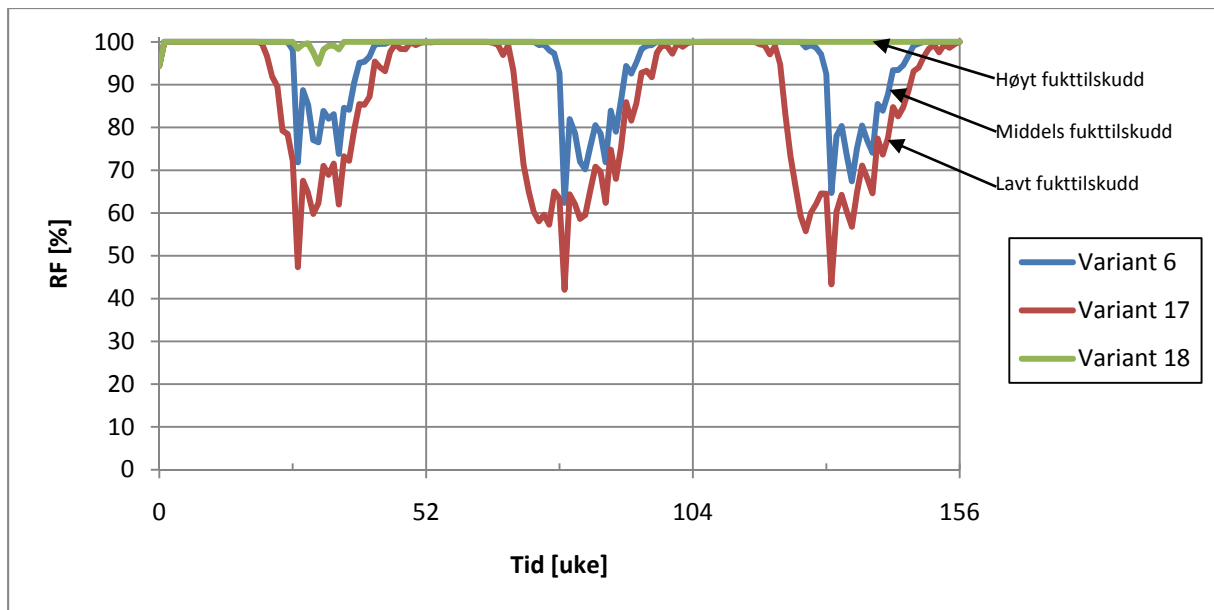
Figur 3.19: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 6, 15, 16, 17 og 18

#### Variant 6, 17 og 18

Disse variantene er modellert med 100 mm innvendig isolasjon. Variant 17, 6 og 18 har henholdsvis lavt, middels og høyt fuktilskudd.

Figur 3.20 viser RF for variant 6, 17 og 18. RF-forløpet ligner variantene med 50 mm innvendig isolasjon, men er generelt litt mer oppfuktet. Som tilsvarende undersøkelser for isolasjonstykkelsen har vist, øker oppfuktingen ved økende isolasjonstykkelse. Dette er relatert til en lavere temperatur i sjiktet mellom grunnmurplate og isolasjon, og følgelig en høyere RF. Disse beregningene viser også at fuktilskuddet er en viktig parameter for RF i utforingen.

Variant 18 er meget kraftig oppfuktet. Av figuren vises tegn på at fukt vil bli akkumulert over flere år. Denne konstruksjonstypen vil derfor sannsynligvis gi opphav til skadelig muggsoppvekst.



**Figur 3.20: RF for beregningsvariant 6, 17 og 18**

Akkurat som ved en innvendig isolasjon på 50 mm er muggsoppveksten sterkt avhengig av fukttilskuddet, som vist på figur 3.19. Denne figuren viser en lignende sammenheng mellom fukttilskudd og antall maksdøgn.

Sammenlignes variant 16 fra figur 3.18 med variant 18 fra figur 3.20 kan det sees at begge variantene er kraftig oppfuktet, men variant 18 er noe mer oppfuktet på sommeren. Sammenlignes de samme variantene i figur 3.19 kommer det frem at variant 16 har 278 maksdøgn, mens variant 18 har 275 maksdøgn. Dette er uventet siden man ville anta at variant 18 har flest maksdøgn, siden denne varianten har den høyeste oppfuktingen.

Forklaringen på dette skyldes temperaturen i det sjiktet RF måles i. RF for begge variantene ligger stort sett over 95 %, der veksthastigheten som funksjon av RF er lik en. Antall maksdøgn med muggvekst vil derfor kun være avhengig av temperaturen i sjiktet. Siden variant 18 har 100 mm innvendig isolasjon er temperaturen også lavere. Følgelig vil variant 18 oppnå noen mindre maksdøgn enn variant 16. Forskjellene er imidlertid små, og begge variantene vil kunne utsettes for muggsoppangrep.

#### *Kommentar*

Resultatene viser at:

- RF i utforingen avhenger av fukttilskudd i innelufta
- Muggvekst i utforingen avhenger sterk av fukttilskudd i innelufta
- For å unngå muggsoppkader er det en forutsetning at fukttilskuddet holdes lavt

Som resultatene viser vil rom med høye fukttilskudd sannsynligvis utsettes for muggsoppkader. Denne utbedringsmetoden vil derfor ikke være godt egnet for kraftig fuktbelastede rom som bad og vaskerom.

Også vanlige bruksom vil ha nytte av å ha et minst mulig fukttilskudd for å redusere muggvekstrisikoen. Tiltak som lett lufting på vinterstid, samt redusering av klestørking og lignende vil være effektive tiltak for å redusere risikoen.

For at dette utbedringstiltaket skal være hensiktsmessig å utføre må kjellerens bruksområde vurderes. Disse resultatene viser at det er flere faktorer som spiller en rolle for muggvekst i utforingen. Fukttilskuddet viser seg å være en av de viktigste parametrene som styrer dette. Derfor er det viktig å bestemme kjellerens bruksområde før denne løsningen kan anbefales. Denne løsningen er ikke eget ved høye fuktbelastninger.

### 3.4.8 Effekt av utvendig klima

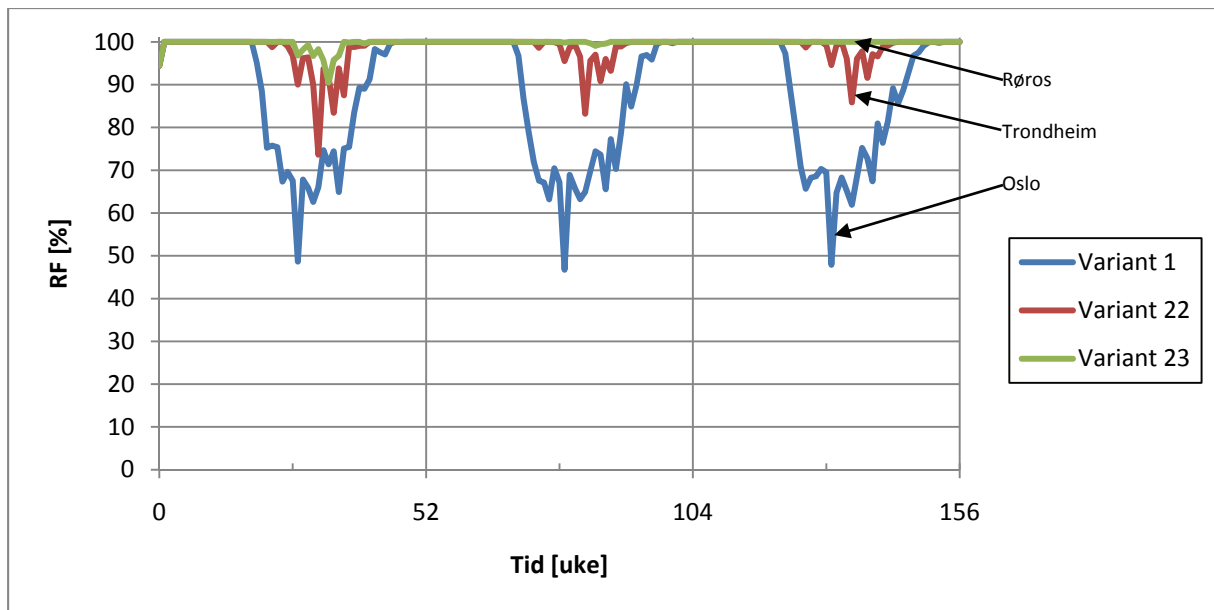
I denne rapporten er det vurdert tre ulike uteklima som er karakteristisk for Oslo, Trondheim og Røros. I dette kapittelet vurderes beregningsvariant 1, 22 og 23 som tilsvarer henholdsvis Oslo-, Trondheims- og Rørosklima. I tillegg er beregningsvariant 24 vurdert, som er modellert med Rørosklima og 100 mm innvendig isolasjon.

#### *Variant 1, 22 og 23*

RF-forløpet for variant 1, 22 og 23 er vist i figur 3.21. Resultatene viser at uteklimaet påvirker RF i utforingen i stor grad. Dette skyldes i hovedsak to faktorer. For det første vil uteluftas fuktinnhold påvirke inneluftas fuktinnhold, siden innelufta modelleres ved fukttilskudd. Det vil si uteluftas fuktinnhold pluss fukttilskuddet gir inneluftas fuktinnhold. Et fuktig klima gir derfor fuktig inneluft. Som vist i kapittel 3.4.7 har inneluftas fuktinnhold stor betydning for både RF og muggsoppvekst i utforingen.

Den andre faktoren som påvirker RF i utforingen er utetemperaturen. Ved konstant fuktinnhold gir som kjent lavere temperatur høyere RF. Konstruksjonen som er benyttet i disse beregningene er standardkonstruksjonen med 200 mm betong med innstøpt 50 mm treullsementplate. Denne konstruksjonen har relativt lav varmemotstand, og temperaturen på innsiden av grunnmursplaten vil i stor grad bestemmes av utetemperaturen.

Osloklimaet, som kjennetegnes ved at det er tørt og relativt kjølig, har et langt tørrere RF-forløp på sommeren sammenlignet med de to andre variantene. Dette kan forklares ved de samme to faktorene som er beskrevet ovenfor. Trondheimsklimaet er kystnært og er noe mildere enn Osloklimaet. Det har generelt en langt høyere RF over hele året, som forklarer hvorfor oppfuktingen i utforingen er høyere. Rørosklimaet er kjennetegnet ved at det er et meget kjølig innenlandsklima. Dette forklarer de kraftige kondensutslagene store deler av året.



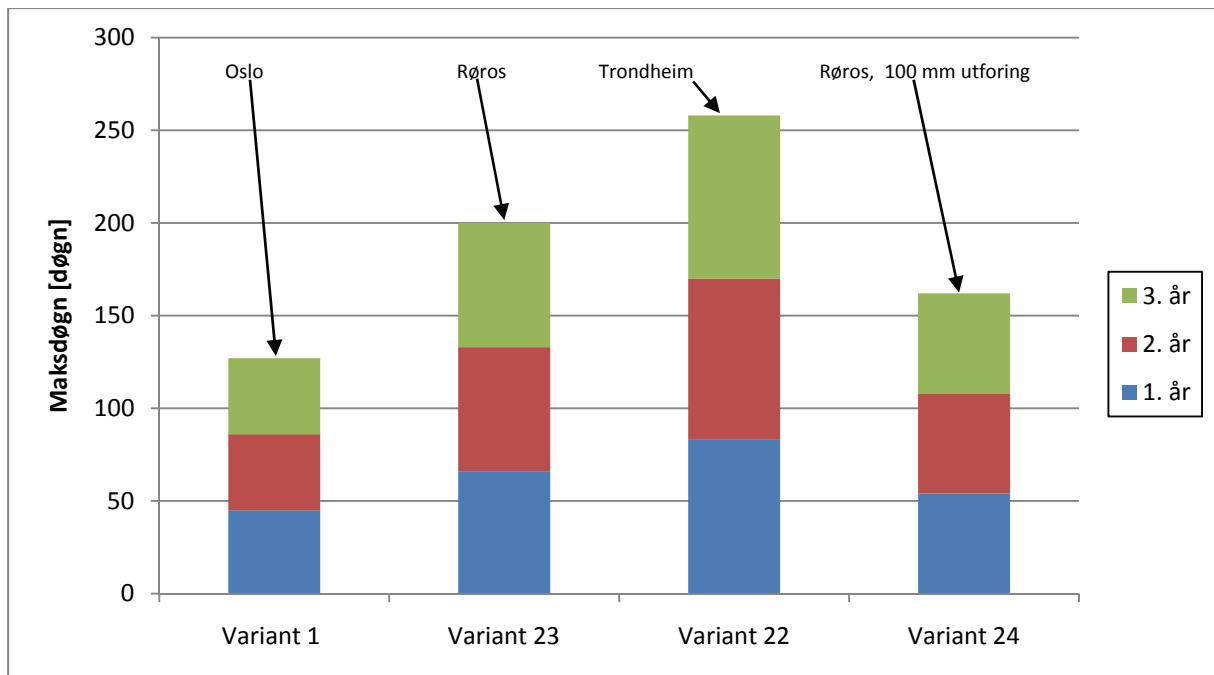
Figur 3.21: RF for beregningsvariant 1, 22 og 23

RF i utforingen påvirkes av både utvendig fuktinnhold og utvendig temperatur. For å vurdere muggsopprikningen må i tillegg temperaturen i dette sjiktet tas med i betraktningen. Av figur 3.22 kommer det frem at variant 1, 23 og 22 har henholdsvis 127, 200 og 258 maksdøgn med muggsoppvekst for denne beregningsperioden.

Dette er alle høye verdier, noe som medfører at disse konstruksjonene vil utsettes for muggsoppangrep uavhengig av geografisk beliggenhet. Det som imidlertid er bemerkelsesverdig er den store forskjellen i muggsoppveksten. Selv om alle variantene har den samme konstruksjonsoppbygningen, har en konstruksjon i Trondheim dobbel så stor muggsoppvekst som den samme konstruksjonen i Oslo.

Ut i fra figur 3.21 kan dette virke litt underlig siden Rørosklimaet har den høyeste oppfuktingen over denne beregningsperioden. Dette kan forklares ved at Rørosklimaet har en så lav temperatur at muggsoppveksten blir hemmet av dette. For Trondheimsklimaet er situasjonen den motsatte. Det milde klimaet gir muggsoppen bedre vekstvilkår. Spesielt er den milde temperaturen på vinterstid avgjørende for muggsoppveksten. For innlandsklimaene blir temperaturen så lav på vinteren at muggsoppveksten stopper eller reduseres betydelig, slik at en høy oppfukting ikke nødvendigvis er skadelig. For trondheimsklimaet, og andre milde kystklima, blir ikke muggsoppveksten redusert på samme måte på vinterstid. Dette fører til at utforingen får en lenger eksponering for muggsoppvekst, hvert år.

Siden muggsoppveksten i utforingen åpenbart har en sammenheng med utendørsklimaet, er dette noe som bør tas med i vurderingen for egnetheten av denne utbedringsmetoden.

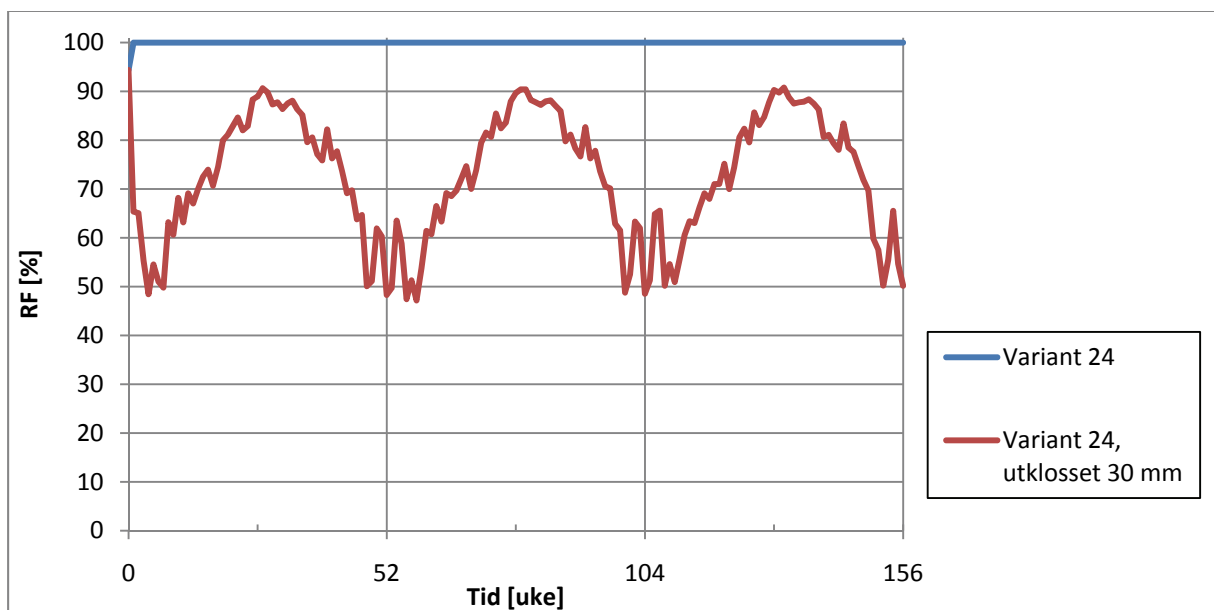


Figur 3.22: Antall maksdøgn med muggoppvekst for beregningsvariant 1, 22, 23 og 24

#### Variant 24

For kalde klimaer som Røros vil det være ønskelig med tykkere isolasjon i utforingen for å redusere varmetapet. Det er derfor vurdert en beregningsvariant med 100 mm innvendig isolasjon og rørosklima.

Av figur 3.21 kommer det frem at variant 23 er utsatt for en kraftig oppfukning over store deler av året grunnet det kalde klimaet. Ved å øke isolasjonstykkelsen blir oppfukningen enda kraftigere, og resultatet er derfor trivielt. Det er derfor vurdert et tilfelle der trevirket er utklosset 30 mm. RF for variant 24 er vist i figur 3.23.



Figur 3.23: RF for beregningsvariant 24

Som det kommer frem av figur 3.21 og figur 3.23 har variant 23 og variant 24 omtrent den samme oppfuktingen, det vil si rundt 100 % RF hele året. Av figur 3.22 er det allikevel tydelig at variant 24 er mindre utsatt for muggsoppangrep enn tilsvarende variant med 50 mm innvendig isolasjon. Dette skyldes at temperaturen i sjiktet mellom isolasjon og grunnmursplate blir lavere med høyere isolasjonstykkelse. Dette viser at tykkere isolasjon ikke alltid er ensbetydende med kraftigere muggsoppvekst, selv om dette ofte er tilfellet.

En konstruksjon som er så kraftig oppfuktet har ingen tilfredsstillende bestandighet mot muggsoppangrep. Dersom stenderverket klosses ut kan bestandigheten økes noe. Som vist på figur 3.23 er oppfuktingen i utforingen langt mindre ved en utklossing på 30 mm. På innsiden av grunnmursplaten er det beregnet 162 maksdøgn over tre år, mens 30 mm inn i utforingen er det beregnet 31 maksdøgn for samme periode. En utklossing av stenderverket vil derfor skåne trevirket for en betydelig fuktbelastning. Muggsopp kan imidlertid gro på andre overflater enn trevirke.

For kalde klima som Røros er det ønskelig med tykkere isolasjon. Disse resultatene har vist at for isolasjonstykkelser på 100 mm er utklossing av stenderverket helt nødvendig for å unngå kraftige muggsoppangrep.

#### *Kommentar*

Resultatet fra disse beregningene viser at:

- RF i utforingen avhenger av uteklimaet
- Det kan forekomme store forskjeller i muggvekst for konstruksjoner med ulik geografisk beliggenhet, selv med identiske konstruksjonsoppbygninger
- Milde klimaer fremmer muggsoppvekst

Som resultatene har vist kan geografisk beliggenhet påvirke muggsoppveksten med en faktor to. Klimaet vil derfor være en av de viktige faktorene vedrørende muggsoppvekst i utforingen. Det vil kunne være hensiktsmessig å ha differensierte anbefalte løsninger etter hvilket klima konstruksjonen utsettes for. For milde klima er det viktig å hindre oppfukting og kondensutslag, da temperaturen vil kunne medføre gode vekstvilkår for muggsoppen.

Videre har resultatene vist at kalde innenlandsklima gjør risikoen for oppfukting og kondensutslag i utforingen betydelig større enn Oslo klima. Denne oppfuktingen vil ikke være like skadelig som ved milde klima, siden de lave temperaturene hemmer muggsoppveksten.

#### **3.4.9 Fuktforhold i utforingen under terrengnivå**

Det er antatt at den mest kritiske oppfuktingen og muggveksten forekommer i den delen av utforingen som står over terreng. Dette er grunnen til at hovedvekten av beregningene har fokusert på denne delen av konstruksjonen. Dersom utbedringsmetoden fungerer tilfredsstillende over terreng er det antatt at den vil fungere bedre under terrengnivå.

Det er nettopp under terrengnivå denne utbedringsmetoden vil kunne vise seg å være bedre egnet enn konvensjonelle løsninger. Over terrengnivå vil grunnmuren være på sitt tørreste og risikoen for at utforingen fuktes opp av grunnmuren er tilsvarende lav. Under terrengnivå vil grunnmuren kunne ha en betraktelig høyere oppfukting av forskjellige grunner. Dersom utforingen legges direkte mot grunnmuren er sannsynligheten for at utforingen fuktes direkte opp stor. Grunnmursplaten mellom isolasjon og grunnmur forhindrer dette.

I kapittel 3.2.7 ble det utført referanseberegninger for en konvensjonell konstruksjon. Disse beregningene viste at muggsoppveksten var omtrent den samme for over og under terrengnivå. Beregningen for muggsoppvekst under terrengnivå har imidlertid noen svakheter. I disse beregningene er oppfukning utenfra svært begrenset siden konstruksjonen er modellert med utvendig grunnmursplate. Kapillær oppsuging fra grunnen er ikke medregnet siden dette er en endimensjonal beregning. Dette medfører at denne referanseberegningen er i en ren uttørkingstilstand. Ved en reell konstruksjon eller en todimensjonal beregning kan det tenkes at utforingen blir langt høyere oppfuktet og får tilsvarende høyere muggsoppvekst.

I dette kapittelet er beregningsvariant 25 og 26 vurdert, for kontroll mot tilsvarende varianter over terrengnivå. Formålet er å kontrollere at disse beregningsvariantene faktisk fungerer bedre under terreng enn over terrengnivå. For klima under terreng er det benyttet konstant RF på 98 % og en temperaturprofil som er gitt av figur A.2 for en dybde på 1250 mm under terrengnivå.

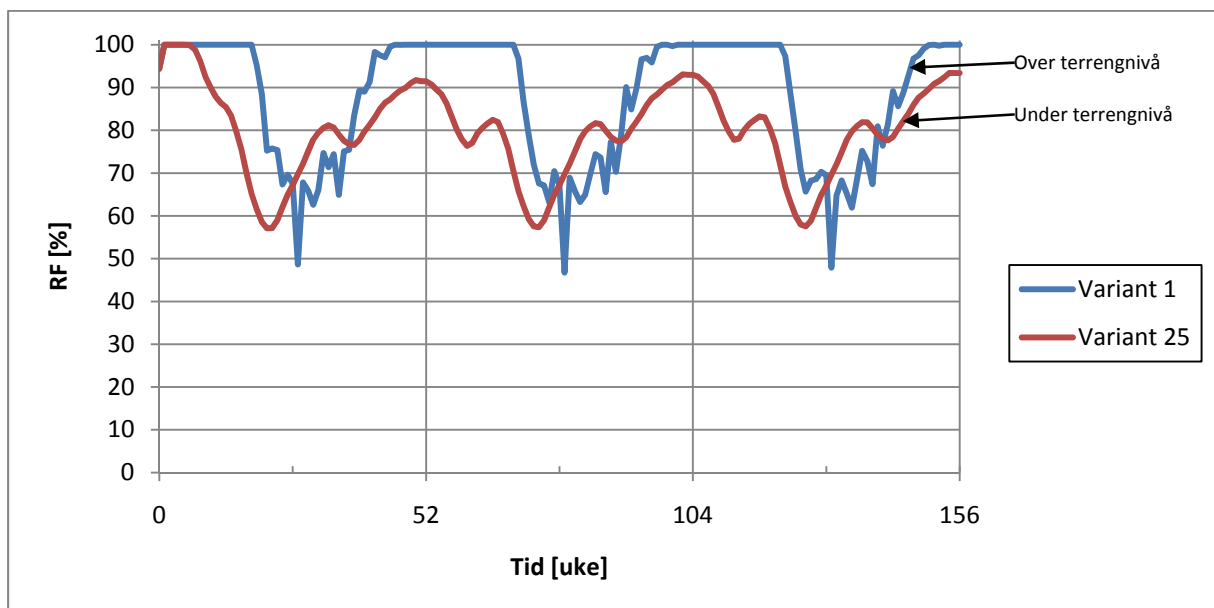
#### Variant 1 og 25

Variant 1 er standardkonstruksjonen, og variant 25 er tilsvarende konstruksjon 1250 mm under terrengnivå.

RF for variant 1 og 25 er vist på figur 3.24. Som det kommer frem av resultatene er utforingen langt tørrere under terrengnivå enn over. Dette er som forventet.

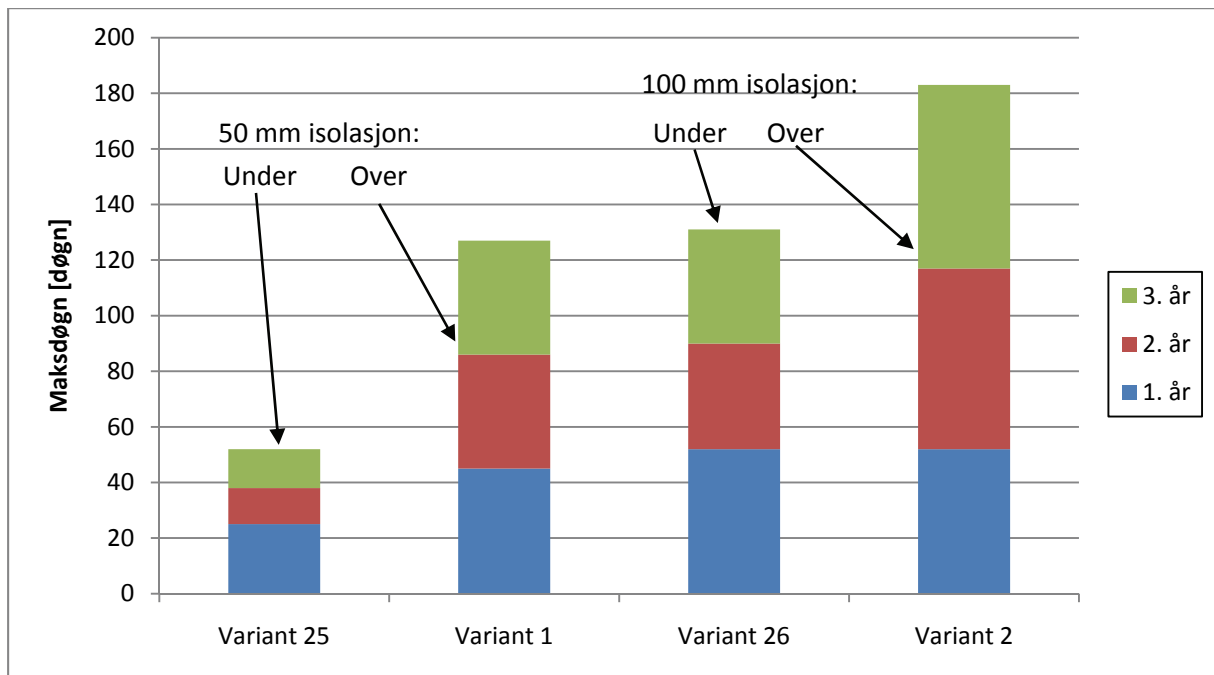
Et annet problem som kan oppstå i utforingen under terrengnivå er sommerkondens. Av figuren kommer det frem at RF i utforingen har sin høyeste verdi på vinteren og laveste verdi på sommeren. Dette tilsier at sommerkondens ikke er et aktuelt problem for denne beregningsvarianten.

Grunnen til dette er at temperaturen i sjiktet mellom isolasjon og grunnmursplate svinger som temperaturen i grunnen. Denne temperaturen når sitt laveste på vinterstid og er på sitt høyeste på sommerstid, som forklarer hvorfor RF er lav på sommeren. I enkelte andre teoretiske betraktninger er det antatt en konstant temperatur i grunnen, på for eksempel 10 °C, noe som forklarer en høy RF på sommeren. Under de forutsetningene som er gjort her vil sommerkondens derfor ikke utgjøre et problem.



Figur 3.24: RF for beregningsvariant 1 og 25

Som følge av en tørrere utføring er muggsoppveksten betydelig lavere under terrengnivå, som vist på figur 3.25. Dette er i samsvar med resultatene fra figur 3.24, og underbygger påstanden om at utføringen over terrengnivå er det mest kritiske området for denne utbedringsmetoden.



Figur 3.25: Antall maksdøgn med muggsoppvekst for beregningsvariant 1, 2, 25 og 26

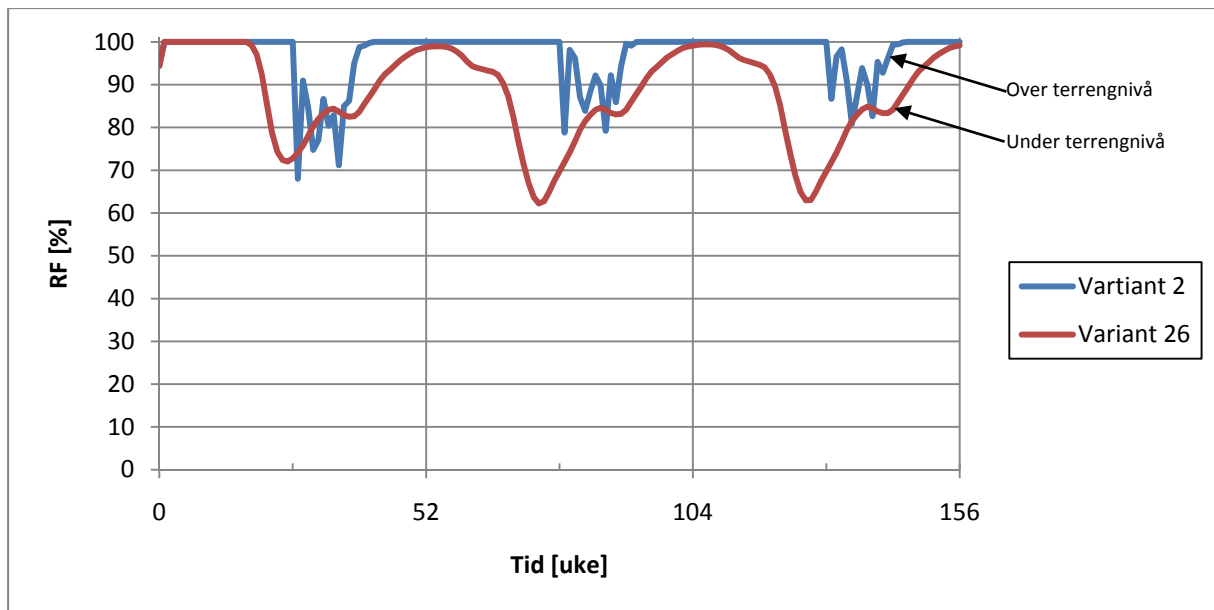
*Variant 2 og 26:*

Variant 2 har samme konstruksjonsoppbygning som standardvarianten, men har 100 mm innvendig isolasjon. Variant 26 er den samme konstruksjonen som variant 2, men 1250 mm under terrengnivå.

RF for variant 2 og 26 er vist på figur 3.26. Som for beregningstilfellene med 50 mm innvendig isolasjon er utføringen betraktelig tørrere under terrengnivå. Som tidligere beregninger har vist er oppfuktingen noe høyere siden denne varianten har tykkere isolasjon.

Det er ingen tegn til sommerkondens for denne beregningsvarianten.





Figur 3.26: RF for beregningsvariant 2 og 26

På figur 3.25 er antall maksdøgn for beregningsvariant 2 og 26 vist. Figuren viser igjen at muggsoppveksten er absolutt høyest over terrengnivå. Dette tyder på at konstruksjonens mest kritiske del er over terrengnivå, slik som først antatt.

#### *Kommentar*

Resultatene viser at konstruksjonen er mest utsatt for oppfukning og muggsoppvekst over terrengnivå. For konvensjonelle løsninger kan det motsatte være tilfellet, siden utforingen kan fuktes opp av grunnmuren.

En praktisk konsekvens av dette er at det er tilstrekkelig å kontrollere konstruksjonen for muggvekst over terrengnivå. Øvrige deler av konstruksjonen kan derfor antas å være mindre utsatt.

Resultatene viser at sommerkondens i utforingen under terrengnivå ikke virker sannsynlig under disse forutsetningene.

#### **3.4.10 Forslag til alternativ konstruksjonsoppbygning**

Hittil i dette vurderingskapittelet er det sett på hvordan de ulike parametrene påvirker RF og muggsoppvekst i utforingen. Det er imidlertid åpenbart at enkelte konstruksjonstyper vil være utsatt for muggsoppangrep under de gitte forutsetningene. Dette kan simpelthen bety at under enkelte betingelser vil denne utbedringsmetoden være uegnet. I dette kapittelet er det vurdert en metode for å redusere muggvekstrisikoen i utforingen. Metoden er ikke beskrevet av produsenten, men er kun vurdert her som en mulig løsning.

#### *Vurdering av parametre*

Som det er vurdert i dette kapittelet vil ulike parametre påvirke RF i utforingen i større eller mindre grad. Parametre som uteklima og grunnmurens oppbygning må godtas som de er, og vil ikke være aktuelle å endre i noen særlig grad. Fukttilskuddet kan endres ved å endre bruksmønstret i kjelleren, og vil kunne være et effektivt tiltak. Det fukttilskuddet som er brukt som standard i disse beregningene er imidlertid en dimensjoneringsverdi og kan derfor ikke endres.  $S_d$ -verdi på innvendig kledning viser seg å ha liten effekt på RF i utforingen, og er vurdert som en lite effektiv parameter å endre.

De parametrene som har stor påvirkning på RF i utforingen, og som kan endres er innvendig isolasjonstykkelse og varmemotstanden i grunnmuren. Dersom en større del av varmemotstanden hadde blitt flyttet fra utforingen til grunnmuren, ville utforingen blitt mindre utsatt for oppfukting og muggsoppvekst. Samtidig er det ønskelig med en størst mulig varmemotstand i konstruksjonen for å redusere varmetapet.

#### *Beskrivelse av alternativ konstruksjonsoppbygning*

Som resultatene i denne rapporten har vist vil økt varmemotstand i utforingen og redusert varmemotstand i grunnmuren føre til høyere oppfukting og økt risiko for muggsoppvekst. Det er derfor tenkt at ved å plassere noe av isolasjonen på utvendig side av grunnmursplaten vil disse problemene reduseres. I stedet for å legge grunnmursplaten direkte mot grunnmuren, kan derfor noe av isolasjonen plasseres imellom. Dette løser to problemer; isolasjonstykkelsen i utforingen kan holdes lav, samtidig som varmemotstanden på utsiden av grunnmursplaten økes. I tillegg vil denne metoden kunne tillate mer isolasjon totalt sett, og dermed redusere varmetapet.

Det er imidlertid to problemer med denne løsningen. Siden grunnmuren må kunne antas å være kraftig oppfuktet, må isolasjonen være fuktbestandig. Dette utelukker også all bruk av organiske materialer i dette sjiktet.

I tillegg til dette angir produsenten som beskriver denne metoden at på grunn av utpressingene i grunnmursplaten vil grunnmuren få noe uttørkingsmulighet innover. Det er uvisst i hvor stor grad grunnmuren tørker ut innover, men dette vil være sekundære effekter av denne utbedringsmetoden. For å imøtekomme disse anvisningene må derfor isolasjonen være dampåpen, for å kunne muliggjøre uttørking innover.

De to kravene som stilles til isolasjonen er derfor at den er fuktbestandig og dampåpen. En type dampåpen EPS er kommersielt tilgjengelig og er beskrevet i kapittel 2. Denne isolasjonen vil kunne opprettholde funksjonaliteten under krattig oppfukting, samtidig som den muliggjør innadrettet uttørking.

#### *Vurdering av alternativ konstruksjon*

For å kunne vurdere egnetheten av denne løsningen er det gjort beregningsmessige analyser av en slik alternativ konstruksjon.

Denne metoden er først og fremst aktuell for grunnmurer med lav varmemotstand, som for eksempel rene betongvegger. Grunnmurer med høy varmemotstand vil uansett ha en lav risiko for muggvekst slik resultatene har vist.

Beregningene tar utgangspunkt i en 200 mm tykk betongkonstruksjon, som vil være den mest kritiske grunnmurskonstruksjonen av de oppbygningene som er vurdert. Varianten vil ha lik oppbygning som beregningsvariant 2, vist i tabell 3.4, men med isolasjon på utsiden av grunnmursplaten i tillegg. Resultatet fra disse beregningene vil derfor være naturlig å sammenligne mot beregningsvariant 2.

Konstruksjonen i beregningene har følgende oppbygning regnet utenfra:

- 200 mm betong
- 70 mm dampåpen EPS
- Grunnmursplate
- 50 mm isolert utforing
- 13 mm sponplate

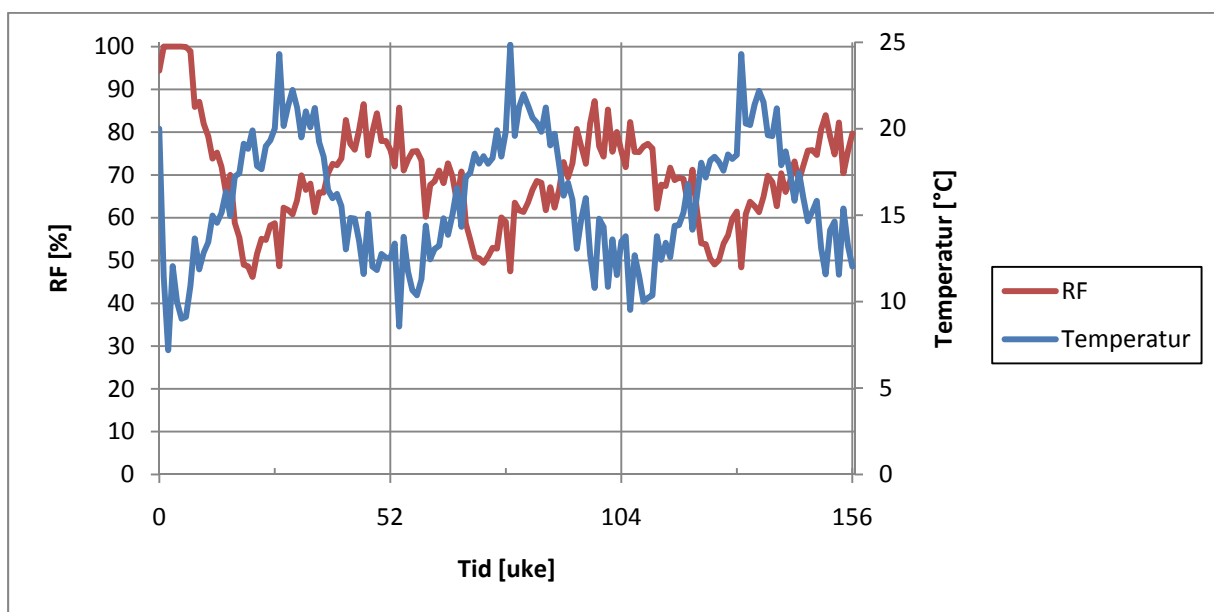
I tillegg er det brukt følgende karakteristik for konstruksjonen i beregningene:

- Oslo klima
- Innvendig fukttilskudd på  $4 \text{ g/m}^3$
- $S_d$ -verdi på innvendig kledning lik 1,0 m

For øvrig er beregningsoppsettet som beskrevet i kapittel 3.2.

#### Resultater

RF og temperatur for den alternative konstruksjonsoppbygningen er vist i figur 3.27. Grensen for muggsopp vekst er satt til en RF på 75 %. Som resultatene viser er det kun noen måneder på vinteren da RF er over denne grensen. Da er også temperaturen på det laveste og muggvekstrisikoen er tilsvarende lav. Sammenlignet med beregningsvariant 2 vil denne konstruksjonen være langt mindre utsatt for muggsoppangrep.



Figur 3.27: RF og temperatur for alternativ konstruksjon

Av tabell 3.6 kommer det frem at denne konstruksjonen utsettes for 17 maksdøgn med muggsoppvekst i denne perioden. Mesteparten av denne muggsoppveksten foregår det første året, da byggfukten tørkes ut. Til sammenligning har variant 2 for samme beregningsperiode 183 maksdøgn med muggsoppvekst. Målingene er tatt rett innenfor grunnmursplaten.

Etter at byggfukten er tørket ut er muggveksten meget beskjeden. Denne konstruksjonen vil kunne ha en tilfredsstillende bestandighet mot muggsopp over tid.

Tabell 3.6: Antall maksdøgn og kumulativ eksponering for alternativ konstruksjon

	Maksdøgn [døgn]			Kumulativ eksponering [Uke·%RF]			
	1. år	2. år	3. år	Totalt	1. år	2. år	3. år
<b>Totalt</b>	15	1	1	<b>128</b>	120	4	4

### *Kommentar*

I dette kapitlet er det vurdert en alternativ konstruksjonsoppbygning. Alternativet går ut på å legge fuktbestandig og dampåpen isolasjon på utsiden av grunnmurplaten. Dette reduserer kondensfaren i utforingen og varmetapet i konstruksjonen.

Denne alternative metoden er mest aktuell for grunnmurer med lav varmemotstand, siden grunnmurer med høy varmemotstand er lite utsatt for muggsoppangrep i utgangspunktet.

Denne metoden vil også tillate tykkere isolasjon uten at dette medfører risiko for kondensutslag.

Resultatet fra beregningen som er utført viser at:

- RF i utforingen reduseres betydelig ved å plassere noe isolasjon utenfor grunnmursplaten
- Muggsoppveksten reduseres som følge av redusert RF

Praktiske forhold rundt gjennomføring og montering er ikke vurdert. Det bør også nevnes at denne løsningen ikke er angitt av produsenten, men er kun et forslag for å forbedre de mest fuktutsatte konstruksjonene.

## **3.5 Oppsummering og konklusjon**

For dette utbedringstiltaket er det variert seks ulike parametre, og det er vurdert til sammen 26 beregningsvarianter. Flere av beregningsvariantene som er vurdert her har en meget høy oppfuktning som er forbundet med høy risiko for muggsoppvekst. Parameterstudien kan si noe om hvordan de ulike parametrene påvirker RF og muggsoppvekst i utforingen. Ut i fra disse variasjonene kan det vurderes hvilke faktorer som har stor betydning for muggveksten, og hvilke faktorer som spiller en mindre rolle.

Muggsoppvekst i konstruksjonen kan relateres til RF og temperatur. Alle disse parametrene påvirker derfor RF og temperatur i konstruksjonen i større eller mindre grad. Generelt viser disse resultatene at en fuktig konstruksjon er mer utsatt for muggsoppangrep enn en varm konstruksjon

Tykkere innvendig isolasjon øker kondensfaren i utforingen. Tykkelsen på innvendig isolasjon må imidlertid sees i sammenheng med varmemotstanden i grunnmuren. Dersom grunnmuren er godt isolert på utsiden av grunnmursplaten, vil tykkere isolasjon kunne ha bedre forutsetninger for å unngå skadelig muggsoppvekst. Isolasjonstykkelser på 150 mm bør kun brukes av meget godt isolerte konstruksjoner. Dersom konstruksjonen er meget godt isolert i utgangspunktet vil det være tvilsomt om 150 mm isolasjon i tillegg er nødvendig. For isolasjonstykkelser over 100 mm vil utklossing være et aktuelt tiltak for å redusere muggvekstrisikoen.

Varmemotstanden i grunnmuren har stor påvirkning på temperaturen i sjiktet mellom grunnmurplate og isolasjon. Resultatene i denne rapporten viser at muggveksten avhenger i stor grad av denne varmemotstanden. Dårlig isolerte betongkonstruksjoner er mest utsatt for muggsoppvekst. Et mulig tiltak for å forbedre dette vil være å plassere noe av isolasjonen mellom grunnmursplate og grunnmur. Dette forutsetter at isolasjonen er fuktbestandig og dampåpen for at utbedringsmetoden skal fungere som forutsatt.

En av de faktorene som har størst betydning for muggsoppveksten i utforingen er fukttilskuddet. Resultatene i denne rapporten viser en meget sterk sammenheng mellom fukttilskudd i innelufta og muggsoppvekst i utforingen. Fukttilskuddet som er satt som standard i disse beregningene er dimensjoneringsverdier, og muligens noe konservative. Som følge av den sterke sammenhengen mellom fukttilskudd og muggsoppvekst anbefales det at anvisningene for denne utbedringsmetoden differensieres etter kjellerens tiltenkte bruksområde. Denne utbedringsmetoden vil sannsynligvis ikke være egnet for kraftig fuktbelastede rom som bad, tørkerom og vaskerom.

Dampmotstanden på innvendig kledning ble også vurdert. For dampåpne overflatebehandlinger med  $S_d$ -verdier i området 0,5 m til 3,5 m var forskjellene i muggvekst marginale. De små forskjellene det var snakk om var i hovedsak relatert til uttørkingen av byggfukt. For det dampette tilfellet, der det ble benyttet PE-folie under sponplaten, var resultatene annerledes. Det viser seg at bruk av PE-folie øker muggvekstrisikoen i utforingen i en slik grad at muggvekst vil være uunngåelig. Bruk av PE-folie for dette utbedringstiltaket må frarådes.

Videre viser det seg at uteklimaet har stor betydning for muggveksten i utforingen. De klimaene med verst innvirkning på muggsoppvekst er milde klima, der temperaturen på vinterstid er relativt høy. Kalde innenlandsklima, som Rørosklima, vil øke faren for kondens i utforingen betraktelig. På grunn av de lave temperaturene vil allikevel ikke muggsoppveksten bli like høy som ved de milde klimaene. Oslo klima, som kjennetegnes ved at det er tørt og relativt kaldt, fikk de beste resultatene i denne rapporten.

I tillegg ble det utført to beregninger under terrengnivå. Det har vært antatt at konstruksjonen over terrengnivå var den mest kritiske delen. Disse beregningene ble gjennomført for å underbygge dette. Resultatene viser at utforingen under terrengnivå er mindre utsatt for oppfukting og muggsoppvekst enn tilsvarende konstruksjonsoppbygning over terrengnivå. Resultatene viser også at risikoen for sommerkondens for denne utbedringsmetoden er liten.

## 4 Fuktsitasjon i konstruksjon før utbedringstiltak

---

### 4.1 Innledning

Så langt i rapporten er det vurdert hvordan fuktsitasjonen i konstruksjonen utvikler seg etter at utbedringstiltaket er gjennomført. I dette kapittelet vurderes ulike aspekter av fuktsituasjonen i konstruksjonen *før* utbedringstiltaket er utført.

Eldre konstruksjoner vil kunne avvike betydelig fra dagens byggeforskrifter. Dette kan bety at mange grunnmurskonstruksjoner rundt i dette landet er kraftig oppfuktet av grunnmassene. Hvordan konstruksjonen er oppfuktet avhenger av hva slags fuktisolasjon som eksisterer i konstruksjonen. En utvendig grunnmursplate fungerer som en utmerket kapillærbryter, og vil hindre oppfukting utenfra. Konstruksjonen kan allikevel fuktes opp som følge av kapillær oppsuging gjennom sålen. Ved siden av selve fuktisolasjonen er det også andre parametre som kan påvirke oppfuktingen. Fukttilskudd i innelufta, innetemperatur, grunnmursmateriale og utvendige fuktforhold kan være slike parametre.

Hovedfokuset i den første delen av dette kapittelet vil være å anslå hvor mye fuktighet som kan avdampe fra veggkonstruksjonen til innelufta, sett i sammenheng med nevnte parametre. I tillegg kan avdampingen ses i sammenheng med årstidsvariasjoner. Med grunnlag i disse beregningene kan det vurderes hvordan avdampingen fra grunnmuren påvirker RF i kjellerlufta.

Mange kjellerstuer er utført med en innvendig isolert utforing. Dersom grunnmuren fortsatt suger vann kapillært vil både grunnmur og utforing bli oppfuktet. Den andre delen av dette kapittelet ser på noen aspekter rundt dette. Det er ønskelig å vurdere hvilke fuktnivåer som kan oppnås i utforingen og i bunnsvillen. Samtidig vurderes effekten av parametre som dampmotstand på innvendig kledning og grunnmursmateriale.

### 4.2 Beregningsoppsett

#### 4.2.1 Geometri og målsetting

Veggkonstruksjonen i dette utbedringstiltaket består av følgende oppbygning regnet utenfra:

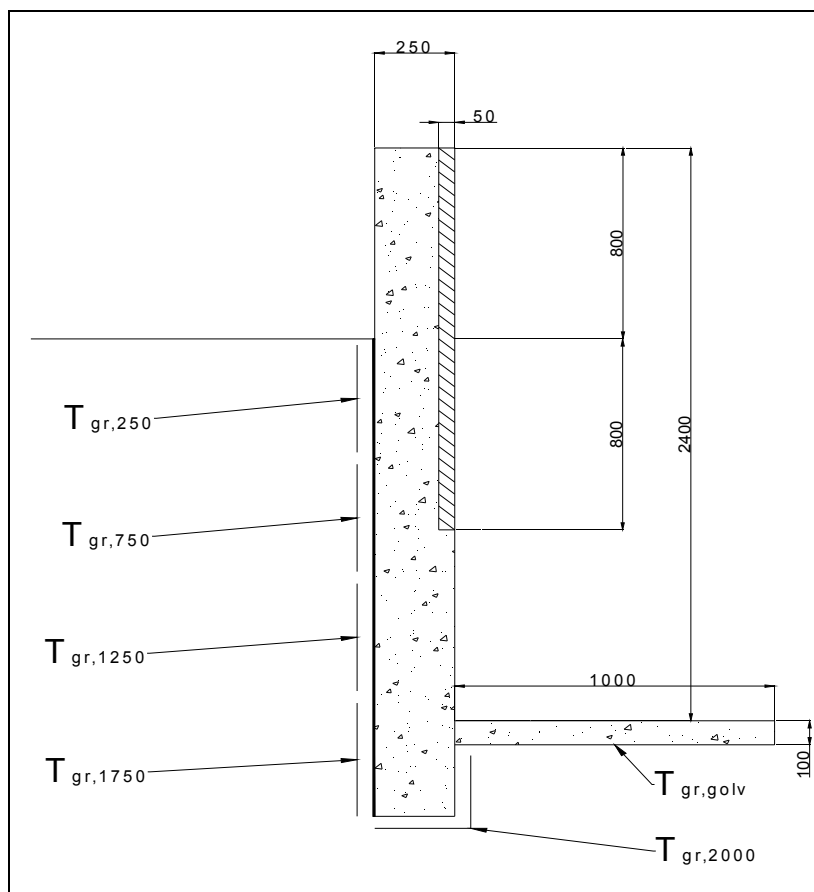
- Grunnmursplate under terrengnivå
- 200 mm betong B15
- 50 mm treullsementplate over terreng og 800 mm under terreng. 50 mm betong B15 de nederste 800 mm.

De beregningsvariantene med innvendig utforing har i tillegg følgende konstruksjonsoppbygning på innsiden:

- 100 mm isolert utforing
- 13 mm sponplate
- 100x50 mm bunnsvill i bunnen av utforingen

Gulvkonstruksjonen består av 100 mm betong B15.

Skisse og målsetting for standardvarianten er vist i figur 4.1.



Figur 4.1: Geometri og målsetting for konstruksjon brukt i beregningsvariant 1 – 5

#### 4.2.2 Materialparametre

Det er benyttet tilsvarende materialer i disse beregningene som for utbedringstiltak 1 og 2. Materialparametrene er angitt i tabell 2.2.

#### 4.2.3 Initialbetingelser

##### *Initialtemperatur*

Initialtemperatur for disse beregningene er satt til 20 °C for hele konstruksjonen.

##### *Initialfukt*

I kapittel 2.3.3 ble initialfuktigheten beregnet nøyaktig. Dette var nødvendig siden konstruksjonens uttørkingsforløp skulle vurderes. I dette kapitlet er det imidlertid avdamping til innelufta og fuktsituasjonen i utforingen som skal vurderes. For disse beregningene er det derfor ikke nødvendig å operere med like nøyaktige initialfuktnivå.

Etter noe tid vil konstruksjonen innstille seg i likevekt med omgivelsene. I disse beregningene er beregningstiden to år, der det første året brukes for utjevning av initialfukt og initialtemperatur og det andre beregningsåret brukes som beregningsresultat.

For disse beregningene er det derfor antatt tilstrekkelig å anta en RF på 90 % RF i hele konstruksjonen.

#### 4.2.4 Innvendig klima

##### Temperatur

I disse beregningene er det benyttet to innetemperaturer:

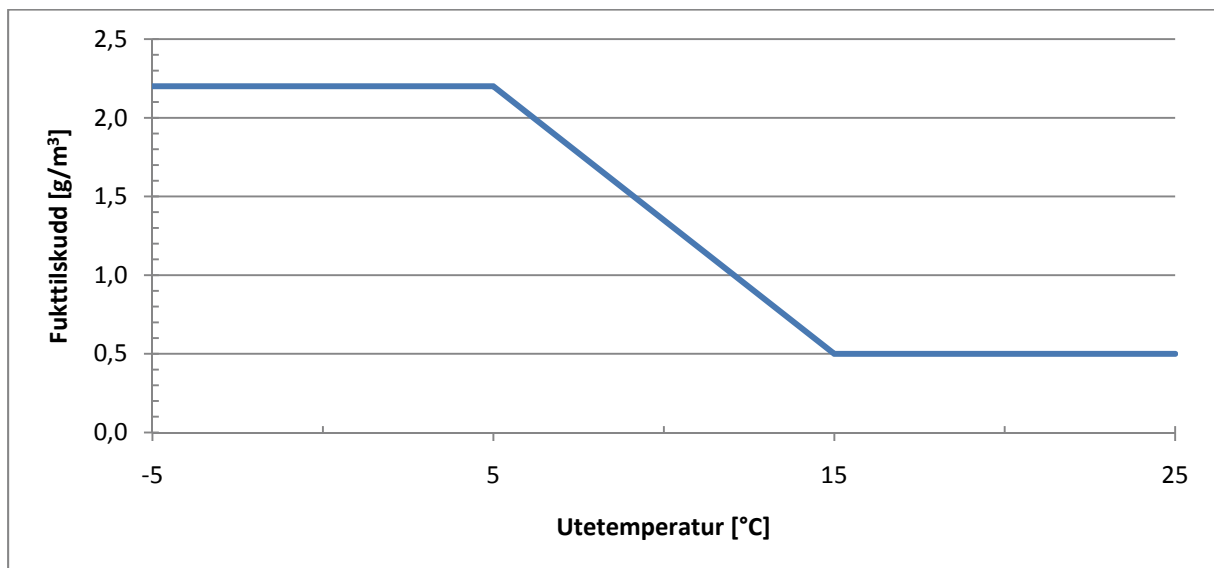
- Oppvarmet kjellerrom. Konstant gjennomsnittlig innetemperatur lik 14 °C
- Oppvarmet kjellerrom. Konstant innetemperatur lik 22 °C

Som standard i disse beregningene er innetemperaturen satt til 14 °C. På grunn av begrensninger i WUFI kan det ikke benyttes variabel innetemperatur når inneklimate modelleres etter EN 13788. Temperaturen er derfor satt konstant, med en antatt gjennomsnittlig temperatur på 14 °C. For beregningstilfellene med innvendig utforing er den innvendige temperaturen konstant lik 22 °C.

##### Fukttilskudd til innelufta

Fukttilskuddet som er brukt i disse beregningene er reelle måledata for kjellere, som er beskrevet i [3]. Dette fukttilskuddet er en gjennomsnittsverdi for norske kjellere.

Fukttilskuddet er modellert slik at det avhenger av utendørstemperaturen, med variasjon fra 2,2 g/m<sup>3</sup> på vinteren til 0,5 g/m<sup>3</sup> på sommeren. Fukttilskuddet som funksjon av utetemperatur er vist på figur 4.2.



Figur 4.2: Fukttilskudd brukt i beregningene [3]

#### 4.2.5 Utvendig klima

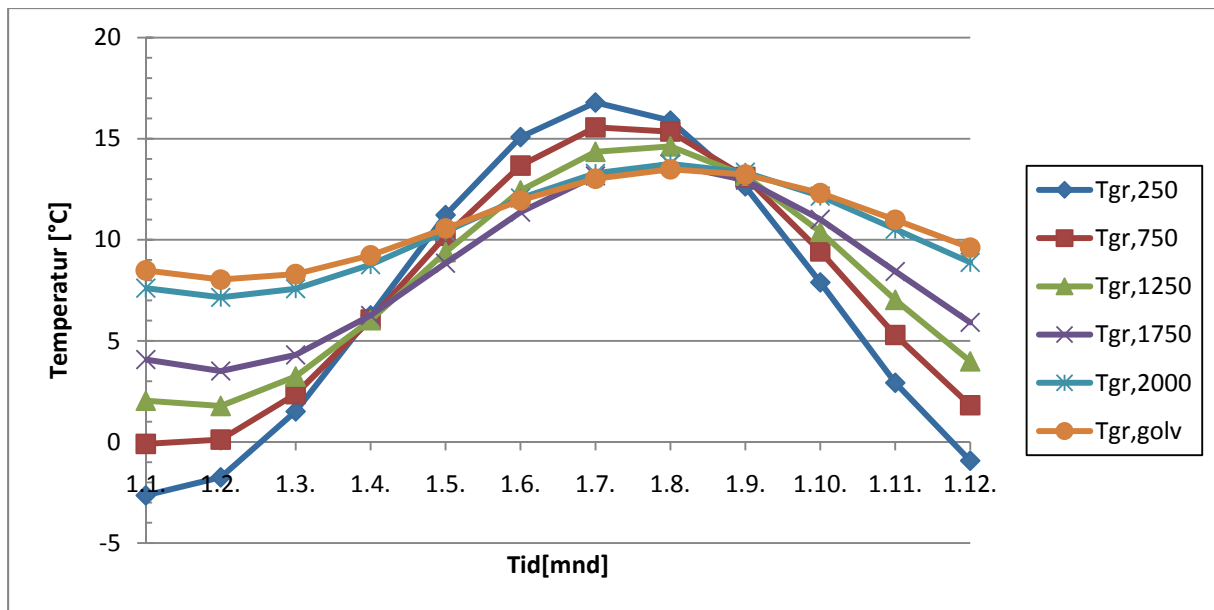
For å modellere utvendig klima er det benyttet et referanseår for Oslo. Klimaet er kun benyttet over terrengnivå. Se for øvrig kapittel 2.3.5 og kapittel 3.2.5.

#### 4.2.6 Klima under terrengnivå

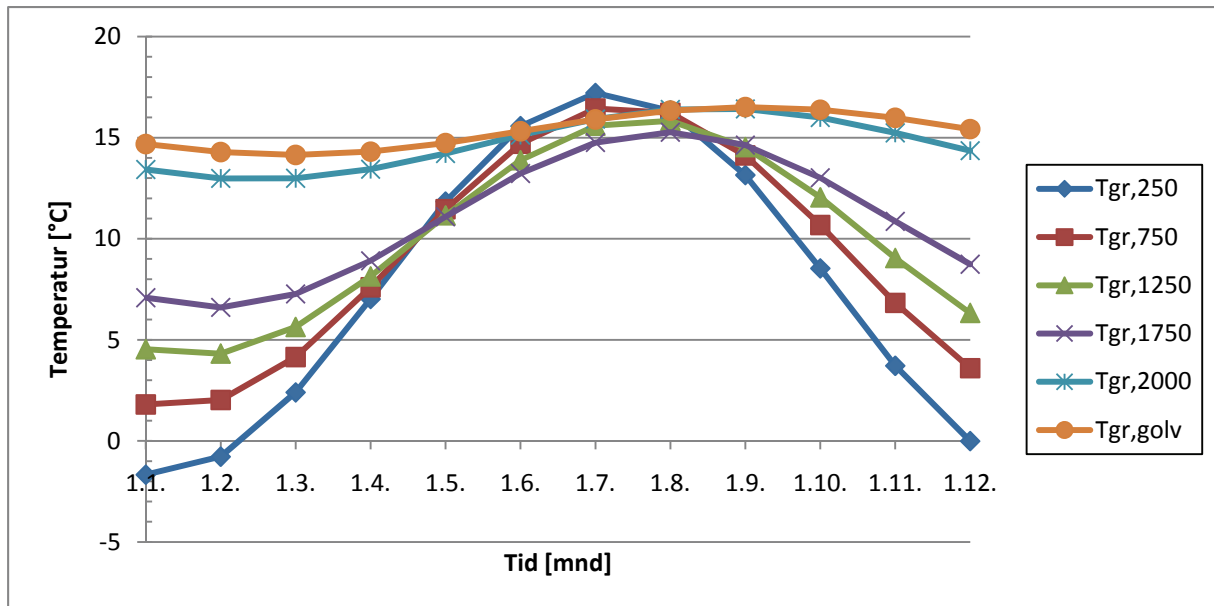
##### Temperatur

Temperatur i grunnen og utregning av dette er drøftet i kapittel 2.3.6. Som det er vurdert i samme kapittel vil forskjeller i isolasjonstykkelse kun medføre små endringer i temperatur i grunnen. Det er derfor antatt at temperaturprofilen brukt for konstruksjonen med 100 mm utvendig isolasjon kan brukes for disse beregningene uten at dette medfører større feil. Temperaturprofilene som er brukt i disse beregningene er vist i figur 4.3 og figur 4.4 for henholdsvis innetemperatur på 14 °C og 22 °C.





Figur 4.3: Temperaturprofiler brukt under terrengnivå for innetemperatur lik 14 °C



Figur 4.4: Temperaturprofiler brukt under terrengnivå for innetemperatur lik 22 °C

#### Relativ fuktighet i grunnen

Som standard i disse beregningene er det antatt en konstant RF i grunnens luftfylte porer lik 98 %.

Et beregningstilfelle simulerer en sesongbetont oppfukting. Dette kan for eksempel komme av kraftig nedbør på høsten. For å illudere en høy grunnvannstand er det modellert en RF på 100 % under sålen i septembermåned. For øvrig konstruksjon og øvrige deler av året er RF satt til 98 %.

#### 4.2.7 Målepunkter

For å måle avdampning av fuktighet til kjellerlufta er diffusjonsfluksen målt ved grunnmurens innvendige overflate. 1 m av gulvkonstruksjonen er inkludert i beregningene.

Siden retningen til diffusjonsfluksen vil kunne variere etter hvor i veggghøyden det måles er veggghøyden delt i tre deler på hver 800 mm. Totalt blir det fire flater som observeres for diffusjonstransport. De fire flatene målt fra grunnen og oppover er:

- Gulvkonstruksjonen
- 0 – 800 mm fra gulvnivå
- 800 – 1600 mm fra gulvnivå
- 1600 – 2400 mm fra gulvnivå

For beregningstilfellene med innvendig utforing måles gjennomsnittlig RF i bunnsvillen, og RF i utforingen i en høyde 1000 mm fra gulvnivå.

### 4.3 Parametervariasjoner

For beregningsvariant 1 – 5 er det vurdert 4 parametre. For beregningsvariant 6, 7 og 8 er det vurdert to parametre.

#### 4.3.1 Grunnmursplate

Det er vurdert to tilfeller med utvendig fuktbeskyttelse:

- Med utvendig grunnmursplate
- Uten utvendig grunnmursplate

Som standard i disse beregningene er det benyttet grunnmursplate, siden det er vanlig at også eldre grunnmurer er utført med et minimum av fuktbeskyttelse.

Det er også vurdert et tilfelle uten grunnmursplate, siden det kan tenkes enkelte eldre bygninger er oppført uten utvendig fuktbeskyttelse. Uten utvendig grunnmursplate vil konstruksjonen fuktes opp direkte fra massene utenfor, i motsetning til der kapillær oppfukning kun foregår gjennom sålen. Det forventes derfor at konstruksjoner uten grunnmursplate kan ha en betydelig større oppfukning og avdampning til innelufta.

#### 4.3.2 Innetemperatur

For kjellerrom uten innvendig utforing er innetemperaturen satt til 14 °C som standard. Dette er den antatte gjennomsnittstemperaturen for uoppvarmede kjellere. Som vist i kapittel 2.5.5 har innetemperaturen stor betydning for uttørkingen av konstruksjonen. Det er derfor naturlig å anta at innetemperaturen også har betydning for avdampingen fra konstruksjonen.

For konstruksjonene med innvendig utforing er det benyttet innetemperatur på 22 °C. Dette skal gjenspeile innredede kjellerrom, og de er som oftest oppvarmet.

#### 4.3.3 Sesongbetont oppfukning

Som standard er RF i grunnen satt konstant lik 98 %.

For å illudere en hevet grunnvannstand, som følge av en lengre periode med kraftig nedbør, er det vurdert et beregningstilfelle der RF under sålen er satt til 100 % i september. Som vist i kapittel 2.5.10 vil en hevet RF i grunnen kunne ha stor betydning for fuktsituasjonen i konstruksjonen. For beregningene i dette kapittelet er den høye oppfuktingen begrenset til en måned.

#### 4.3.4 Grunnmursmateriale

Det er benyttet betong B15 som standardmateriale i disse beregningene.

Det er også vurdert to beregningsvarianter med lettklinker som grunnmursmateriale. Det er spesielt to egenskaper som skiller lettklinker fra betong. Den vil ha en lavere kapillær transportkapasitet, som vil føre til en redusert kapillær oppfukting. På den andre siden er lettklinker langt mer dampåpen enn betong. Dette gir grunn til å tro at avdampingen vil foregå langt lettere for lettklinker, og dermed kan avdampingen totalt sett bli større med lettklinker som grunnmursmateriale.

#### 4.3.5 Dampmotstand i innvendig kledning

For konstruksjoner med innvendig kledning er ikke avdampning fra grunnmuren aktuelt å betrakte. I disse tilfellene er det RF i bunnsvillen og i sjiktet mellom isolasjon og grunnmur som er av interesse.

Det er vurdert to dampmotstander i den innvendige kledningen. Dampåpen kledning gir bedre uttørkingsmulighet og lavere RF i bunnsvillen. Det er også vurdert to beregningstilfeller med PE-folie bak innvendig sponplate. Denne kledningen er da å betrakte som damptett. PE-folie brukes for å redusere risiko for kondensutslag, men vil også redusere uttørkingsmulighetene betraktelig. Det kan derfor forventes at RF i bunnsvillen vil få et høyere RF-nivå som følge av dette.

Bunnsvillen anses som en fuktkritisk del av utforingen, og det er dette som er grunnen til at RF måles i dette området.

#### 4.3.6 Effekt av grunnmursmateriale med damptett innvendig kledning

For konstruksjonen med innvendig utforing er det vurdert et tilfelle med damptett innvendig kledning og lettklinker som grunnmursmateriale. Siden bunnsvillen vil kunne være utsatt for høy oppfukting med damptett innvendig kledning, er det ønskelig å vurdere hvordan den samme bunnsvillen oppfører seg når grunnmursmaterialet er mindre kapillærsugende.

Bunnsvillen ligger fortsatt anlagt på betonggulvet, og vil således være utsatt for oppfukting fra gulvet.

#### 4.3.7 Beregningsvarianter

I tabell 4.1 er alle beregningsvariantene oppsummert.

Tabell 4.1: Beregningsvarianter for konstruksjon for utbedring. Standardparametre i fet skrift

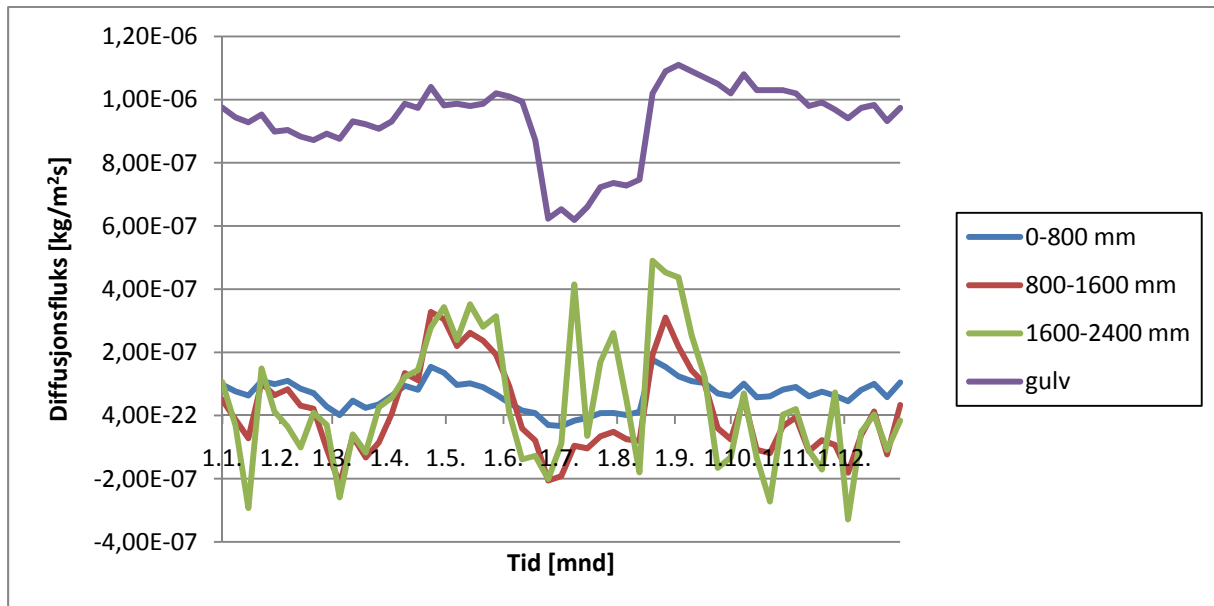
Parametre		Variant							
	Verdi	1	2	3	4	5	6	7	8
Grunnmursplate	<b>Med</b>	x		x	x	x	x	x	x
	Uten		x						
Innvendig temperatur	<b>T<sub>i</sub> = 14 °C</b>	x	x		x	x			
	T <sub>i</sub> = 22 °C			x			x	x	x
Sesongbetont oppfukting	<b>Konstant 98 %</b>	x	x	x		x	x	x	x
	100 % i september				x				
Grunnmursmateriale	<b>Betong B15</b>	x	x	x	x		x	x	
	Lettklinker					x			x
Innvendig utforing	<b>Ingen utforing</b>	x	x	x	x	x			
	100 mm, isolert						x	x	x
Dampmotstand innvendig kledning	<b>Ingen kledning</b>	x	x	x	x	x			
	1,0 m						x		
	70 m							x	x

## 4.4 Resultater og vurderinger

Alle resultatene fra disse beregningene ligger vedlagt i appendiks E.

### 4.4.1 Standard beregningsvariant

Diffusjonsfluksen for beregningsvariant 1 er vist på figur 4.5. Beregningsvariant 1 er å anse som standardvarianten.



Figur 4.5: Diffusjonsfluks for beregningsvariant 1

#### Tolkning av resultatene

Resultatene fra disse beregningene er gitt som diffusjonsfluks i kg fukt pr. kvadratmeter og sekund. Positive verdier betyr innadrettet fuktstrøm. Som figuren viser er fuktstrømmen noe varierende etter hvilken vegg høyde som betraktes. Tallene på grafene beskriver hvilket intervall som betraktes i millimeter fra gulvnivå.

Intervallet 1600–2400 mm befinner seg over terrengnivå. Ettersom uteklimaet kan ha raske og store svingninger, vil også fuktstrømmen inn eller ut av konstruksjonen svinge tilsvarende. Grafen i figuren er basert på ukeverdier og disse svingningene er derfor noe dempet, men effekten er allikevel tydelig, i forhold til de andre grafene. Grafen viser at det er en betydelig utadrettet fuktstrøm enkelte deler av året.

Gulvkonstruksjonen har en diffusjonsfluks som er i størrelsesorden ti ganger større enn fuktstrømmen i veggkonstruksjonen. Slik gulvkonstruksjonen er modellert i WUFI er det grunn til å tro at denne verdien er noe overestimert. Noen av grunnene kan være:

- Gulvkonstruksjonen er modellert uten noe fuktisolasjon overhodet. I virkeligheten vil antageligvis konstruksjonen være utført med minimum et drensag.
- En konstant RF på 98 % gir en vedvarende kraftig oppfukting, noe som nødvendigvis ikke behøver å være tilfellet i virkeligheten.
- Gulvkonstruksjonen som betraktes er ikke nødvendigvis representativ. Den gulvkonstruksjonen på 1 m som inkluderes i beregningene kan suge fuktighet kapillært fra veggkonstruksjonen og dermed få en høyere oppfukting og avdampning enn hva den ellers ville ha fått.

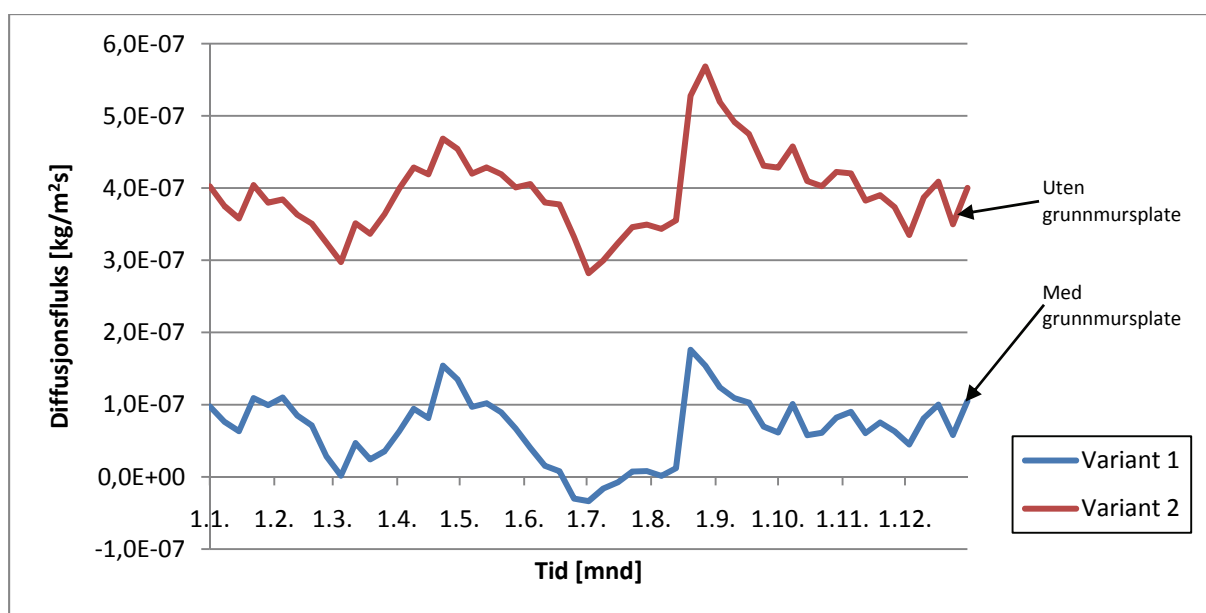
Størrelsen på avdampingen fra grunnmuren avhenger av innvendig damptrykk. I denne grafen vises det en klar reduksjon i avdampning på sommeren, når damptrykket er på det høyeste. Det er verd å merke seg at over terrengnivå og 800 mm under terrengnivå er de innerste 50 mm av konstruksjonen en treullsementplate. For de nederste 800 mm er disse 50 mm betong. Dette har en viss betydning for avdampingen siden betong er langt mer damp tett enn treullsement.

#### 4.4.2 Effekt av utvendig grunnmursplate

Uten utvendig grunnmursplate står veggkonstruksjonen utsatt for direkte oppfukning fra grunnmassene. Gulvkonstruksjonen og konstruksjonen over terrengnivå påvirkes ikke av grunnmursplaten, og disse konstruksjonsdelene vurderes ikke videre her.

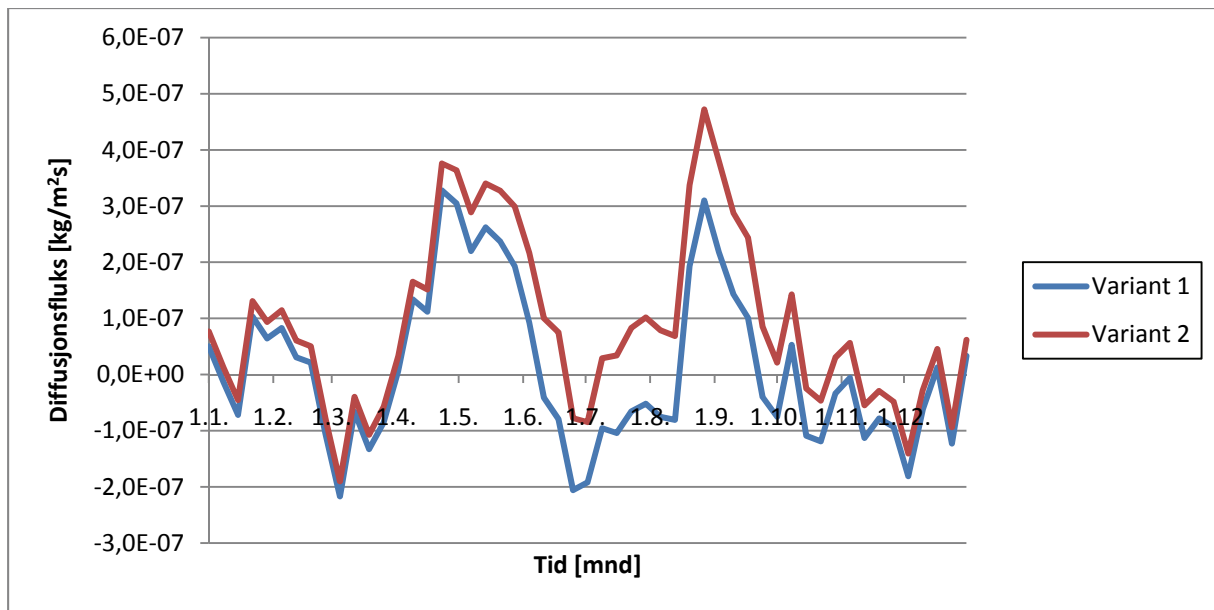
Diffusjonsfluksen for intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 2 er vist på figur 4.6. Resultatene viser at konstruksjonen uten grunnmursplate har i størrelsesorden fire ganger så høy avdampning som konstruksjonen med grunnmursplate. Disse resultatene er som ventet, og viser hvilken betydning utvendig fuktbeskyttelse har for kjellerluftas fukttilskudd.

Selv om det er stor forskjell i avdampning mellom disse variantene er det allikevel bemerkelsesverdig at grafenes form i praksis er lik. Forklaringen ligger i at fuktbelastningen i grunnen er konstant. Når fuktbelastningen i grunnen er konstant vil størrelsen til diffusjonsfluksen være bestemt av damptrykket i kjellerlufta. Damptrykket i kjellerlufta er det samme for begge beregningene, og følgelig blir grafens fasong også den samme.



Figur 4.6: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 2

Diffusjonsfluksen for intervall 800-1600 mm for beregningsvariant 1 og 2 er vist på figur 4.7. På samme måte som for intervall 0-800 mm er grafenes fasong meget like. Forskjellen i størrelse er imidlertid ikke like stor. Dette kan skyldes at noe av fuktigheten fra grunnen transporteres kapillært opp i konstruksjonen og tørker ut over terrengnivå. Som resultatene viser vil det være en betydelig utadrettet diffusjonsfluks i denne vegg høyden.



Figur 4.7: Diffusionsfluks i intervall 800-1600 mm for beregningsvariant 1 og 2

#### Kommentar

Resultatene har vist at grunnmursplaten har stor betydning for hvor mye fuktighet som avgis til innelufta. Betydningen viser seg å være størst lengst ned i konstruksjonen. Lenger opp i konstruksjonen vil noe fuktighet kunne tørke ut andre retninger enn innover. Resultatene viser også tydelig at innvendig damptrykk har betydning for størrelsen til diffusionsfluksen, og hvilken retning den går.

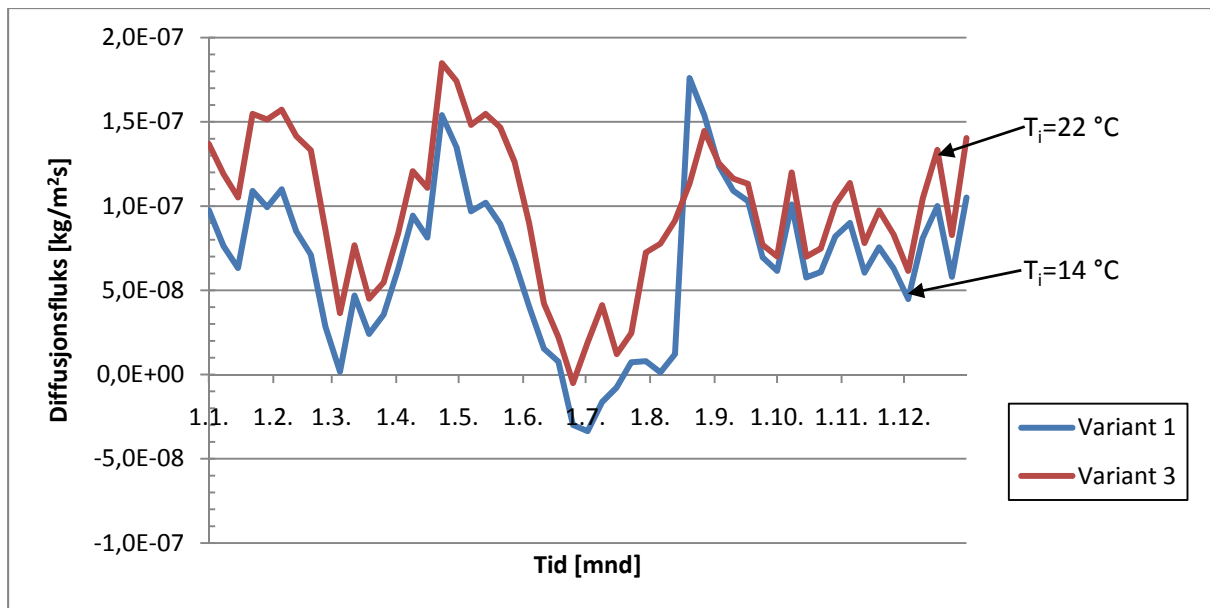
#### 4.4.3 Effekt av innvendig temperatur

I kapittel 2.5.5 ble effekten av innvendig temperatur drøftet med tanke på uttørkingsforløp og fuktnivå. Disse resultatene viste at innvendig temperatur har mye å si for uttørring i konstruksjonen. Det er derfor naturlig å anta at en raskere uttørring vil være relatert til en høyere avdamping fra konstruksjonen.

Diffusionsfluks for beregningsvariant 1 og 3 i intervall 0-800 mm er vist i figur 4.8. Som resultatene viser har beregningsvarianten med innetemperatur på 22 °C en jevnt over høyere avdamping enn standardvarianten. Selv om variant 3 får en lavere RF på grunn av høyere temperatur kan ikke den økte avdampingen forklares ved at damptrykket er lavere. Siden fukttilskuddet er det samme for begge beregningsvariantene vil også damptrykket være det samme.

Forklaringen på hvorfor økt innetemperatur medfører økt avdamping til innelufta har sannsynligvis flere forklaringer:

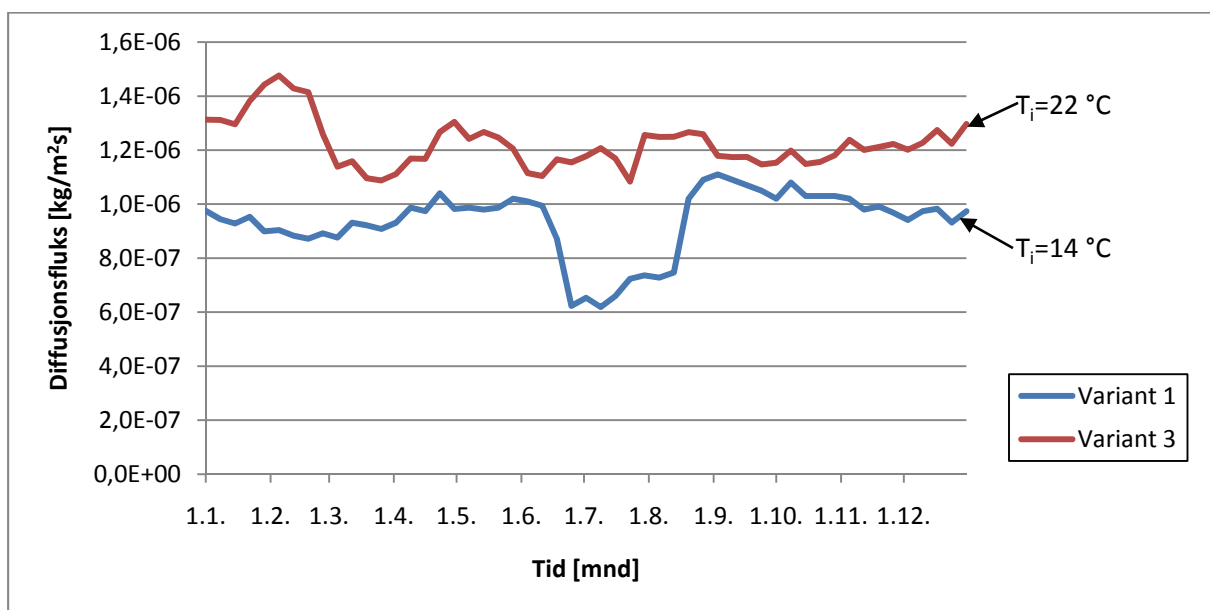
- Økt innetemperatur medfører økt temperatur i grunnen. Siden RF i grunnen er modellert som en konstant verdi medfører økt temperatur økt damptrykk i grunnen. Som følge av dette blir damptrykkpotensialet større, og diffusionsfluksen vil tilta. Denne effekten blir spesielt tydelig for konstruksjonsdelene uten fuktbeskyttelse, det vil si gulvkonstruksjonen og sålen.
- RF sier noe om luftas uttørkingskapasitet. Selv om damptrykket er det samme for begge variantene, vil variantene med lav RF kunne gi grunnmuren bedre uttørkingsforhold. Det er uvisst om denne effekten er inkludert i WUFI.
- Økt temperatur i konstruksjonen vil øke damptrykket i grunnmurens luftfylte porer, og følgelig vil avdampingen fra grunnmuren tilta.



Figur 4.8: Diffusionsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 3

Ved siden av damptrykket i grunnen vil også dampmotstanden i konstruksjonen være avgjørende for hvor mye fuktighet som avgis til kjellerlufta. Dette gjør at effekten av økt innetemperatur blir spesielt tydelig for konstruksjonsdeler med liten fuktbeskyttelse. I disse beregningene gjelder det først og fremst gulvkonstruksjonen og sålen. Intervallet 0-800 mm beskriver i hovedsak fuktstrømmen gjennom sålen. Diffusionsfluks for beregningsvariant 1 og 3 for gulvkonstruksjonen er vist i figur 4.9.

Diffusionsfluksen gjennom gulvkonstruksjonen er stor i utgangspunktet, men resultatene viser en signifikant økning ved en hevet innetemperatur. Resultatene antyder at effekten av økt innetemperatur er større jo mindre dampmotstanden i konstruksjonen er. Lenger opp i konstruksjonen vil grunnmursplaten hindre at konstruksjonen får en betydelig økning i innadrettet vanndampfluks.



Figur 4.9: Diffusionsfluks for gulvkonstruksjonen for beregningsvariant 1 og 3

### Kommentar

I dette kapitlet er det vist at økt temperatur vil øke den innadrettede diffusjonsfluksen. Denne effekten er spesielt tydelig for konstruksjonsdeler uten fuktisolasjon.

Tidligere i denne rapporten er det vist at temperaturen har sammenheng med uttørkingsforløpet. I dette kapitlet vises det at mye av fukten vil tørke til kjellerlufta. I en situasjon hvor grunnmurskonstruksjonen skal tørkes ut er det derfor tilrådelig å anbefale at temperaturen heves samtidig som det sørges for god utlufting av fuktig kjellerluft.

#### 4.4.4 Effekt av sesongbetont oppfukting

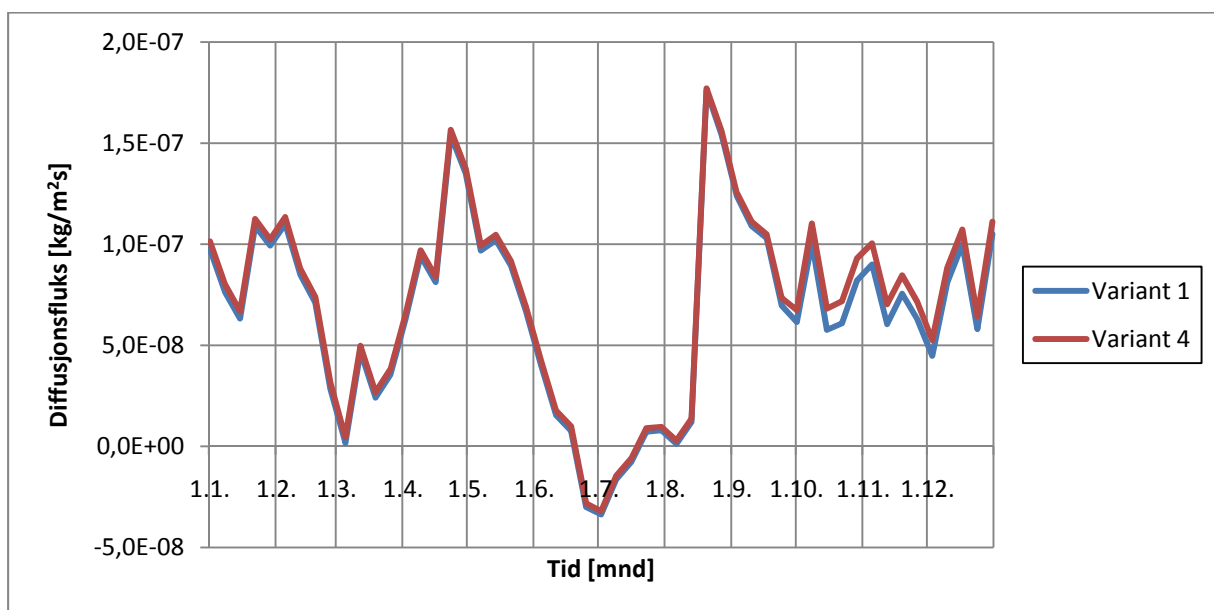
For å illudere en kraftig nedbørsperiode på høsten, er RF under sålen satt til 100 % i septembermåned. Siden den høye oppfuktingen kun foregår under sålen i disse beregningene er det kun aktuelt å vurdere intervallet 0-800 mm.

Diffusjonsfluksen for beregningsvariant 1 og 4 i intervallet 0-800 mm er vist i figur 4.10. Som forventet viser resultatene et identisk forløp i diffusjonsfluks frem til september. Effekten av oppfuktingen kommer imidlertid ikke til syne før i oktober og november. I tillegg strekker oppfuktingen seg over et par måneder. Dette viser at det er betydelig treghet i et slikt system.

Av resultatene kommer det frem at oppfuktingen medførte en relativ liten forskjell i diffusjonsfluksen. Erfaringsmessig er det spesielt i forbindelse med kraftig nedbør at kjellere opplever fuktutslag og andre fuktpåkjenninger. Det kan derfor virke som denne metoden for å modellere sesongbetont oppfukting gir noe lavere fuktbelastning enn hva som kan opptre i virkeligheten.

Resultatene fra disse beregningene er lite tydelige. Vurdert ut i fra figuren vil sannsynligvis ikke den ekstra oppfuktingen medføre noen signifikant økning i kjellerluftas RF. I fremtidige beregninger vil det kanskje være hensiktsmessig å øke RF til 100 % på flere flater, og eventuelt ha høy påkjenning over et lenger tidsrom. Dette kan gi en kraftigere oppfukting, og på denne måten gi mer realistiske resultater for kraftig sesongmessige oppfuktede konstruksjoner.

Effekter som vanntrykk og vannstrømning gjennom sprekker og skjøter lar seg ikke modellere i WUFI.



Figur 4.10: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 4



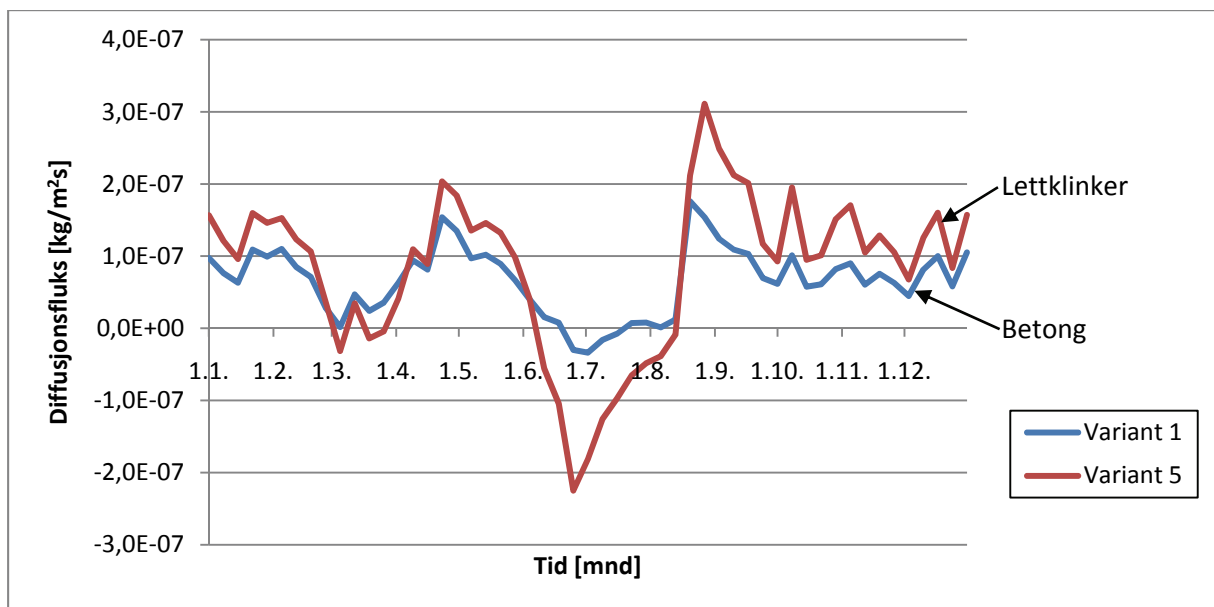
#### 4.4.5 Effekt av lettklinker som grunnmursmateriale

For beregningsvariant 5 er det vurdert lettklinker som grunnmursmateriale. Gulvkonstruksjonen er fortsatt i betong, og vil derfor ha omtrent den samme diffusjonsfluksen som standardvarianten. Gulvkonstruksjonen vurderes ikke videre i detalj her.

Diffusjonsfluks for beregningsvariant 1 og 5 i intervall 0-800 mm er vist i figur 4.11. Som resultatene viser vil begge variantene ha omtrent den samme netto avdampingen av fuktighet over ett år.

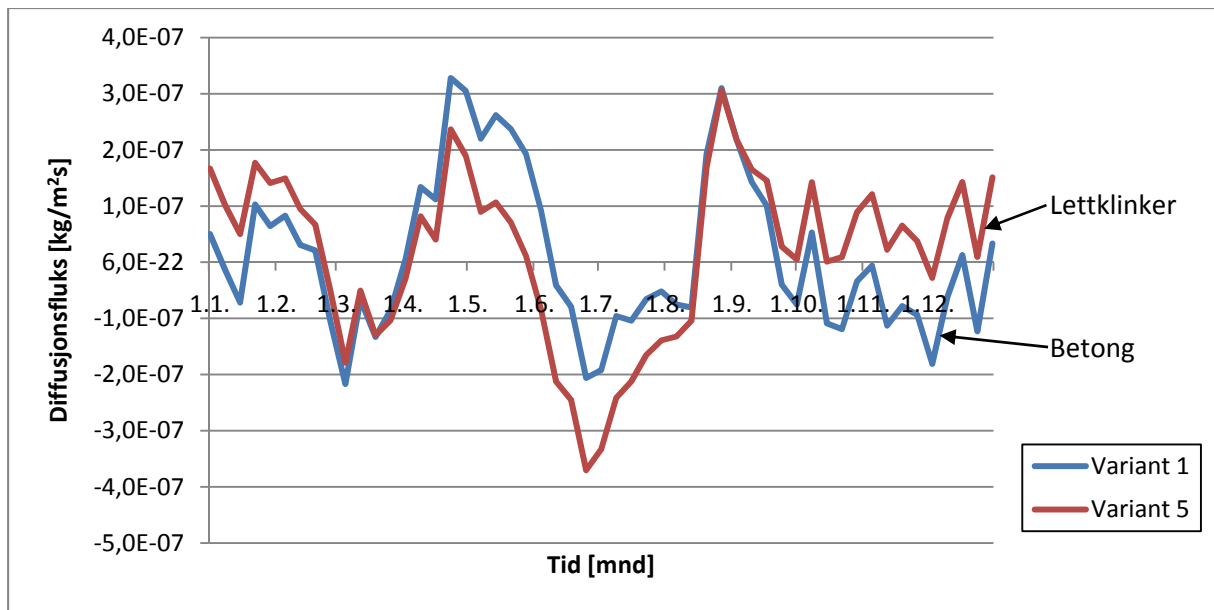
Lettklinkervarianten vil imidlertid ha større utslag enn den dampette betongvarianten. Dette medfører en kraftigere avdampning på høst og vinter, men også en større utadrettet diffusjonsfluks på vår og sommer. Resultatene sier ikke noe om den kapillære transporten av fuktighet, siden denne transportformen åpenbart ikke finner sted i luft.

Grunnen til de store utslagene skyldes at lettklinker er langt mer dampåpen enn betong, noe som tilsier at transport av fukt i dampfase går lettere. Lettklinker vil derfor raskere innstille seg i likevekt med omgivelsene, og effekten vises som større svingninger.



Figur 4.11: Diffusjonsfluks i intervall 0-800 mm for beregningsvariant 1 og 5

Noe av den samme effekten vises for intervall 800-1600 mm, som vist på figur 4.12. Lettklinkerkonstruksjonen har en lavere avdampning på vår og sommer. Denne dampåpne egenskapen til lettklinkeren medfører en utjevning i fukttilskudd, og vil kunne føre til et jevnere damptrykk i kjellerluften over året.



Figur 4.12: Diffusionsfluks i intervall 800-1600 mm for beregningsvariant 1 og 5

#### 4.4.6 Avdampingsens effekt på kjellerlufta

I disse beregningene vil ikke fukttilskuddet i innelufta påvirkes av fuktigheten som avgis fra grunnmuren, siden inneklimate er definert i en egen klimafil. I virkeligheten vil RF i innelufta stige ettersom avdampingen foregår. Med økende damptrykk i kjellerlufta vil avdampingen avta. Til slutt vil avdampingen og fukttilskuddet innstille seg i likevekt.

Siden denne effekten ikke inkluderes i beregningene er diffusjonsfluksen å betrakte som øyeblikksverdier for et gitt damptrykkpotensial. Det vil allikevel være mulig å gjøre enkle overslag med de resultatene som foreligger. Det må understrekes at det er betydelige usikkerheter i slike beregninger, som for eksempel beskrevet i kapittel 4.4.1, og at resultatene må anses som grove anslag.

I dette kapittelet skal det vurderes hvor stort fukttilskudd denne avdampingen genererer for en vanlig kjeller, hvilken effekt luftingen i kjelleren har å si på fukttilskuddet og hvilken effekt avdampingen har på grunnmurens overflatetemperatur.

For å kunne gjøre disse beregningene er det tatt utgangspunkt i følgende parametre:

- Tar utgangspunkt i resultatene fra beregningsvariant 1
- Kjeller med grunnmål 5x10 m og vegg høyde 2,4 m
- Gjennomsnittlig diffusjonsfluks for veggkonstruksjonen i april:  $1,12 \cdot 10^{-7}$  kg/m<sup>2</sup>s
- Diffusjonsfluks for veggkonstruksjonen i april:  $9,74 \cdot 10^{-7}$  kg/m<sup>2</sup>s
- Dimensjonerende utetemperatur og vanddampinnhold for Oslo i april: 5,4 °C og 4,6 g/m<sup>3</sup>

### Fukttilskudd generert av avdamping

Regner ut avgitt fukt i hele konstruksjonen pr. time:

- *Fukt avgitt fra veggkonstruksjonen:*

$$1,12 \cdot 10^{-4} \frac{g}{m^2 s} \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot ((10 + 10 + 5 + 5) \cdot 2,4) m^2 = 29,0 \frac{g}{h}$$

- *Fukt avgitt fra gulvkonstruksjonen:*

$$9,74 \cdot 10^{-4} \frac{g}{m^2 s} \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot 50 m^2 = 175 \frac{g}{h}$$

- *Totalt avgitt fukt til kjellerlufta pr. time:*

$$29,0 \frac{g}{h} + 175 \frac{g}{h} = \underline{\underline{204 \frac{g}{h}}}$$

Denne avdampingen genererer følgende fukttilskudd pr. time:

- *Fukttilskudd pr. time:*

$$\text{Fukttilskudd} = \frac{\text{Totalt avgitt fukt pr. time}}{\text{Volum av kjellerluft}}$$

$$\text{Fukttilskudd} = \frac{204 \frac{g}{h}}{(50 \cdot 2,4) m^3} = \underline{\underline{1,7 \frac{g}{m^3 h}}}$$

Avdampingen fra vegg- og gulvkonstruksjonen genererer et fukttilskudd på  $1,7 \text{ g/m}^3\text{h}$ . Denne verdien vil variere med kjellerluftas vanndamptrykk. Kjellerens vanndamptrykk vil imidlertid være avhengig av hvor godt den er ventilert.

### Effekt av lufting i kjelleren

RF i kjellerlufta vil i stor grad bestemmes av hvor godt kjelleren luftes. Disse beregningene skal se på hvordan fuktinnholdet i kjellerlufta varierer med luftskiftingstallet,  $n$ .  $n$  beskriver antall luftskiftninger pr. time. Luftskiftingstallet vil variere med trykkforskjellen mellom ute- og inneluft. Trykkforskjell mellom inne- og uteluft vil kunne forårsakes av overtrykksventilasjon, skorsteinseffekt og utvendige vindforhold.

Beregner fuktinnhold ved å se på fuktlikevekt:

- *Fukt inn = fukt ut*

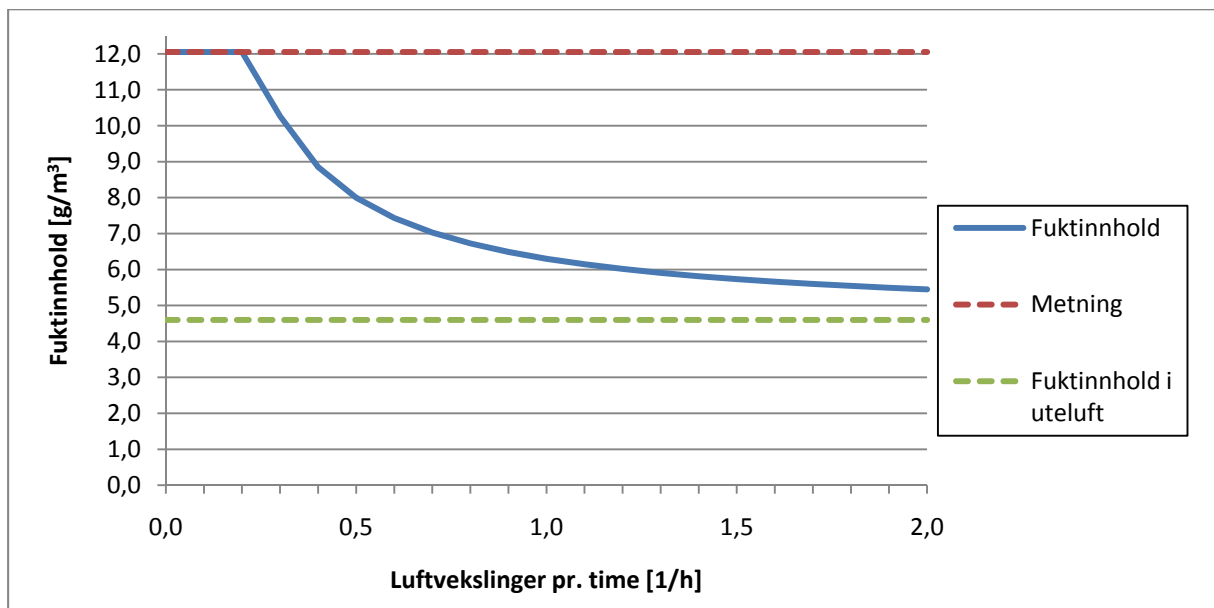
$$204 \frac{g}{h} + 4,6 \frac{g}{m^3} \cdot (50 \cdot 2,4) m^3 \cdot n \frac{1}{h} = v \frac{g}{m^3} \cdot (50 \cdot 2,4) m^3 \cdot n \frac{1}{h}$$

- *Løser ligning med tanke på fuktinnholdet,  $v$ :*

$$v = \frac{204 \frac{g}{h} + (552 \cdot n) \frac{g}{h}}{(120 \cdot n) \frac{m^3}{h}}$$

$$\underline{\underline{v(n) = 4,6 \frac{g}{m^3} + (1,7 \cdot \frac{1}{n}) \frac{g}{m^3}}}$$

For å illustrere effekten av uttørkingen kan fuktinnholdet plottes mot luftvekslingstallet, som vist i figur 4.13. Ved en innvendig temperatur på 14 °C er metningen på 12,05 g/m<sup>3</sup>.



Figur 4.13: Fuktinnhold i kjellerlufta som funksjon av antall luftvekslinger

Figuren viser at ved lavt luftvekslingstall vil fuktinnholdet øke mot metningspunktet. Dette er fordi det antas at den avgitte fuktigheten foregår ved konstant hastighet uavhengig av damptrykket i kjellerlufta. I virkeligheten vil diffusjonsfluksen avta ved økende damptrykk, slik at når RF går mot 100 % vil diffusjonsfluksen reduseres mot 0 (eller rettes utover).

Det er derfor viktig å merke seg at dette kun er et overslag, og betydelige forenklinger og antagelser er foretatt.

#### *Avdampningens effekt på grunnmurens overflatetemperatur*

Det er hevdet at oppfuktet veggkonstruksjon vil ha en redusert overflatetemperatur på grunn av fukt som fordampes av konstruksjonen. Med grunnlag i beregningsresultatene i dette kapittelet kan det gjøres et overslag over hvor mye energi som går med på fuktens faseendring.

Det må imidlertid presiseres at det ikke regnes på fordamping i ordets rette forstand, men vanddamprtransport som følge av differanse i damptrykk. Følgende forutsetninger ligger til grunn:

- Antatt diffusjonsfluks for veggkonstruksjonen:  $2,0 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^2\text{s}$
- Spesifikk fordampningsvarme for vann: 2,26 MJ/kg

Utgangspunktet for beregningene er diffusjonsfluksen. Dette beskriver fukttransporten i *dampfase*. For at vann skal gå fra væskefase til dampfase kreves store mengder energi. Denne energien vil tas fra omgivelsene, i dette tilfellet veggkonstruksjonen, som resulterer i lavere temperatur. Diffusjonsfluksen kommer imidlertid fra hele veggkonstruksjonen, og ikke kun fra overflaten.

Med utgangspunkt i diffusjonsfluksen og den spesifikke fordampningsvarmen for vann kan det beregnes hvor mye energi denne prosessen tar fra omgivelsene:

$$2,0 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}} \cdot 2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \underline{0,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

Fordampningsprosessen krever  $0,45 \text{ W/m}^2$ . Selv om det er mye usikkerheter knyttet til slike beregninger gir det en pekepinn om hvilken størrelsesorden det er snakk om. Det ligger utenfor denne rapportens omfang å beregne selve overflatetemperaturen på veggkonstruksjonen. Dette resultatet kan imidlertid gi et grunnlag for videre overslag eller beregninger.

#### *Kommentar*

I dette kapittelet er det gjort tre forskjellige beregninger.

Det er vurdert hvordan avdampingen fra konstruksjonen påvirker kjellerens fukttilskudd. Ved én luftveksling pr. time ligger fukttilskuddet på  $1,7 \text{ g/m}^3$ . Hva som er et typisk luftvekslingstall vil variere med årstider og fra kjeller til kjeller. Fukttilskuddet som er beregnet her inkluderer bare avdampning fra vegg- og gulvkonstruksjonen. Det totale fukttilskuddet vil også inkludere fukt fra andre aktiviteter. Resultatene viser at avdampingen fra konstruksjonen vil ha en signifikant påvirkning på kjellerluftas fukttilskudd.

Videre er det vurdert hvordan fuktinnholdet i kjellerlufta avhenger av luftvekslingstallet. Disse beregningene tar utgangspunkt i stasjonære tilstander. Resultatene viser allikevel at utlufting er meget viktig for å redusere fukttilskuddet i kjellerlufta. Resultatene viser også at det først og fremst er dårlig ventilerte kjellere som vil ha størst effekt av å øke ventilasjonen. For godt ventilerte kjellere vil fuktinnholdet i større grad være styrt av fuktinnholdet i utelufta.

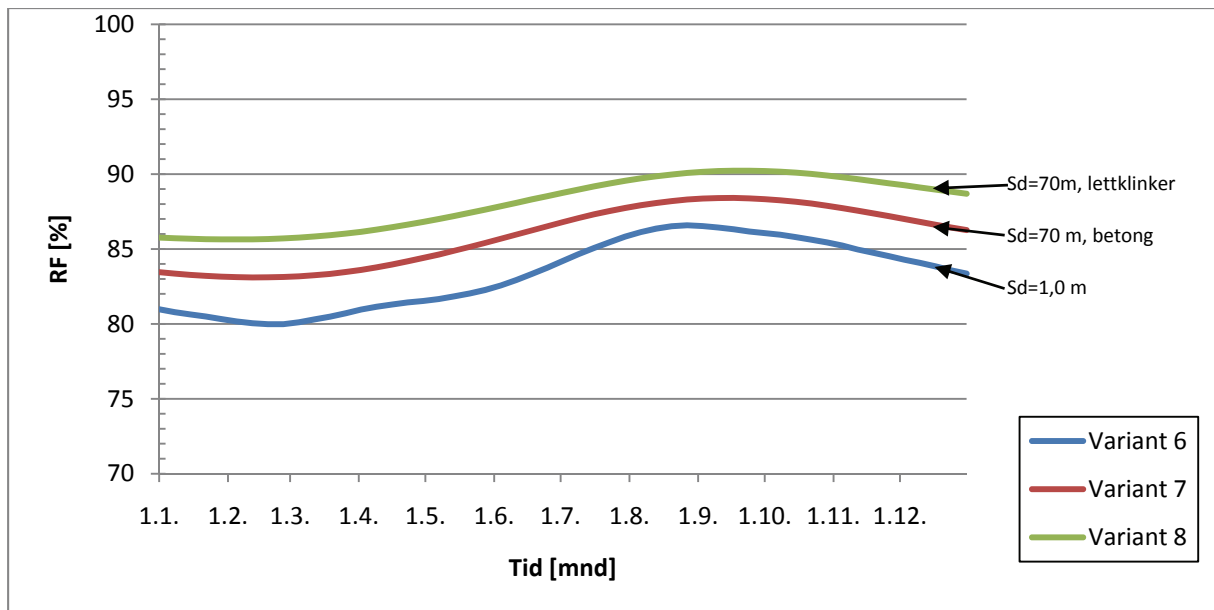
Den siste beregningen ser på hvor energikrevende diffusjonsprosessen er. Resultatene viste en varmefluks i størrelsesorden  $0,45 \text{ W/m}^2$  for veggkonstruksjonen. Overflatetemperaturen i konstruksjonen vil avhenge av blant annet grunnmursmaterialets vannmetningsgrad, varmekapasitet og varmekonduktivitet. Å beregne overflatetemperaturen kunne blitt omfattende, og ligger utenfor denne rapportens omfang. Det er uvisst i hvilken grad en varmefluks på  $0,45 \text{ W/m}^2$  påvirker overflatetemperaturen. Sannsynligvis vil hovedforklaringen til en lavere overflatetemperatur kunne tilskrives overgangsmotstanden, men varmefluksen vil kunne være et bidrag.

#### **4.4.7 RF i bunnsvill**

I en innvendig utforing er det gjerne bunnsvillen som er den mest kritiske bygningsdelen med tanke på oppfukting. I motsetning til resten av utforingen er bunnsvillen i tillegg utsatt for direkte oppfukting fra gulvkonstruksjonen.

I dette kapittelet vurderes beregningsvariant 6, 7 og 8. Alle disse beregningsvariantene er modellert med innvendig utforing. Beregningsvariant 6 er utført med dampåpen innvendig kledning. Beregningsvariant 7 er utført med PE-folie på innsiden av innvendig sponplate. Beregningsvariant 8 er også utført med PE-folie, men med lettklinker som grunnmursmateriale.

Gjennomsnittlig RF i bunnsvillen for beregningsvariant 6, 7 og 8 er vist på figur 4.14. Variant 6, med dampåpen kledning, har som forventet det tørreste uttørkingsforløpet. Som vurdert i kapittel 3.2.7 vil fuktnivåer over 75 % på sikt kunne føre til skadelig muggsoppdannelse. I dette tilfellet har alle tre beregningsvariantene en RF over 80 %, og kan derfor være utsatt for muggsoppvekst ved gunstige temperaturforhold.



Figur 4.14: Gjennomsnittlig RF i bunnsvill for beregningsvariant 6, 7 og 8

For beregningsvariantene med PE-folie ligger RF noe over den dampåpne varianten. Dette er som forventet, men forskjellen er ikke stor. Grunnen til dette kan forklares ved at PE-folien hindrer den innadrettede uttørkingen, og fuktnivået blir på denne måten høyere.

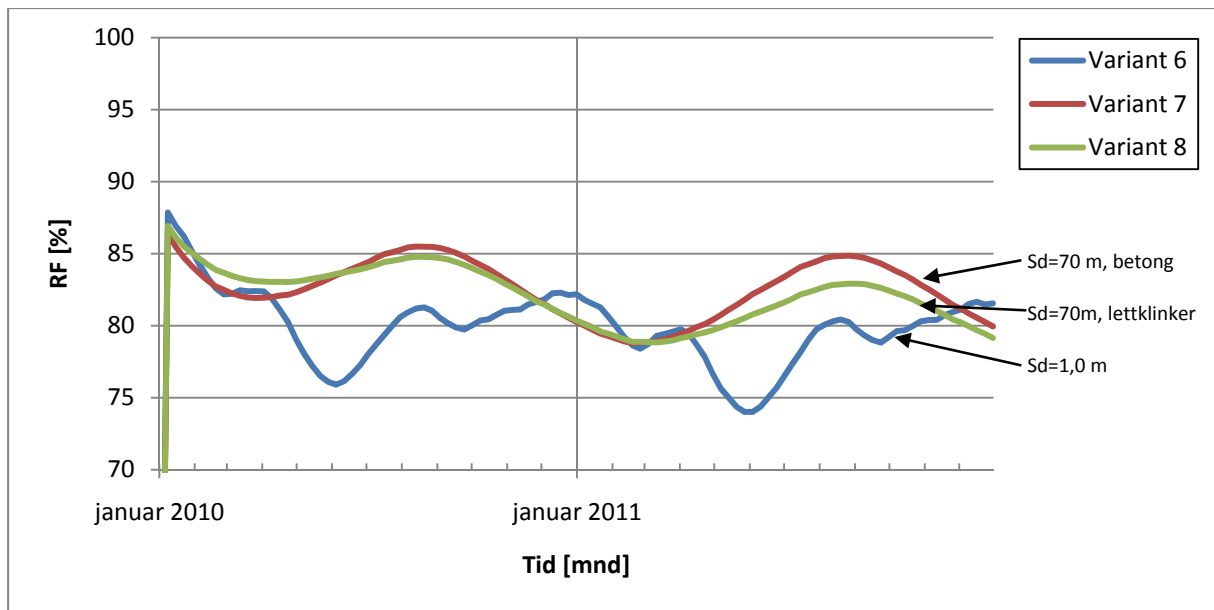
Siden lettklinker er mer dampåpen enn betong ville det vært naturlig å anta at dette kunne bidratt til en større utadrettet uttørking, og dermed en lavere RF i bunnsvillen. Som resultatene viser er ikke dette tilfellet. Sannsynligvis skyldes dette at bunnsvillen også får en større tilførsel av fukt i dampfase. Forskjellen er imidlertid liten, og sannsynligvis kommer mesteparten av oppfuktingen fra gulvkonstruksjonen som er av betong for begge beregningsvariantene. Lettklinker har høyere varmemotstand enn betong og bunnsvillen i variant 8 har derfor høyere temperatur enn de to andre variantene.

Beregningsperioden er to år. For de damptette variantene vil oppfuktingen foregå over tid. Det kan derfor tenkes at en beregningsperiode på to år er for lite til å vise om fukt akkumuleres eller ikke. Dersom oppfuktingen fremdeles foregår vil RF kunne bli enda høyere enn resultatene tilsier ved en enda lengre beregningsperiode.

#### 4.4.8 RF i utforing

Som i forrige kapittel sammenlignes beregningsvariant 6, 7 og 8. I dette kapitlet vurderes RF i selve utforingen. Målepunktet er i sjiktet mellom isolasjon og grunnmur i en høyde 1000 mm fra gulvnivå.

RF i utforingen for beregningsvariant 6, 7 og 8 er vist på figur 4.15. Merk at beregningsperioden er to år i denne figuren. Figuren viser at den dampåpne varianten, variant 6, har det tørreste uttørkingsforløpet. Dette er i tråd med gjeldene byggeforskrifter, der det ikke anbefales å bruke dampsperrer for konstruksjoner under terrengnivå. Unntaket er en liten periode på vinterstid da konstruksjonen har en høyere oppfukting enn variantene med dampsperrer. RF stiger på grunn av den lave temperaturen i dette sjiktet.



Figur 4.15: RF i utforingen for beregningsvariant 6, 7 og 8

For de damptette variantene viser resultatene ingen større forskjell i RF-forløpet. Selv om variantene med dampsperrer gir høyere RF enn varianten uten, er nok dette en vanlig utførelse for mange norske kjellerstuer. Figuren viser at RF for disse variantene ligger i området 80 – 85 % som sannsynligvis kan medføre muggsoppvekst på lang sikt.

## 4.5 Oppsummering og konklusjon

I dette kapittelet er det vurdert flere aspekter ved fuktsituasjonen i konstruksjonen før utbedringstiltak er iverksatt. Det er vurdert hvordan en fuktig konstruksjon påvirker kjellerluften ved å betrakte diffusjonsfluksen inn eller ut av grunnmuren. Det er i tillegg vurdert noen tilfeller med en innvendig isolert utføring, og hva slags fuktforhold som opptrer i denne utføringen. På denne måten blir det en naturlig todeling av dette kapittelet, siden det betraktes to forskjellige beskrivelser av fuktsituasjonen.

I den første delen av vurderingene betraktes diffusjonsfluksen inn eller ut av konstruksjonen. Det er vurdert hvordan ulike parametre påvirker denne diffusjonsfluksen.

Til å begynne med ble det vurdert hvordan en utvendig grunnmursplate, som utgjør denne konstruksjonens fuktbeskyttelse, påvirker avdampingen til kjellerluften. Uten fuktbeskyttelse blir konstruksjonen utsatt for en betydelig større oppfukning enn med grunnmursplate. Dette resulterer i en kraftigere avdamping til inneluften. Resultatene viser at økningen i diffusjonsfluks er størst lengst ned i vegg høyden. Lenger opp i konstruksjonen har fukten en tendens til å vandre oppover og tørke ut til friluft, og forskjellene vises derfor ikke like tydelig i resultatene.

Videre er det vurdert hvordan innetemperaturen påvirker diffusjonsfluksen. Resultatene viser at økt innetemperatur øker diffusjonsfluksen. Størrelsen på diffusjonsfluksen vil imidlertid være avhengig av dampmotstanden i konstruksjonen. En grunnmursplate vil dempe diffusjonsfluksen slik at effekten av økt temperatur bli mindre. I disse beregningene var økningen størst for gulvkonstruksjonen. Økningen i diffusjonsfluksen skyldes i hovedsak økt damptrykk i grunnen, som kommer som en følge av økt temperatur. Resultatene viser også at diffusjonsfluksen avhenger i stor grad av damptrykket i kjellerluften, som forklarer hvorfor diffusjonsfluksen har sesongavhengige variasjoner.

Det ble forsøkt å modellere en sesongbetont oppfukting som følge av kraftig nedbør. Resultatene var imidlertid lite tydelige, noe som kan skyldes at metoden som ble brukt i denne rapporten er utilstrekkelig. For framtidige modelleringer anbefales det å bruke kraftige oppfuktinger over lengre perioder og over større deler av konstruksjonen for å beskrive situasjonen bedre. Det resultatene imidlertid viser er at en konstruksjon utsatt for oppfukting har betydelige tregheter.

Lettklinker skiller seg fra betong ved at det er betydelig mer dampåpent. I resultatene viser dette seg som større svingninger i diffusjonsfluksen. Over ett år er den netto avdampingen omtrent den samme som for en betongkonstruksjon.

Det er gjort noen enkle overslag på hvordan denne diffusjonsfluksen påvirker kjellerlufta. Dette er enkle overslag, men resultatene indikerer at en fuktig kjellerkonstruksjon kan avgi betydelig mengder med fukt til innelufta. I hvilken grad denne avdampingen påvirker fuktinnholdet i kjellerlufta avhenger av luftingen i kjelleren. Resultatene viser at dårlig ventilerte kjellere har størst effekt av å øke luftingen, mens godt ventilerte kjellere vil få et fuktinnhold som nærmer seg fuktinnholdet i utelufta. Avdampingen fra grunnmuren vil, under de forutsetningene gjort i disse beregningene, kreve i størrelsesorden en halv watt pr. kvadratmeter.

Den andre delen av vurderingskapittelet ser på den samme konstruksjonen, men med en innvendig isolert utforing. For disse beregningene ble det vurdert gjennomsnittlig RF i bunnsvillen, og RF i grensesjiktet mellom grunnmur og isolasjon i en høyde 1000 mm fra gulvnivå.

Bunnsvillen vil være en fuktutsatt konstruksjonsdel. Resultatene viser at bunnsvillen vil få et lavere RF-forløp ved å benytte en dampåpen utforing. Ved å benytte dampspærre i utforingen blir bunnsvillen utsatt for noe høyere oppfukting, men forskjellen er liten. I begge tilfellene vil gjennomsnittlig RF ligge i området 80 – 90 %, og kan med tiden utsettes for muggsoppangrep.

Tilsvarende resultater vises i selve utforingen. Den dampåpne varianten er den tørreste av de som ble vurdert. For den dampåpne varianten ligger RF i området 75 – 80 %. For variantene med dampspærre ligger RF noe høyere, i området 80 – 85 %. Muggvekstrisikoen er ikke vurdert i dette kapittelet, men på lang sikt er det sannsynlig at disse utforingene utsettes for skadelig muggvekst.



## 5 Konklusjon

---

Parametrene som er vurdert i det første utbedringstiltaket har varierende innvirkning på uttørkingsforløpet. Dampåpen utvendig isolasjon må sies å ha en god virkning på konstruksjonens uttørkingsforløp, og i den forstand er utbedringsmetoden vellykket. Resultatene viser at uttøringen avhenger i stor grad av innetemperaturen. I en utbedringssituasjon er det derfor tilrådelig at kjelleren oppvarmes for å sikre konstruksjonen best mulig uttørkingsforhold. Dette vil også avgi mer fuktighet til kjellerlufta slik at temperaturhevingen bør kombineres med en noe økt utlufting. Det viser seg at uttøringen vil gå raskest i starten. En utbedret konstruksjon bør derfor ha mulighet til å kunne tørke ut noe fuktighet før den eventuelt blir innkledd.

Resultatene har vist at en innvendig dampmotstand vil hindre innadrettet uttøring i en slik grad at det har stor innvirkning på fuktforholdene i hele konstruksjonen. Siden utbedringstiltaket ikke vil stanse den kapillære oppsugingen av fuktighet er det derfor sannsynlig at en innvendig utforing kan fuktes opp til nivåer der skadelig muggsoppvekst kan forekomme. Det er derfor viktig at denne utbedringsmetoden kombineres med utbedring av eventuell defekt drenering og drenslag. En mulig videreutvikling av metoden vil kunne være å redusere den kapillære oppsugingen ytterligere.

For utbedringstiltak to er det de ulike parametrene påvirkning på muggsoppveksten i utforingen som betraktes. Resultatene har vist at det er spesielt grunnmurens varmemotstand som påvirker muggsoppveksten i utforingen. Konstruksjoner i betong eller tilsvarende materialer uten ekstra isolasjon er spesielt utsatt for muggsoppvekst. Fukttilskuddet er også en av parametrene som påvirker muggsoppveksten i stor grad. For de høyeste fukttilskuddene vil skadelig muggsoppvekst oppstå nesten uavhengig av konstruksjonsoppbygning. Denne utbedringsmetoden bør derfor ikke brukes for rom med kraftig fuktbelastning. Uteklimate er den siste av parametrene som vil påvirke muggveksten i utforingen i betydelig grad. Av de klimaene som er vurdert har Oslo klima de beste resultatene, mens Trondheims klima har de verste.

Muggveksten i utforingen for dette utbedringstiltaket har betydelige variasjoner med flere av parametrene som betraktes. Det vil derfor være hensiktsmessig å ha differensierte anbefalinger etter geografisk beliggenhet, konstruksjonens oppbygning og kjellerens tiltenkte bruk. Betongkonstruksjoner med lav varmemotstand bør ikke oppføres med mer enn 50 mm innvendig isolasjon. For lettklinker-konstruksjoner med god varmemotstand kan det sannsynligvis brukes 100 mm innvendig isolering uten risiko for muggvekst i utforingen.

I rapportens siste del vurderes parametre som er av betydning for avdamping fra grunnmuren til kjellerluft. Grunnmursplatens effekt på avdampingen er spesielt tydelig. De fleste nyere bygninger er utført med grunnmursplate som minimum av fuktbeskyttelse. Enkelte eldre bygninger er imidlertid oppført uten grunnmursplate eller annen fuktbeskyttelse. Innetemperaturen påvirker også avdampingen fra grunnmuren i betydelig grad.

Denne avdampingen bidrar med et betydelig fuktilskudd til kjellerlufta. Enkle overslag viser at konstruksjonen kan avgi i størrelsesorden  $1,7 \text{ g/m}^3\text{h}$  for en representativ bygning. Hvilket fuktinnhold som vil innstille seg i kjellerlufta avhenger helt og holdent på luftingen i kjelleren. Kjellere med høyt fuktinnhold i innelufta vil ha størst utbytte av å øke utluftingen, mens fuktinnholdet for godt luftede kjellere vil avhenge av utvendige forhold i større grad. Avdampingsprosessen fra konstruksjonen er energikrevende på grunn av vannets høye fordampningsvarme. Enkle overslag har vist at denne prosessen krever i størrelsesorden en halv watt pr. kvadratmeter. Dette kan sannsynligvis være med på å redusere overflatetemperaturen noe, men hovedforklaringen til redusert overflatetemperatur kan sannsynligvis tilskrives overgangsmotstanden.

## 6 Referanser

---

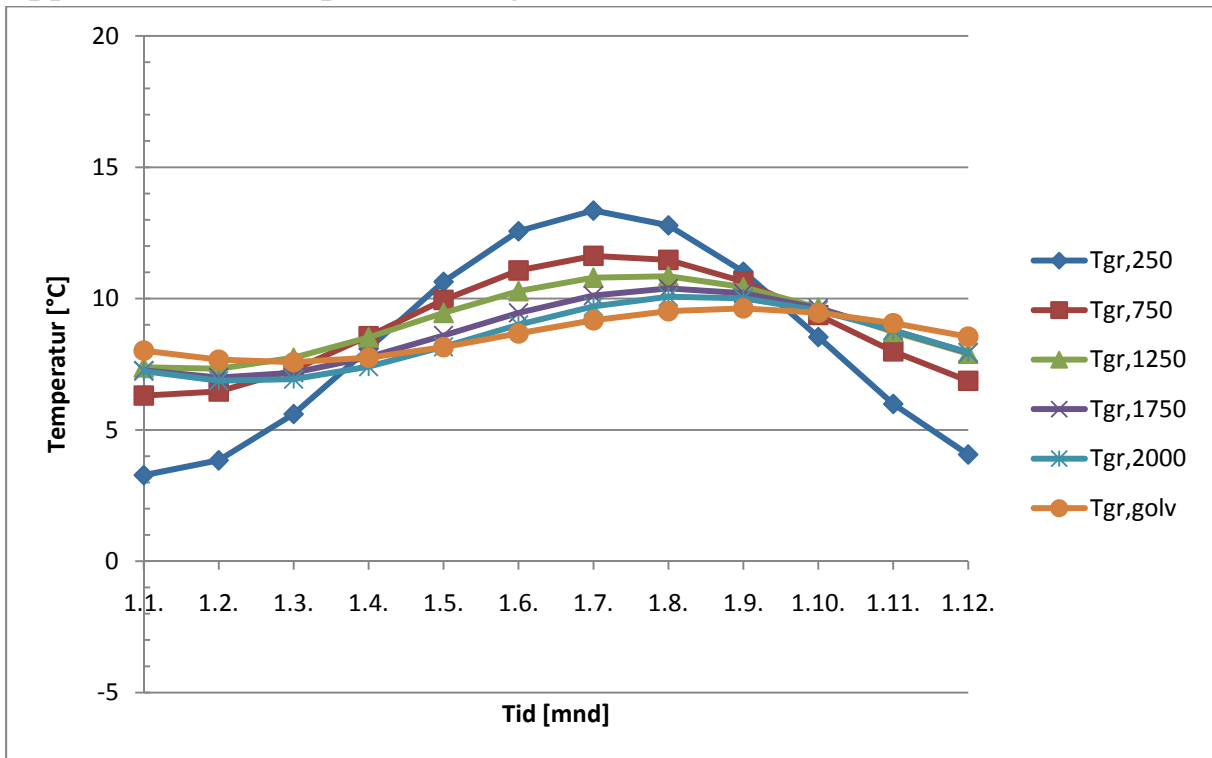
- [1] S. Geving, J. V. Thue (2002): *Fukt i Bygninger*. Norsk byggforskningsinstitutt, Oslo
- [2] H. M. Küntzel (1995): *Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters*. IRB Verlag, Stuttgart, Germany
- [3] S. Geving, J. Holme, J. A. Jenssen (2008): *Indoor air humidity in Norwegian houses*. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Report R-189, Dept. of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark, 2008.
- [4] NS-EN ISO 13370:1998: *Bygningers termiske egenskaper - Varmeoverføring via grunnen - Beregningsmetode*
- [5] SINTEF Byggforsk (2004): *Teknisk godkjenning Isodren Drensplate*
- [6] H. Viitanen (1994): Factors affecting the development of bideterioration in wooden constructions. *Materials and Structures*, Vol. 27, pp. 483 – 493
- [7] S. Uvsløkk (2005): *Tak med kaldt loft*. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo
- [8] Byggforskserien (2002): *727.113 Innredning av oppholdsrom i eksisterende kjeller*

## 7 Appendiks

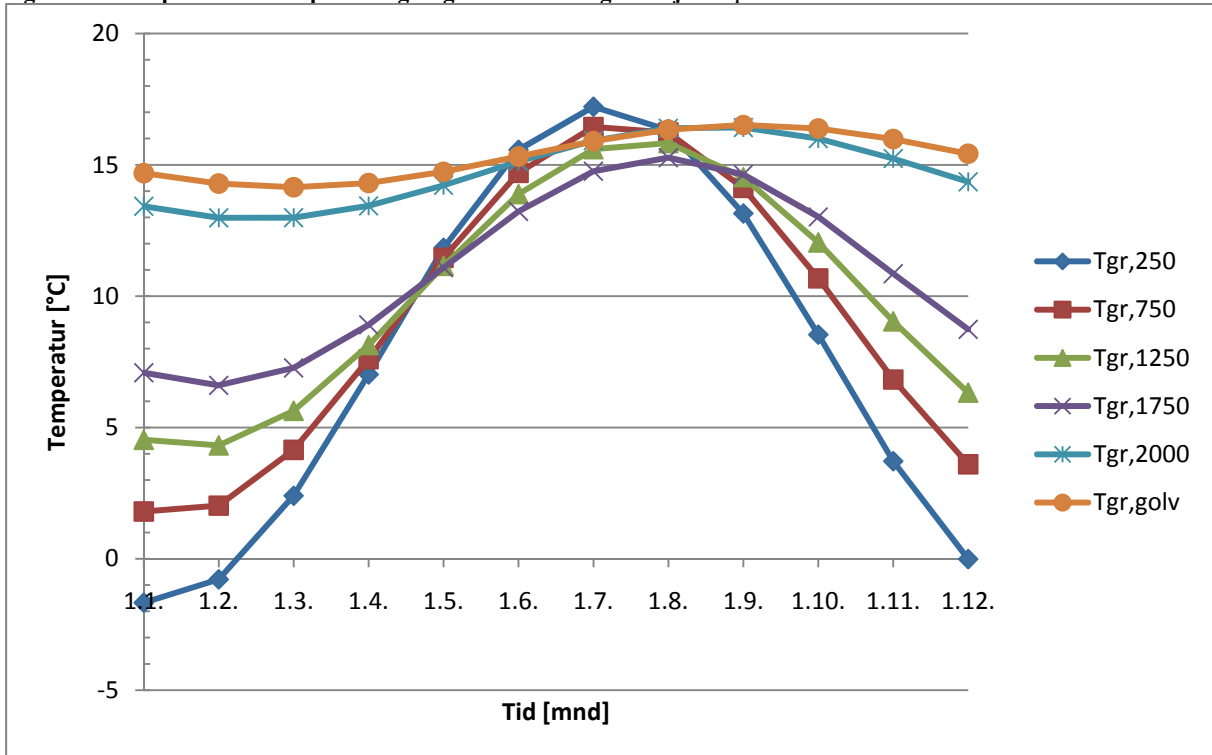
---

- Appendiks A    Temperaturer i grunnen
- Appendiks B    Beregningsresultater fra utbedringstiltak 1
- Appendiks C    Muggvekstvurderinger for utbedringstiltak 2
- Appendiks D    Beregningsresultater fra utbedringstiltak 2
- Appendiks E    Beregningsresultater for konstruksjon før utbedring

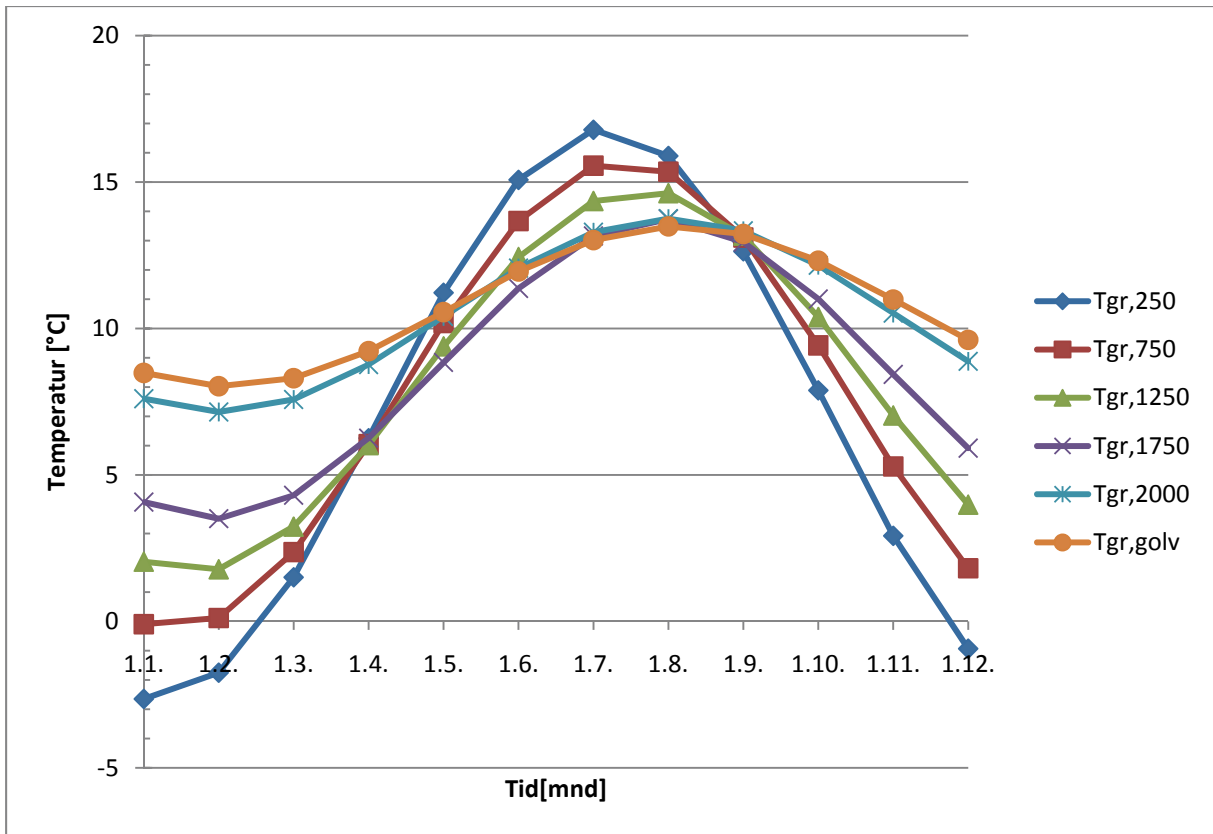
## Appendiks A – Temperaturer i grunnen



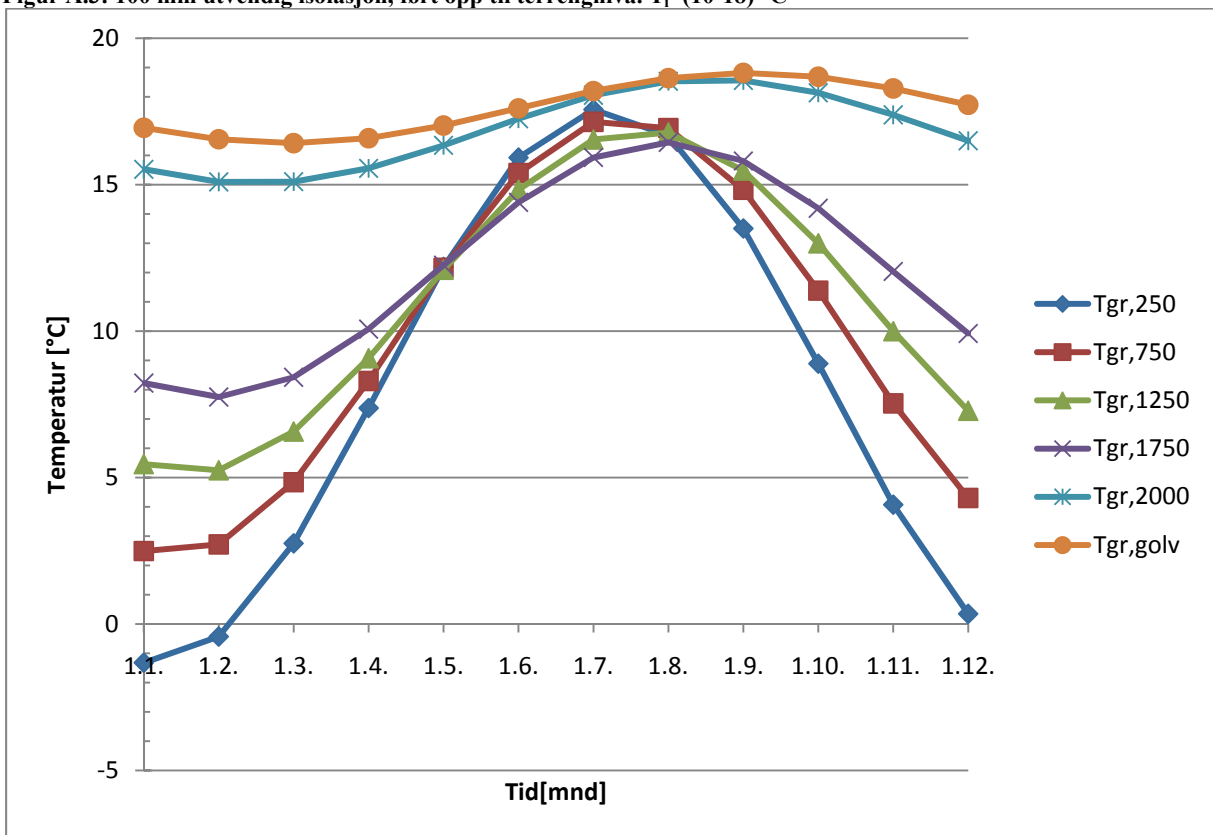
Figur A.1: Temperaturer ved pre-beregning. Uten utvendig isolasjon.  $T_i=10\text{ °C}$



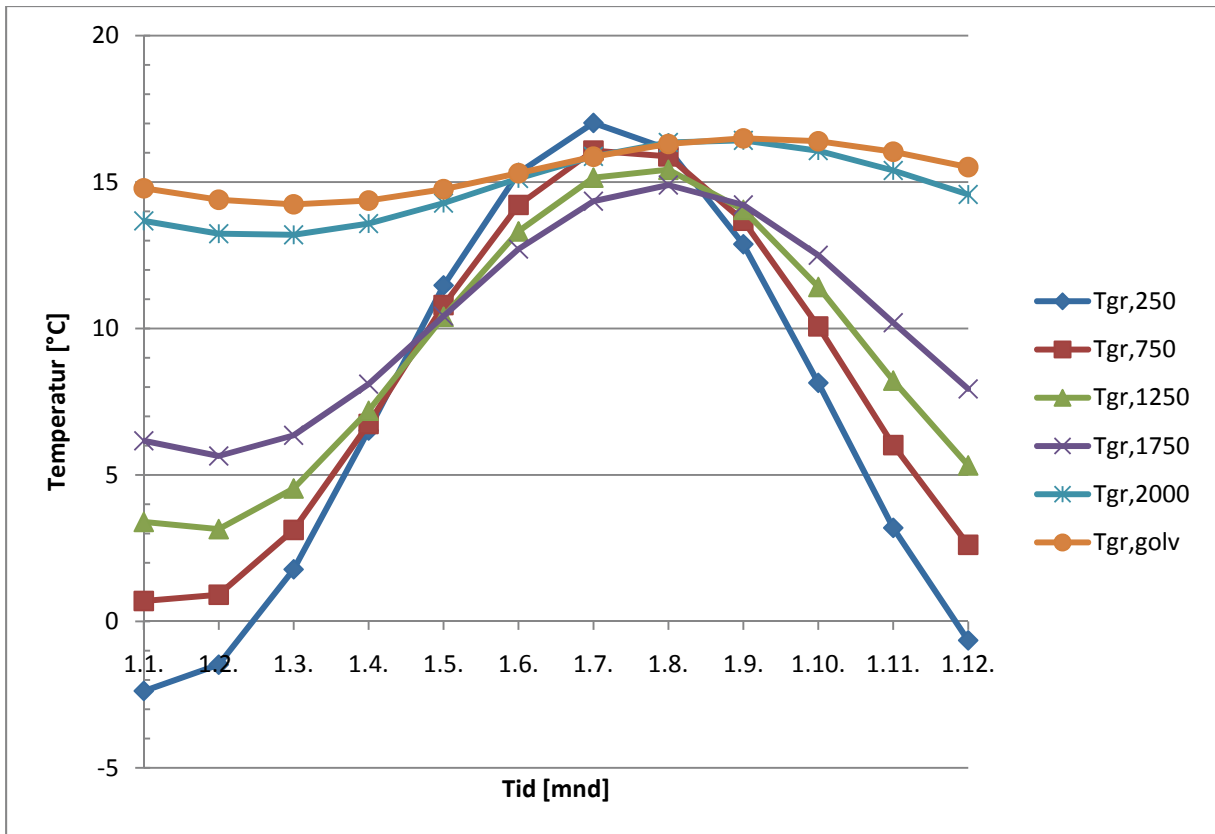
Figur A.2: 100 mm utvendig isolasjon, ført opp til terrengnivå.  $T_i=22\text{ °C}$



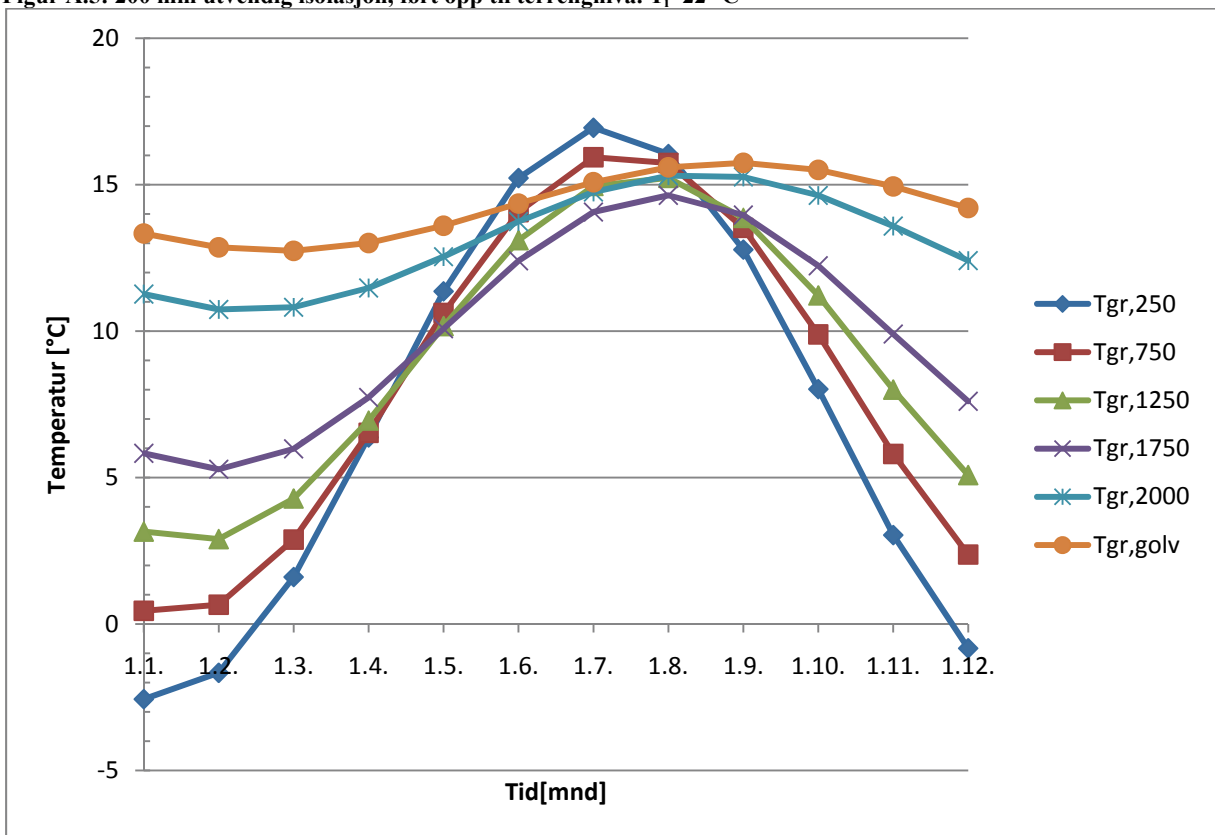
Figur A.3: 100 mm utvendig isolasjon, ført opp til terrengnivå. T<sub>i</sub>=(10-18) °C



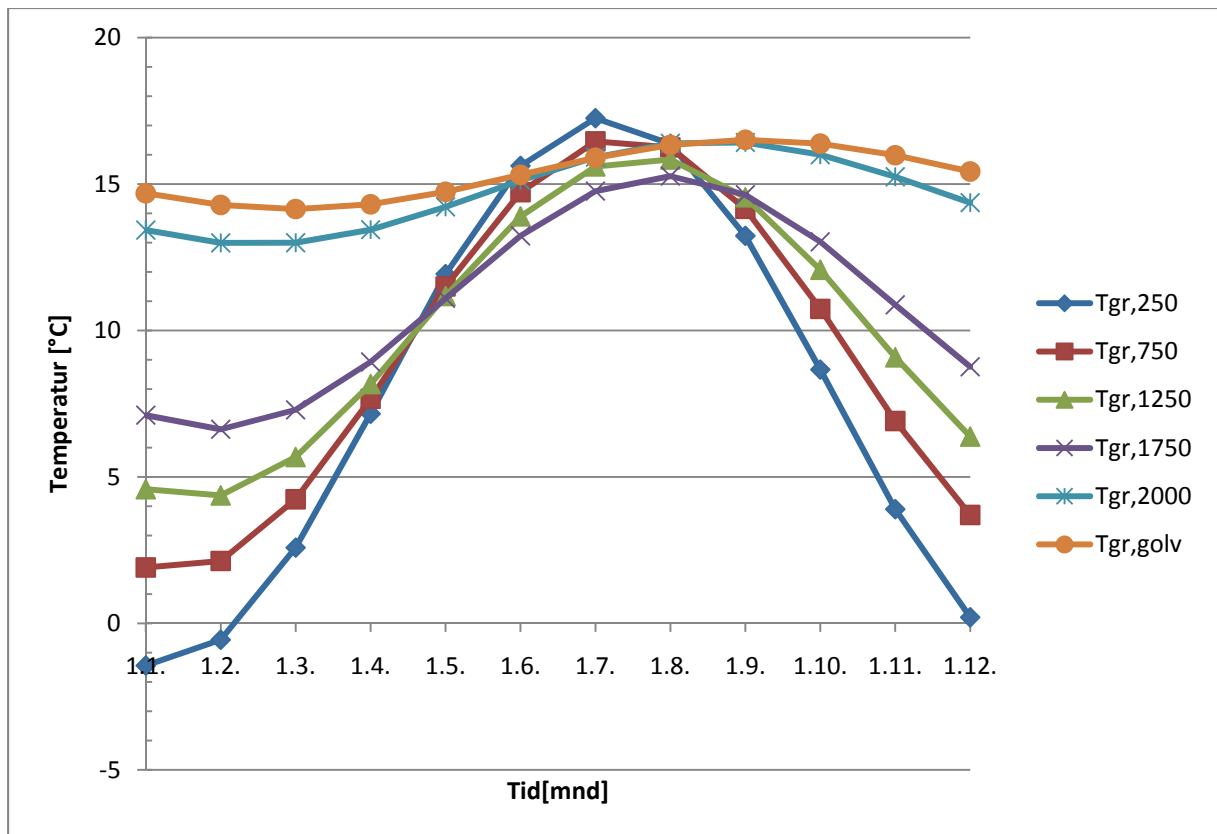
Figur A.4: 100 mm utvendig isolasjon, ført opp til terrengnivå. T<sub>i</sub>=26 °C



Figur A.5: 200 mm utvendig isolasjon, ført opp til terrengnivå.  $T_i=22\text{ °C}$



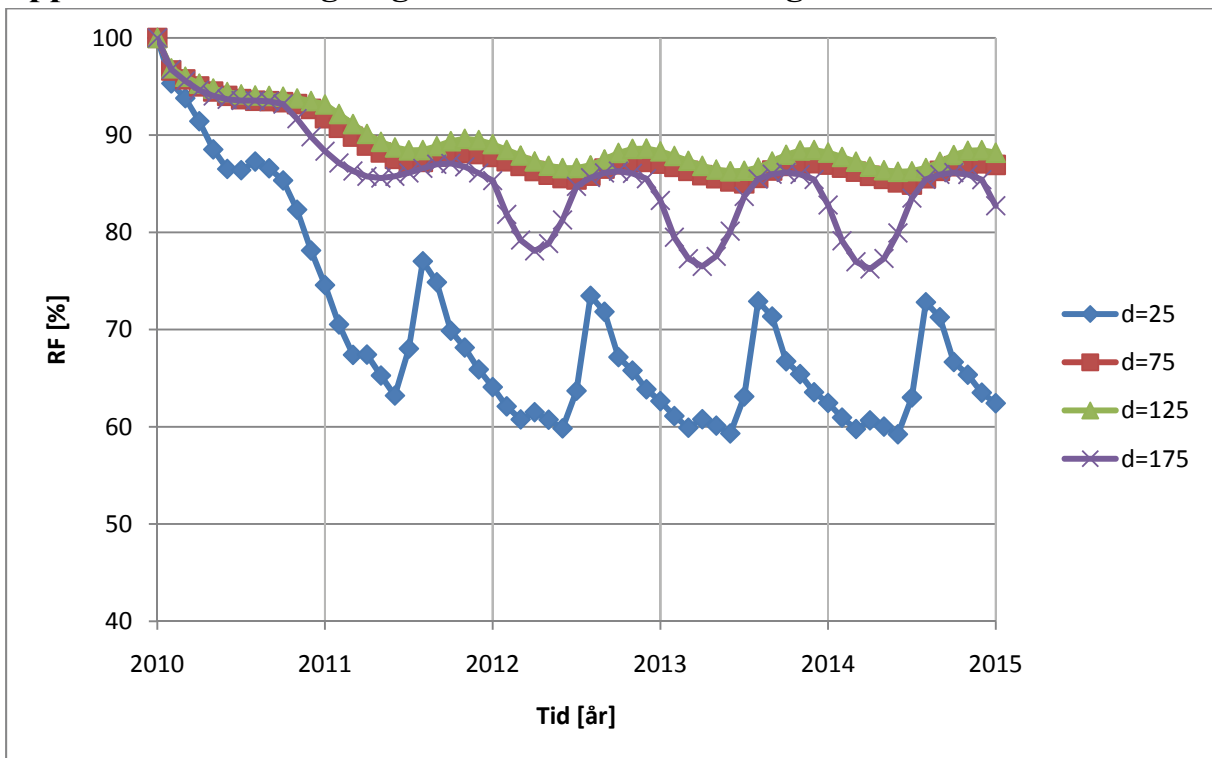
Figur A.6: 100 mm utvendig isolasjon ført opp til terrengnivå + 50 mm innvendig utføring.  $T_i=22\text{ °C}$



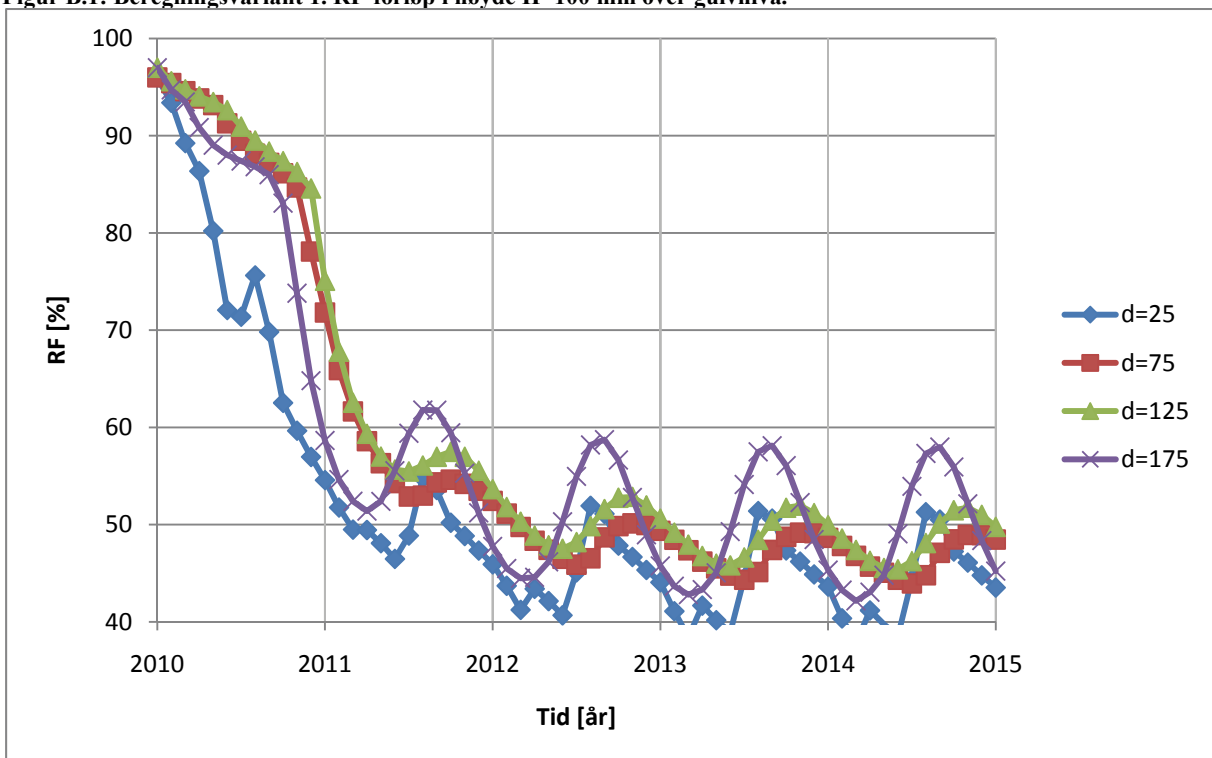
Figur A.7: 100 mm utvendig isolasjon ført opp til etasjeskiller.  $T_i=22\text{ °C}$



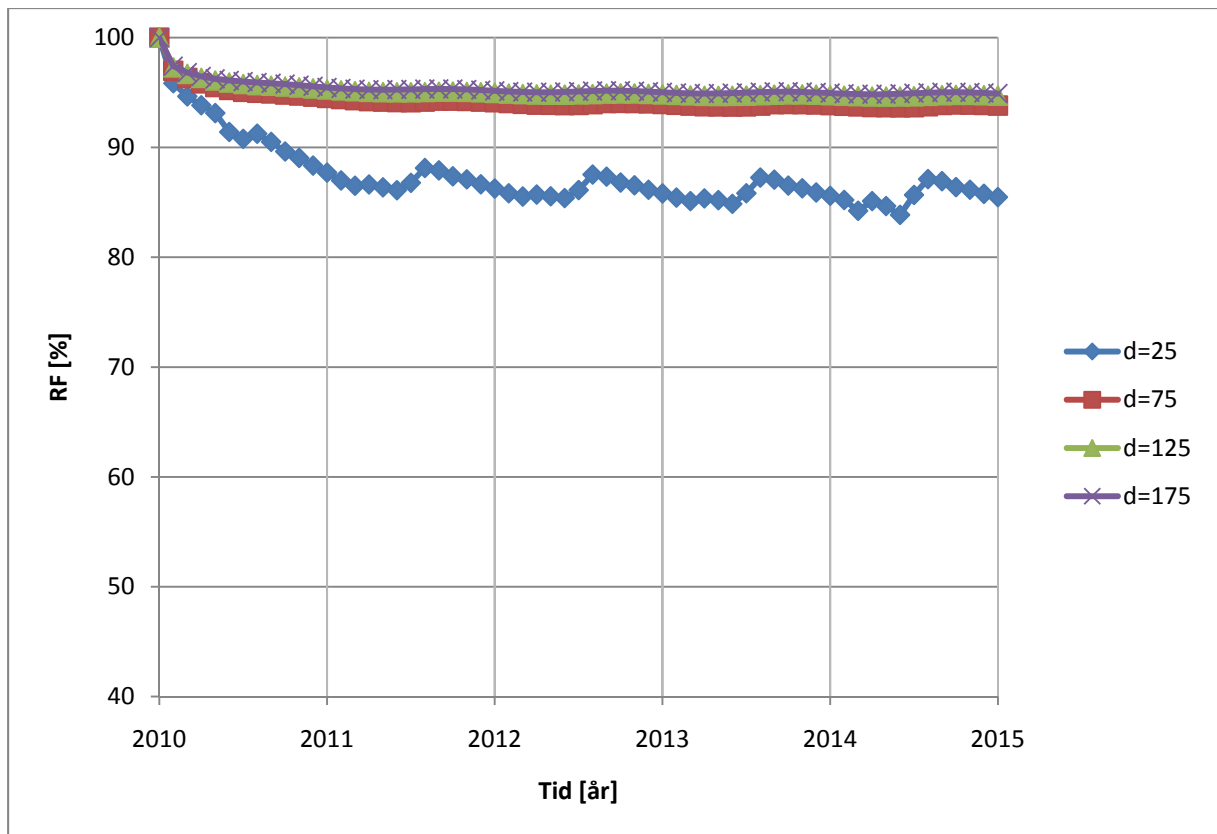
## Appendiks B – Beregningsresultater fra utbedringstiltak 1



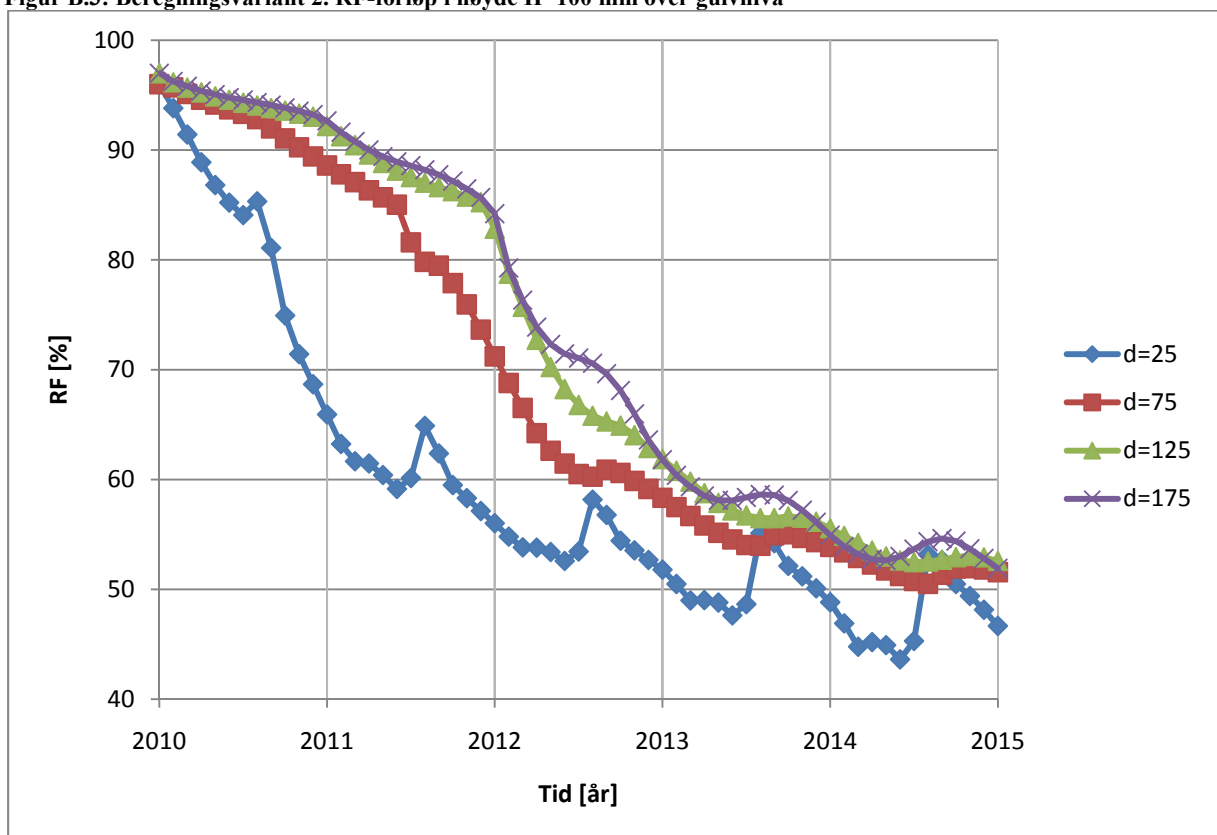
Figur B.1: Beregningsvariant 1. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå.



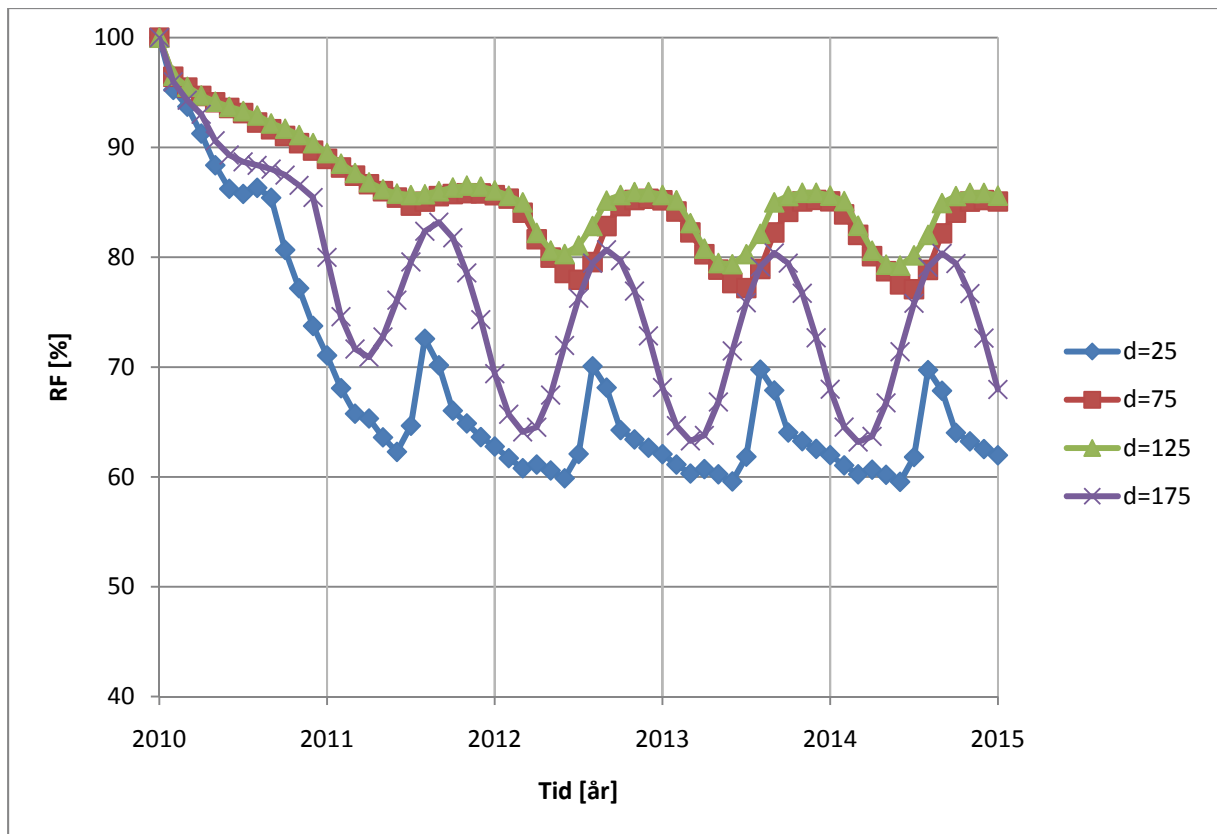
Figur B.2: Beregningsvariant 1. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



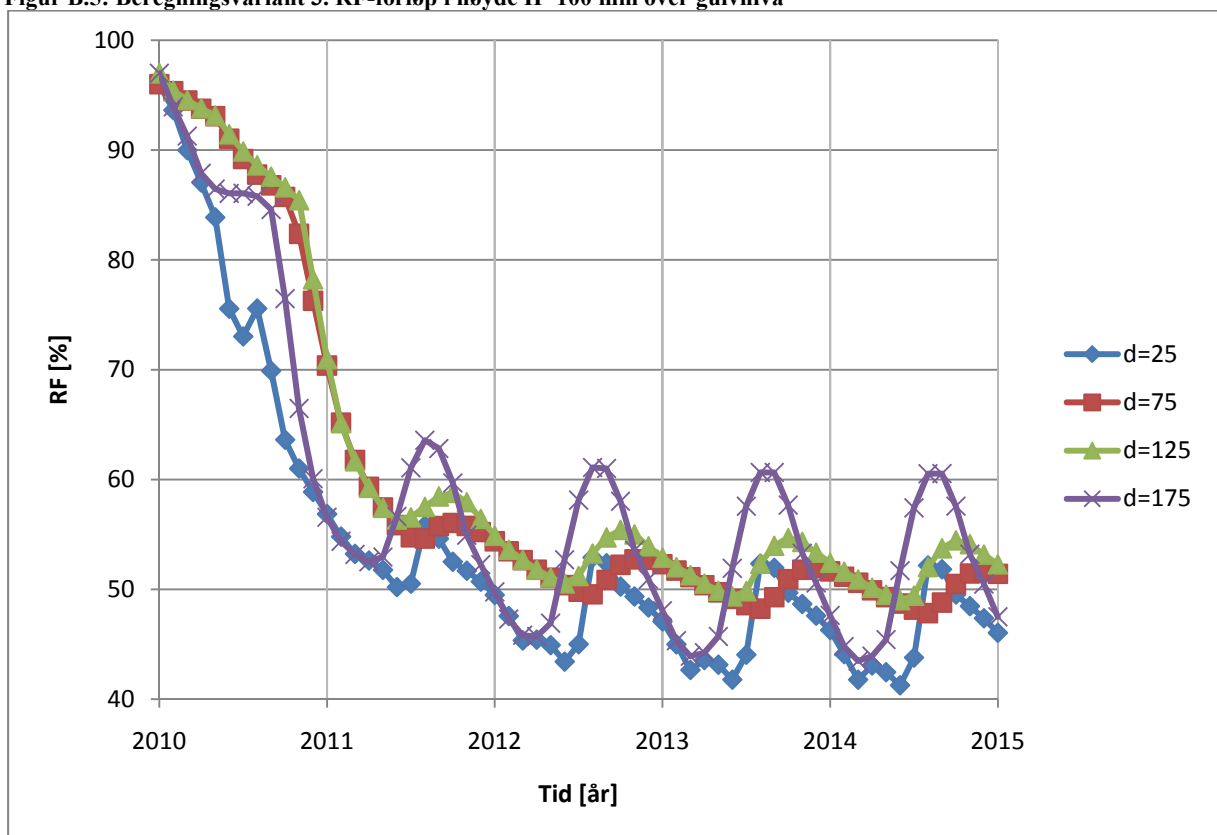
Figur B.3: Beregningsvariant 2. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



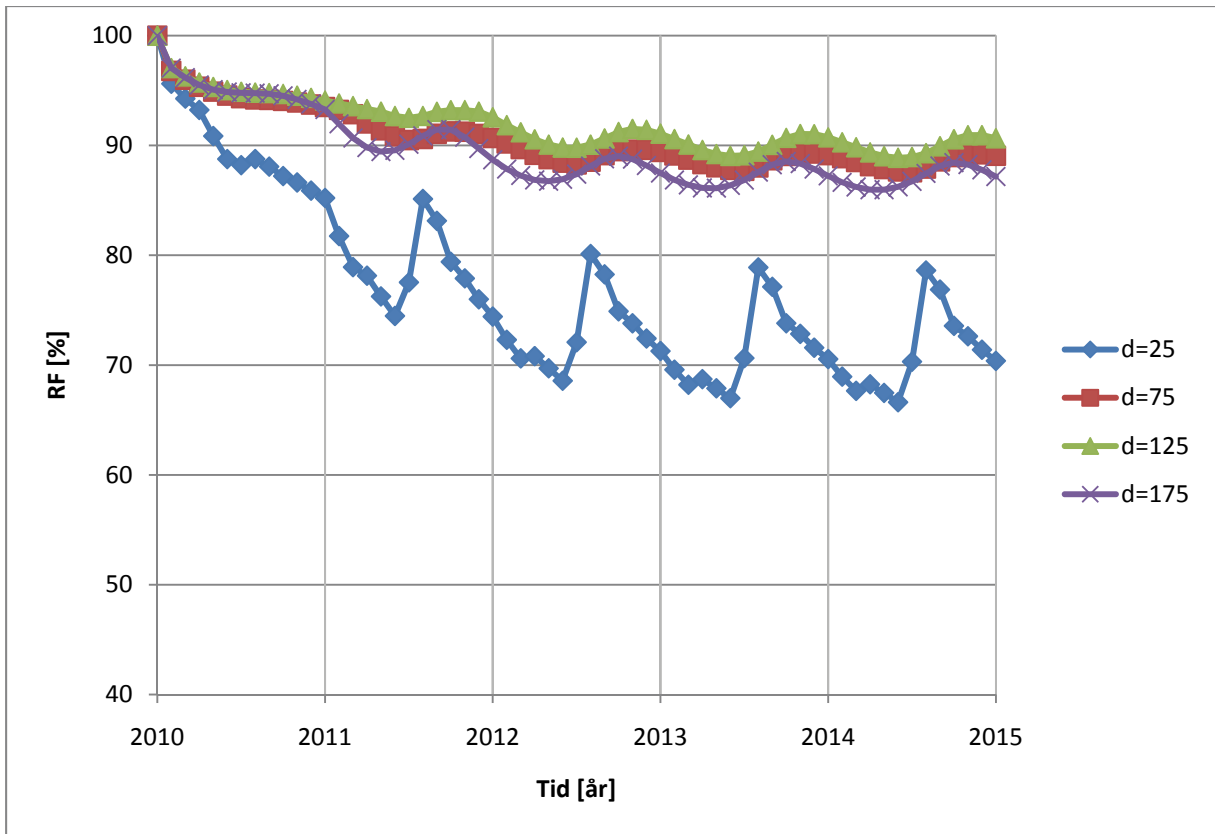
Figur B.4: Beregningsvariant 2. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



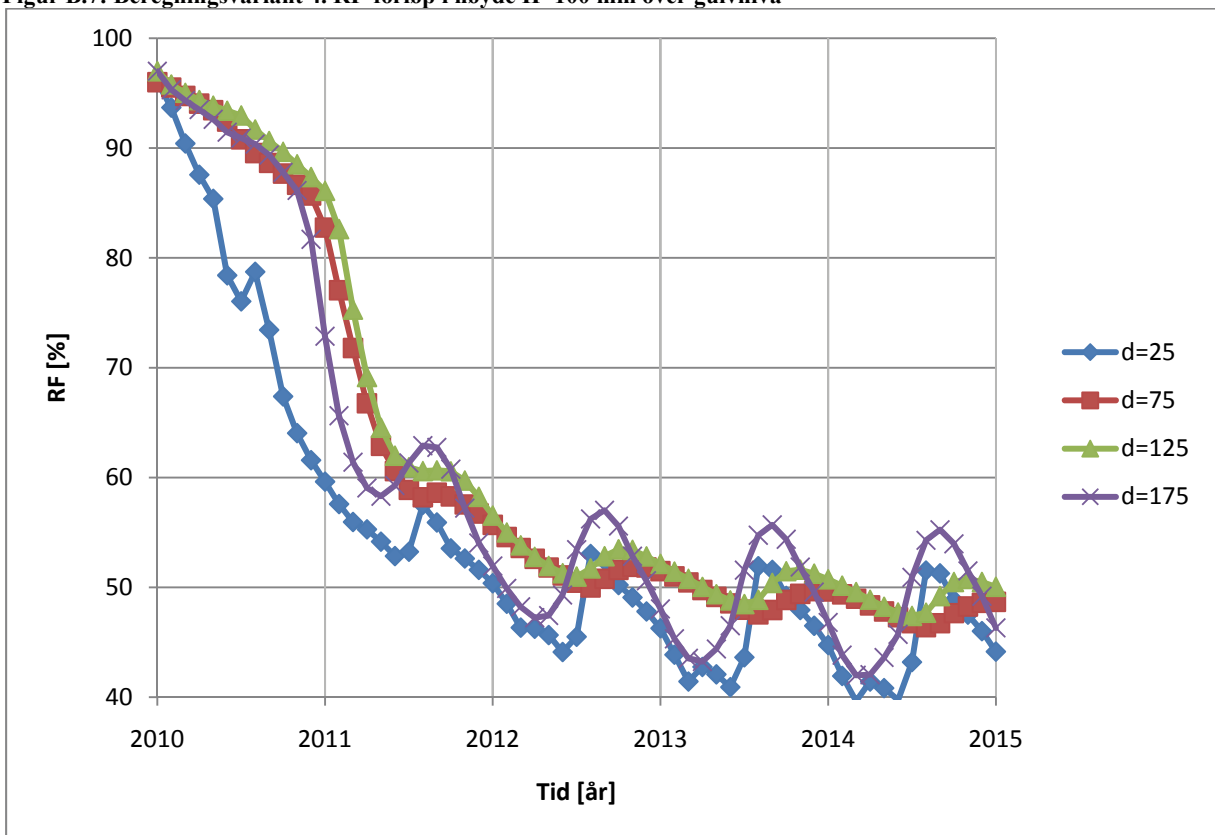
Figur B.5: Beregningsvariant 3. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



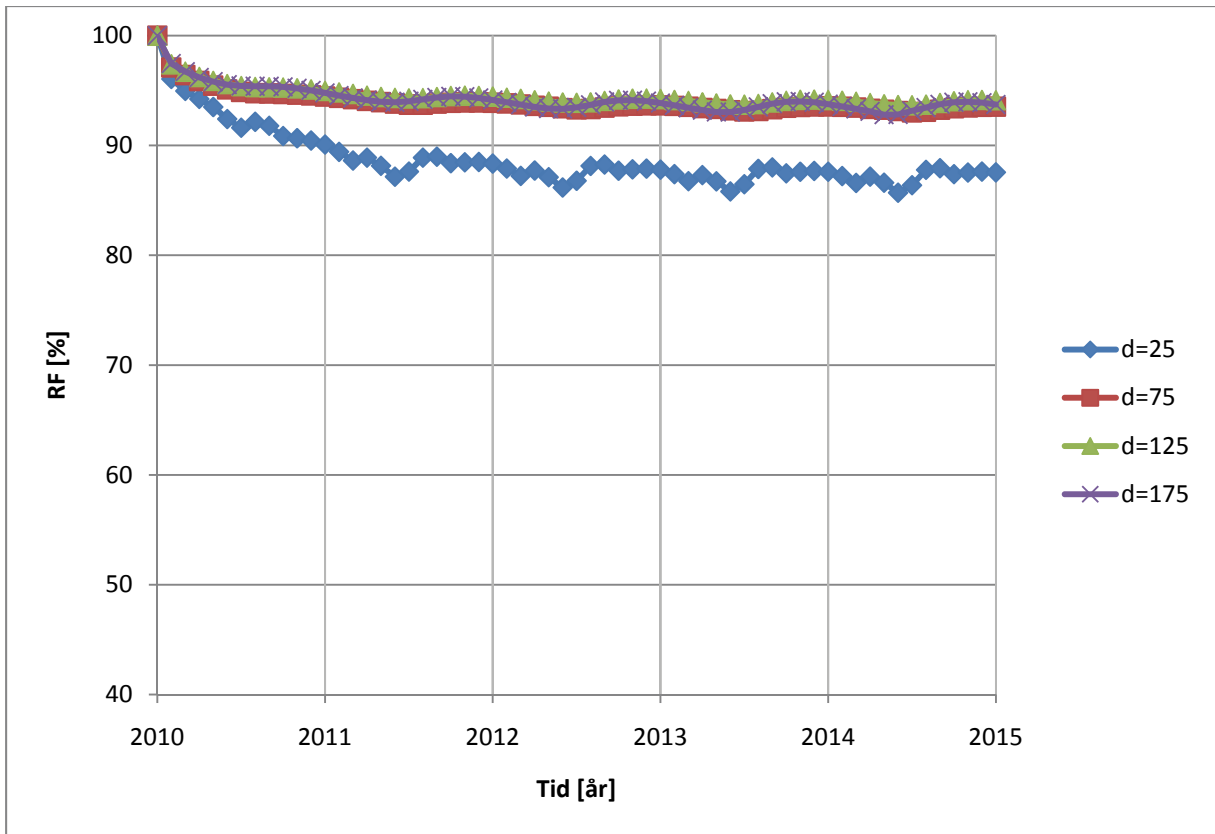
Figur B.6: Beregningsvariant 3. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



Figur B.7: Beregningsvariant 4. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



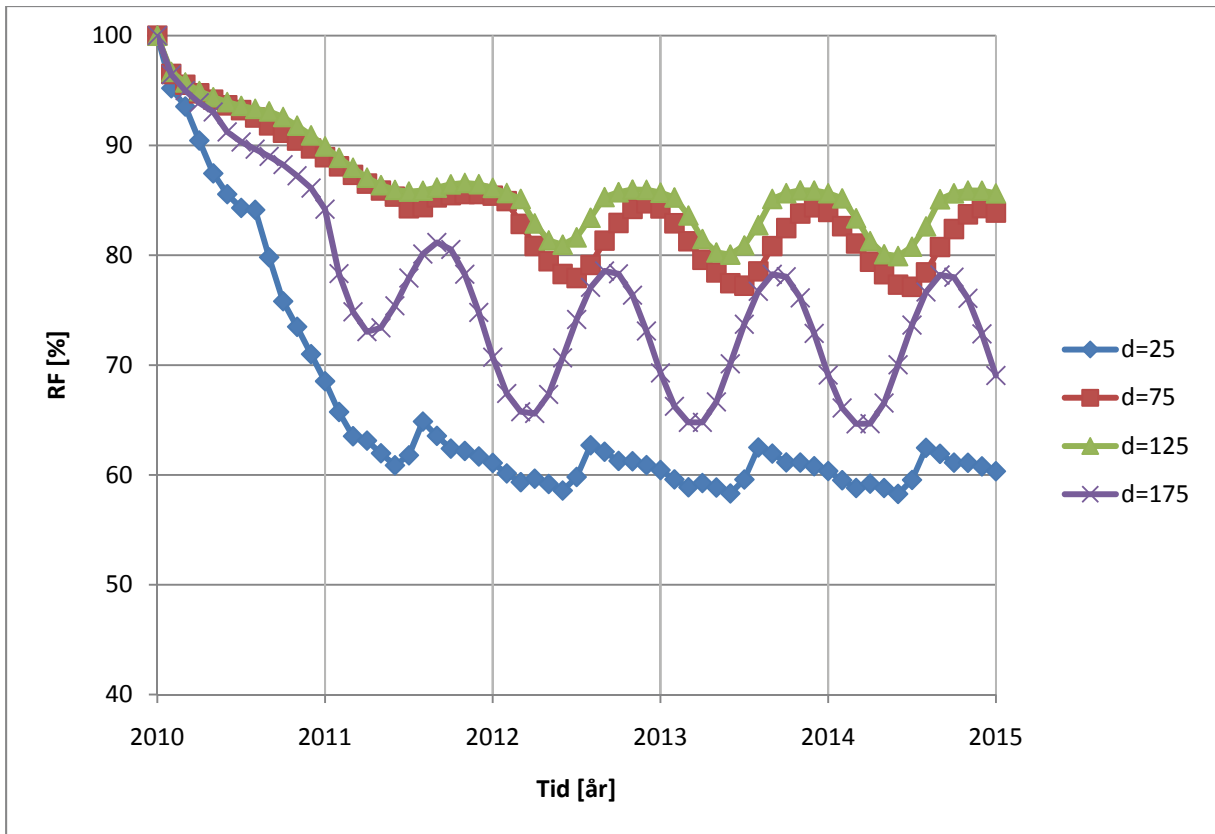
Figur B.8: Beregningsvariant 4. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



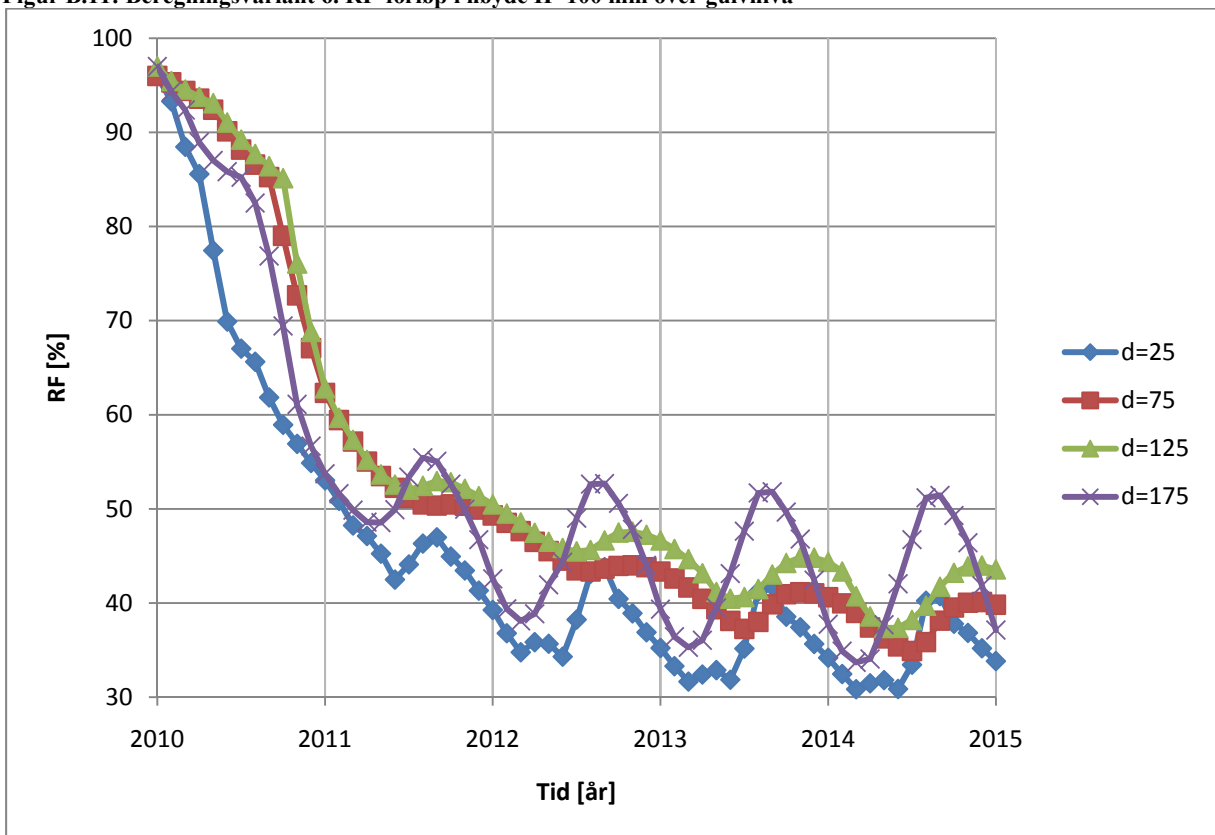
Figur B.9: Beregningsvariant 5. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



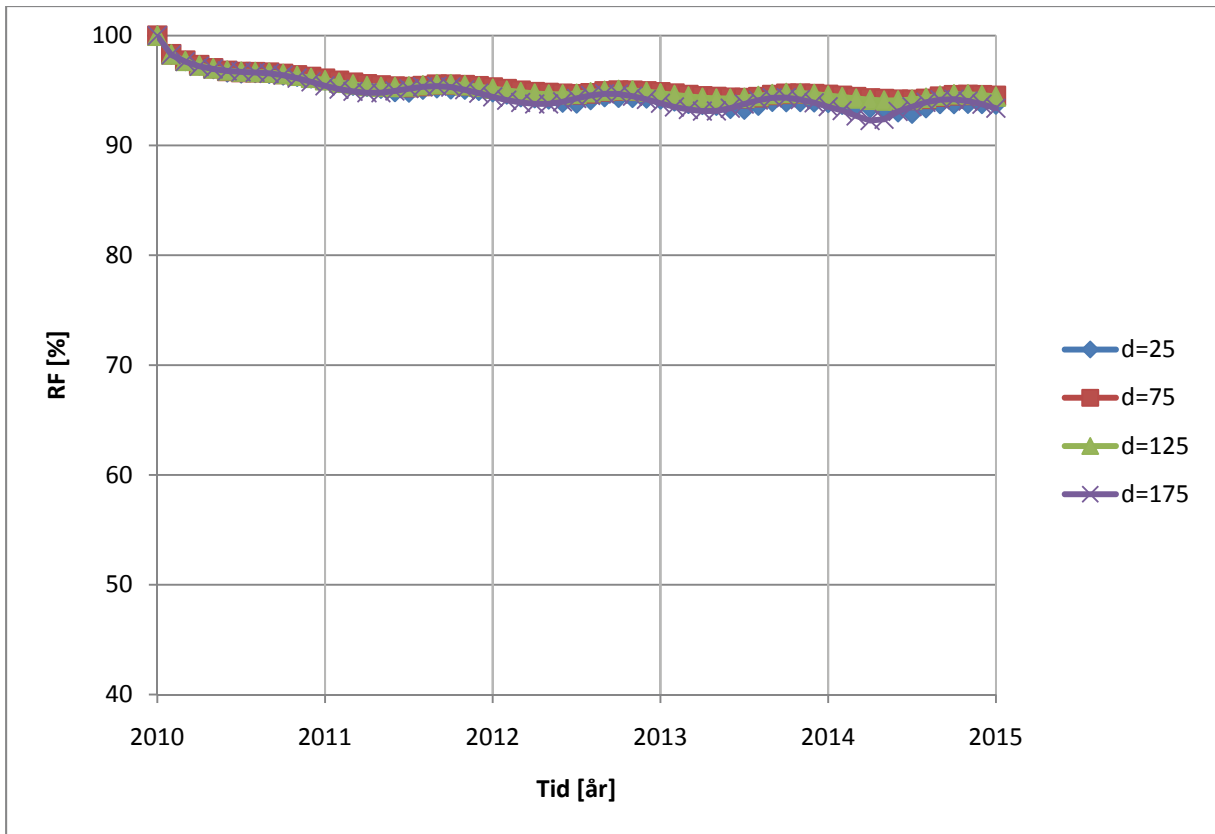
Figur B.10: Beregningsvariant 5. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



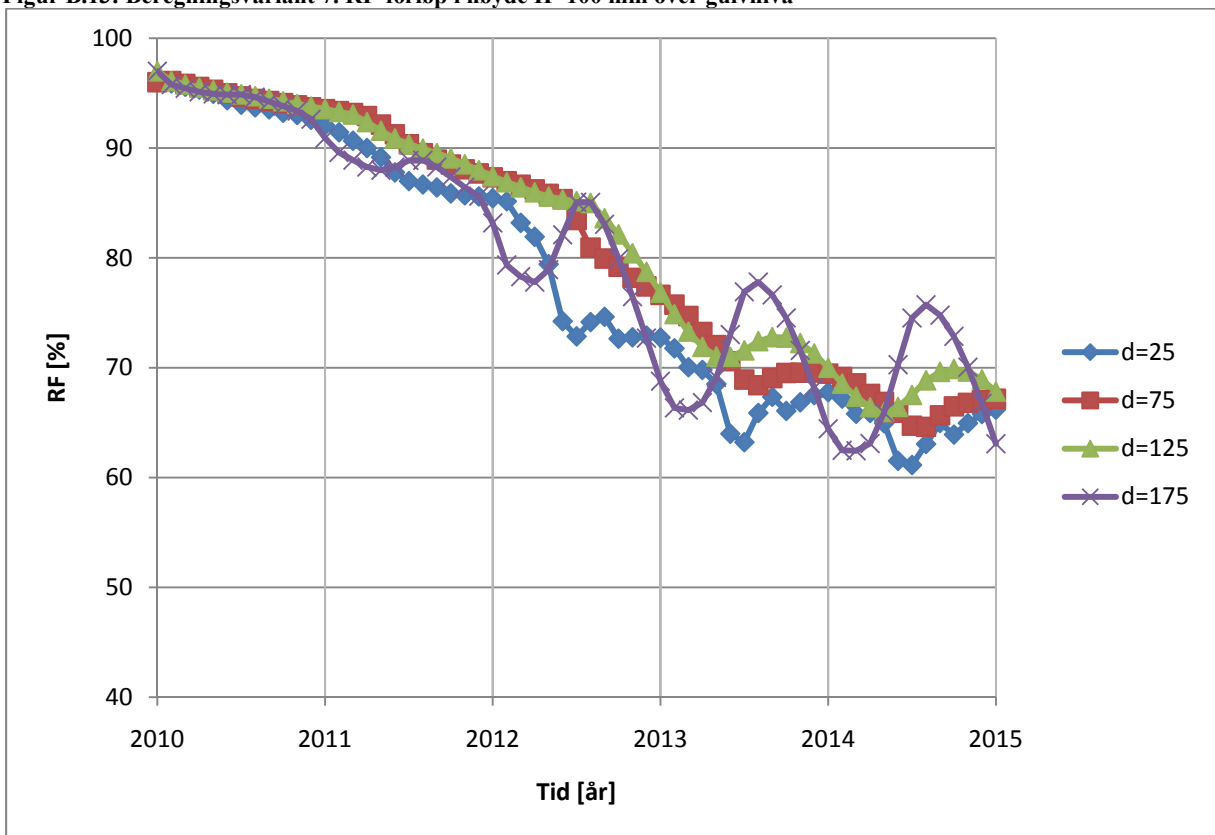
Figur B.11: Beregningsvariant 6. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



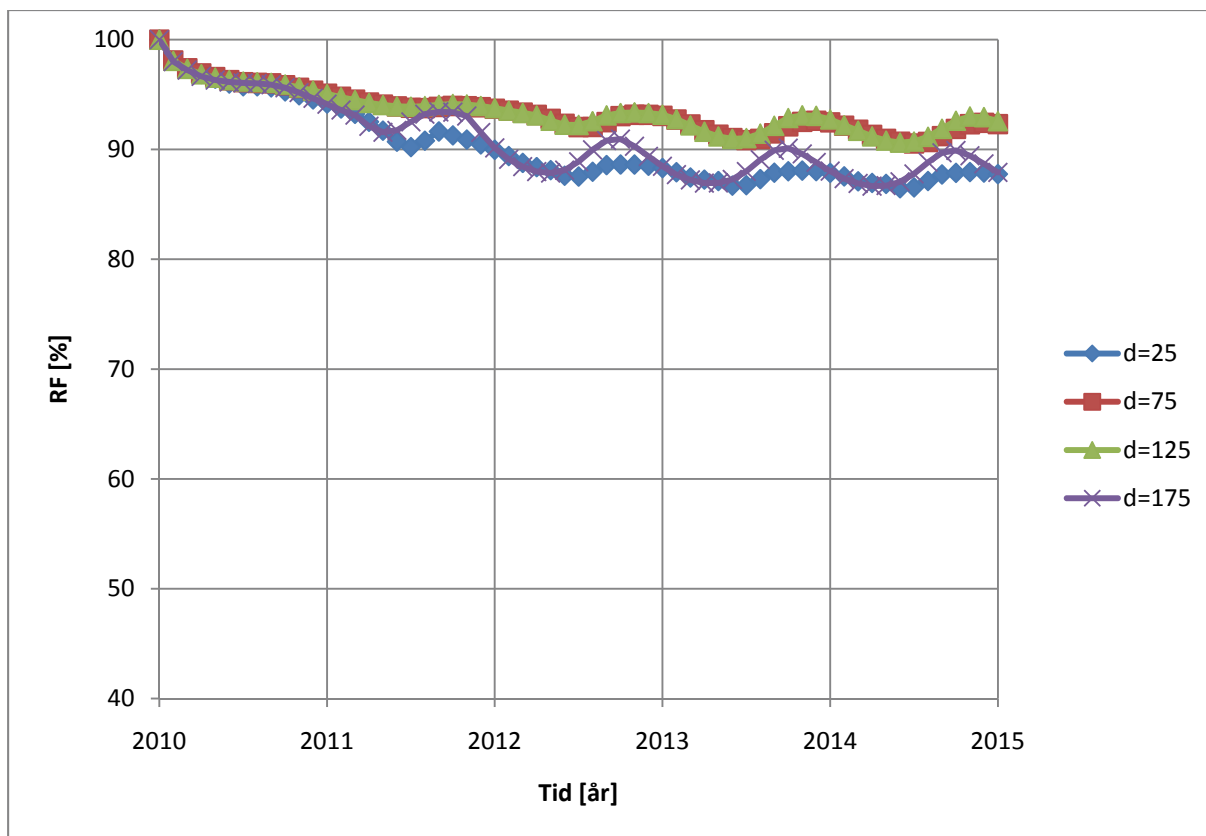
Figur B.12: Beregningsvariant 6. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



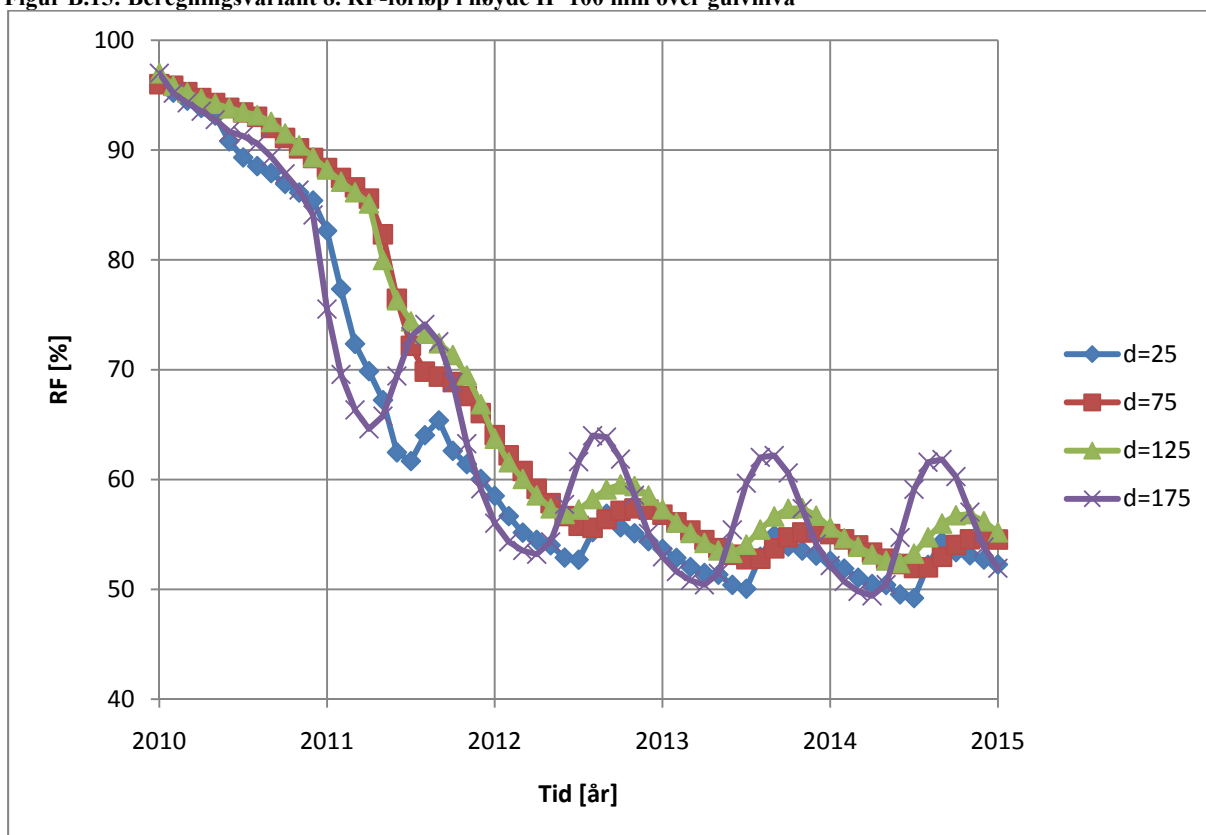
Figur B.13: Beregningsvariant 7. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



Figur B.14: Beregningsvariant 7. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå

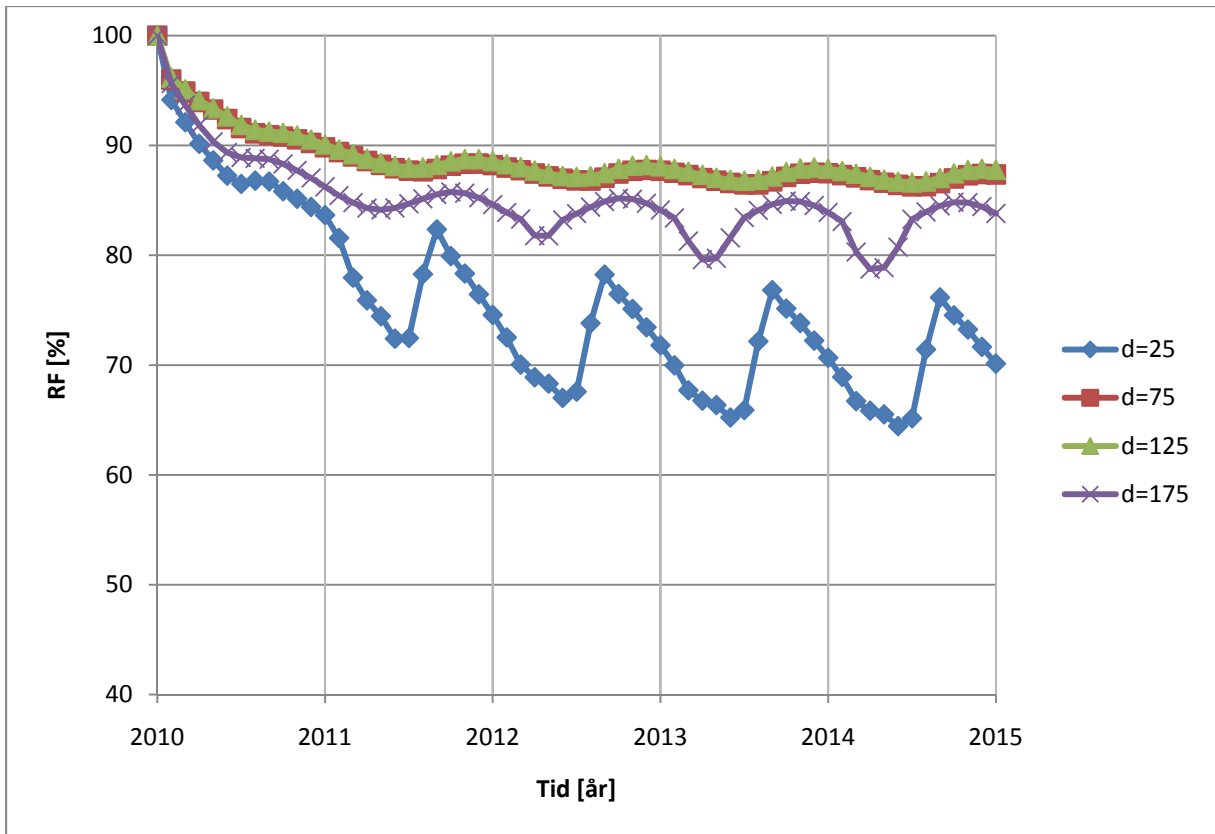


Figur B.15: Beregningsvariant 8. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå

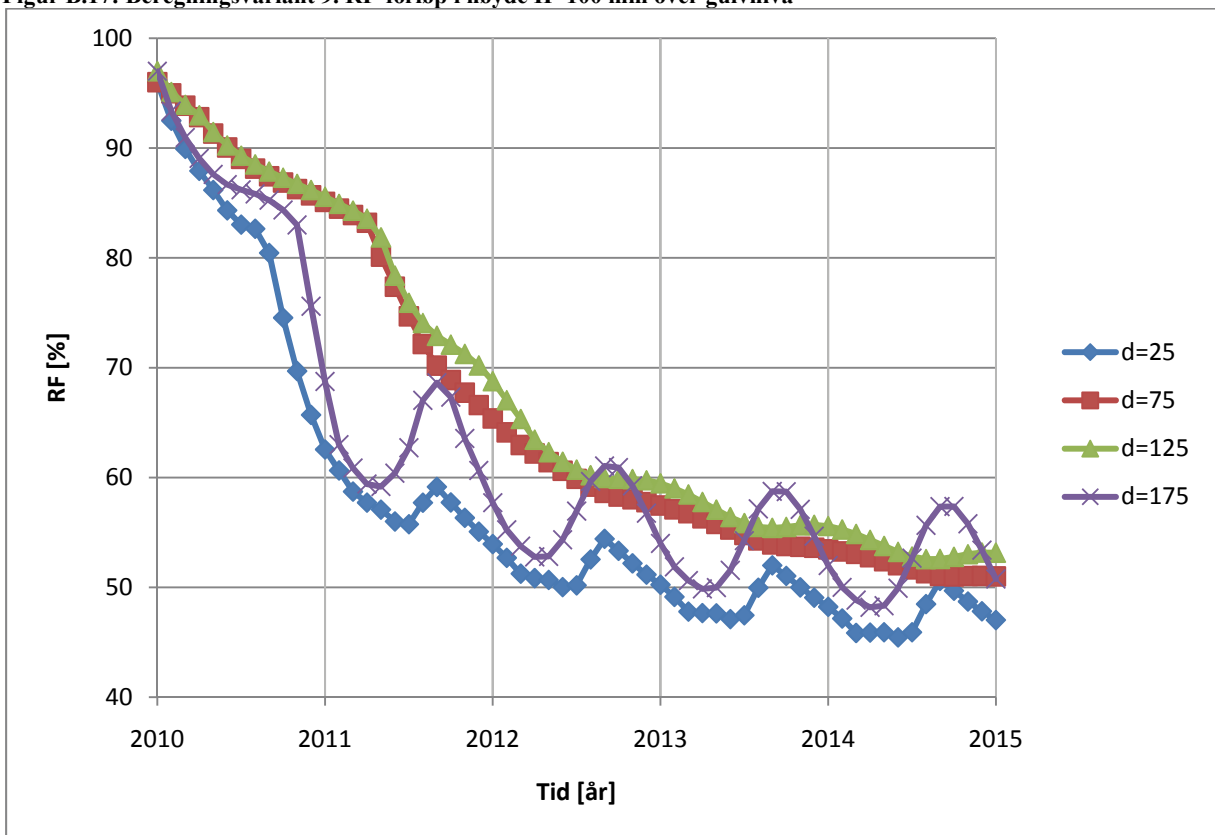


Figur B.16: Beregningsvariant 8. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå

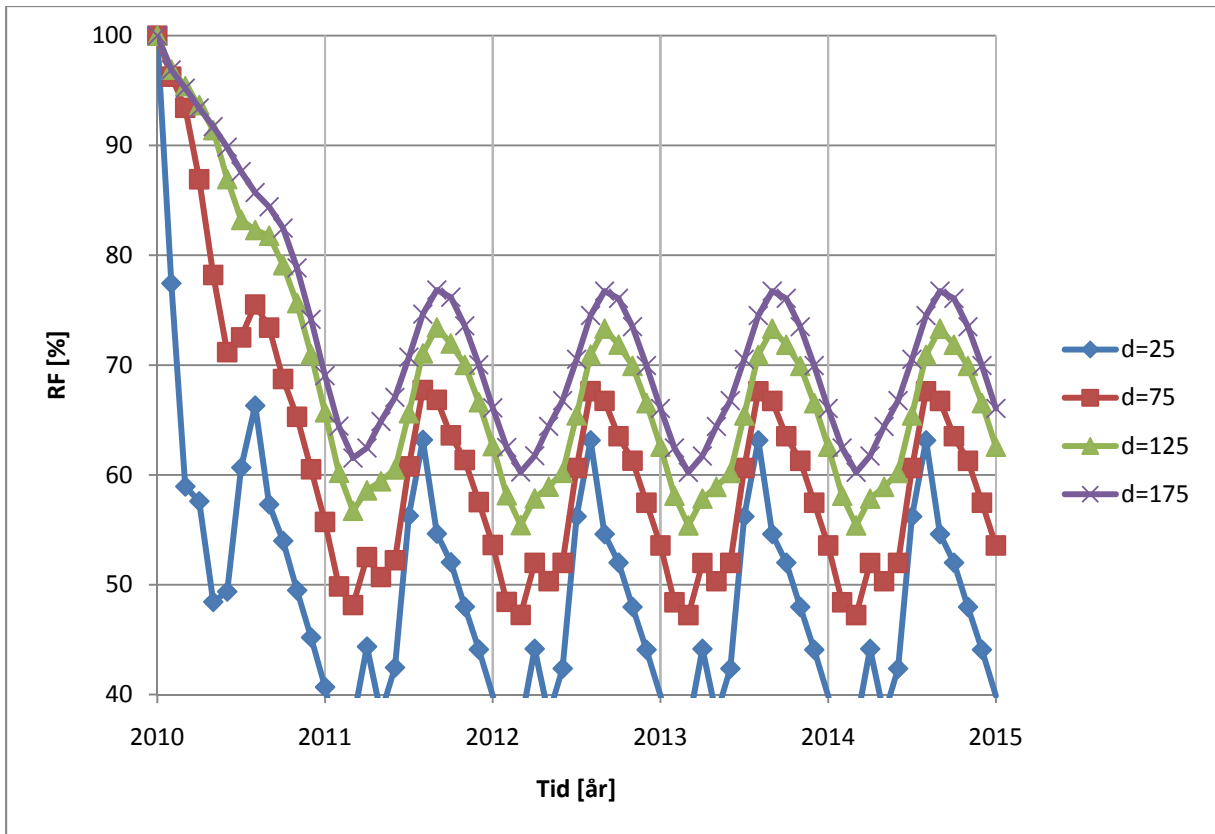




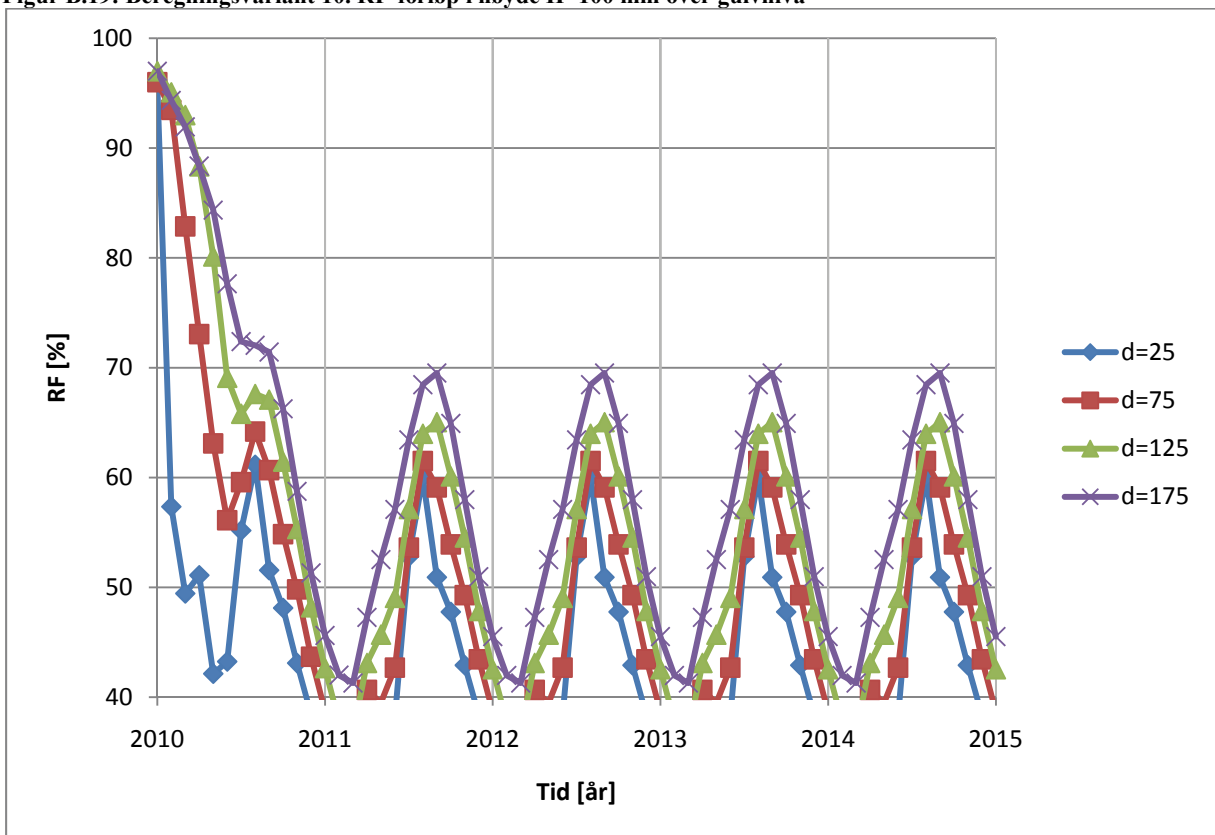
Figur B.17: Beregningsvariant 9. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



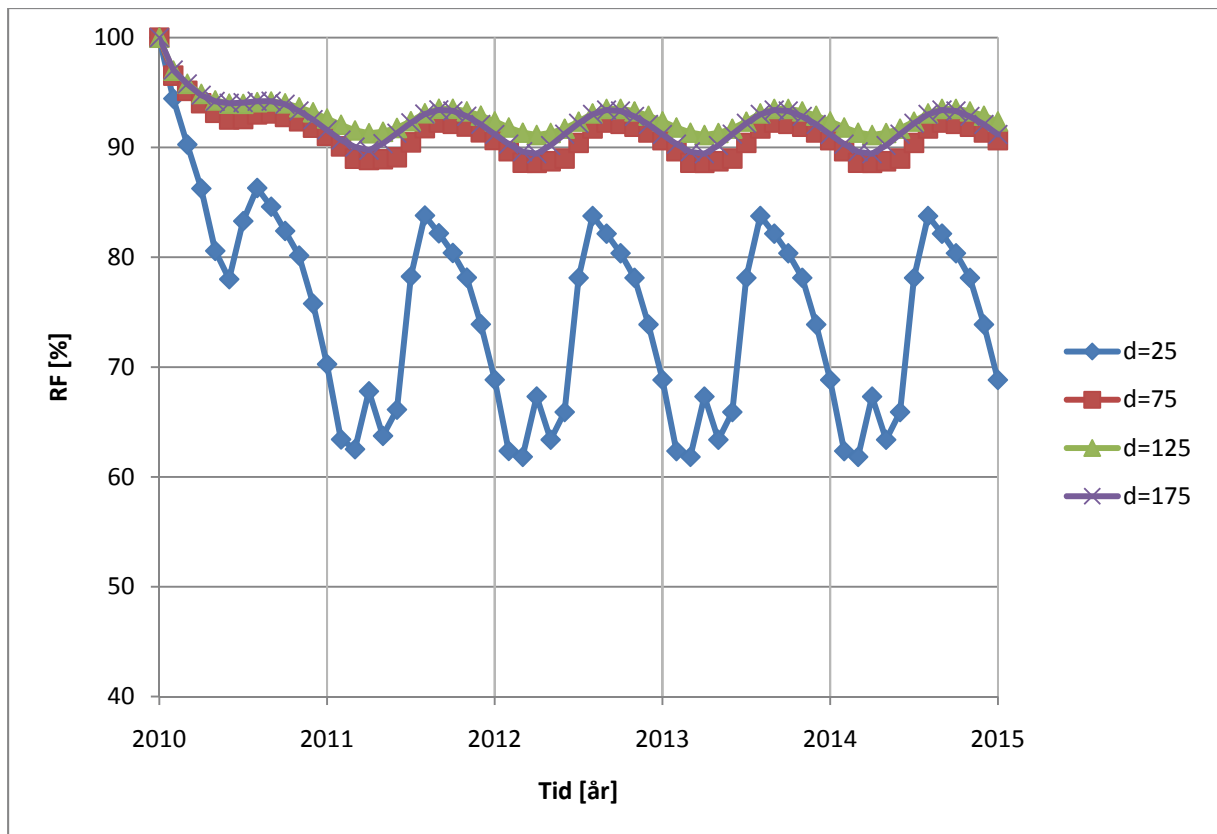
Figur B.18: Beregningsvariant 9. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



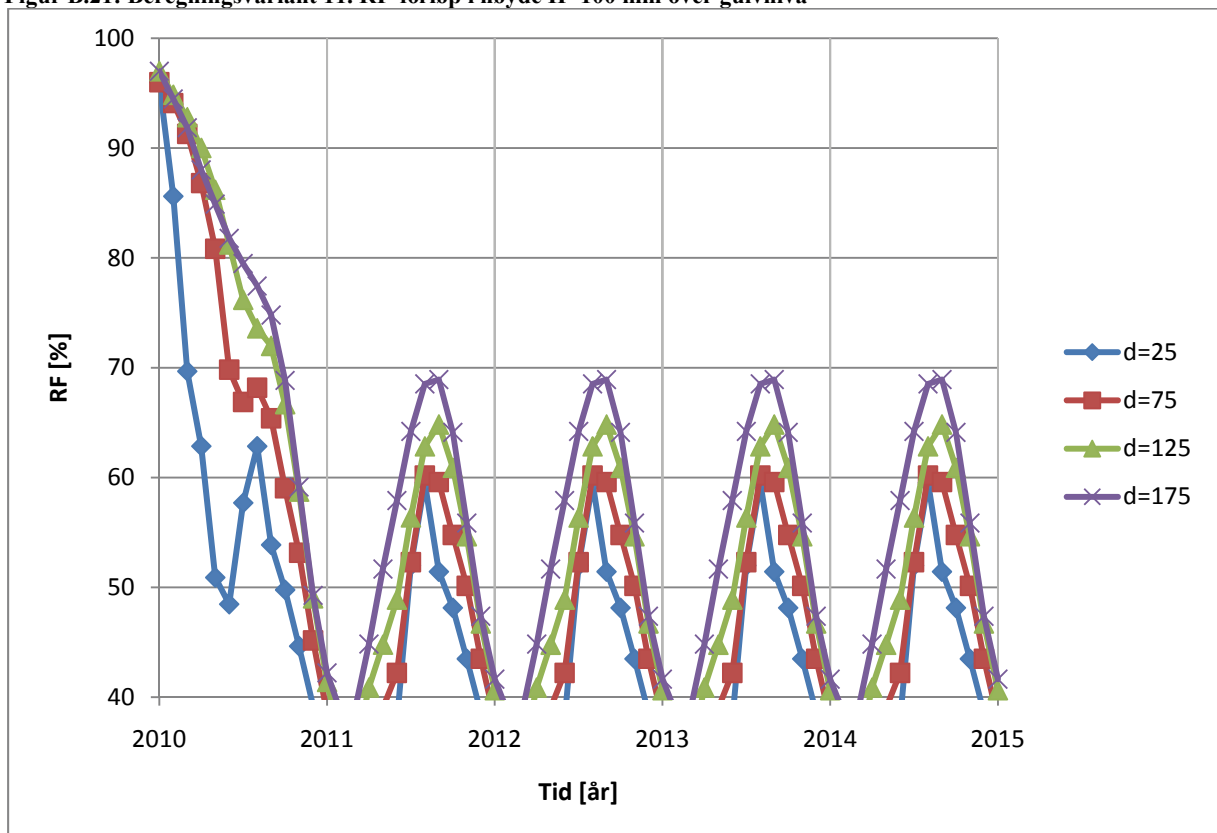
Figur B.19: Beregningsvariant 10. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



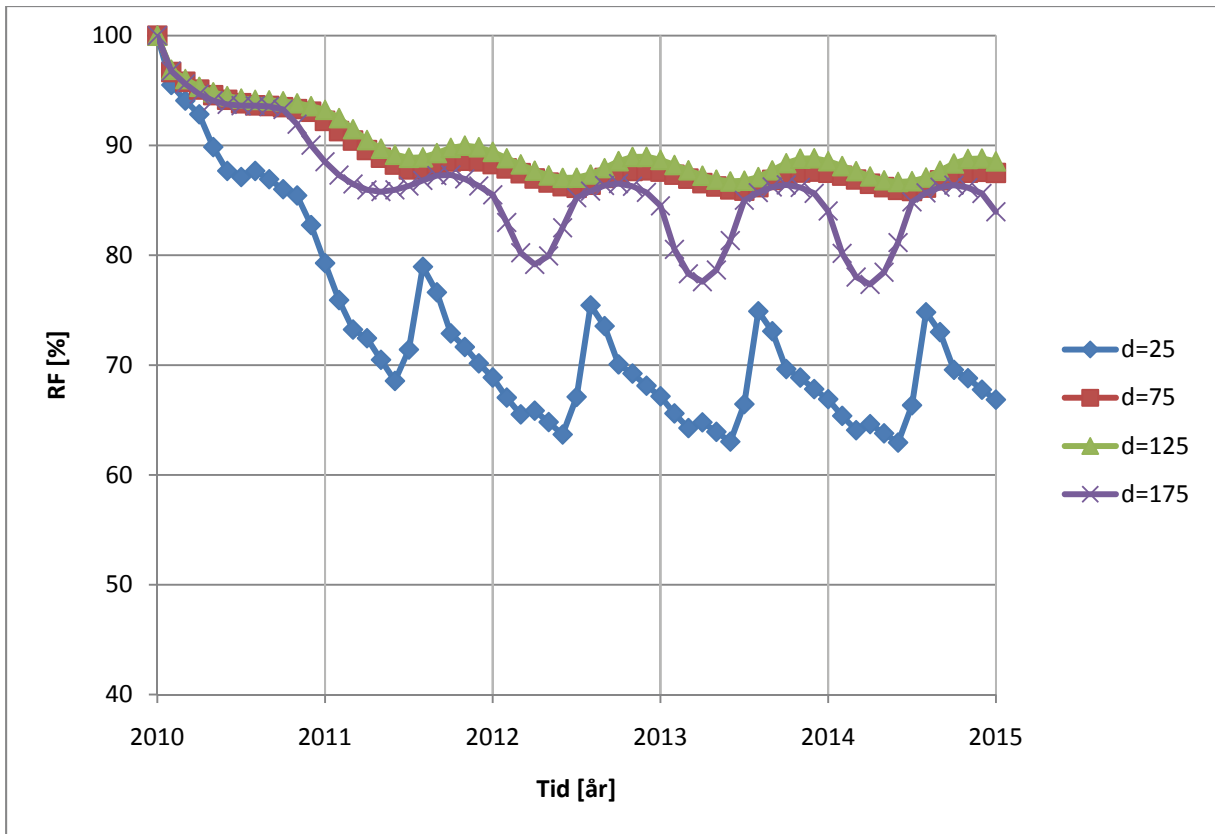
Figur B.20: Beregningsvariant 10. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



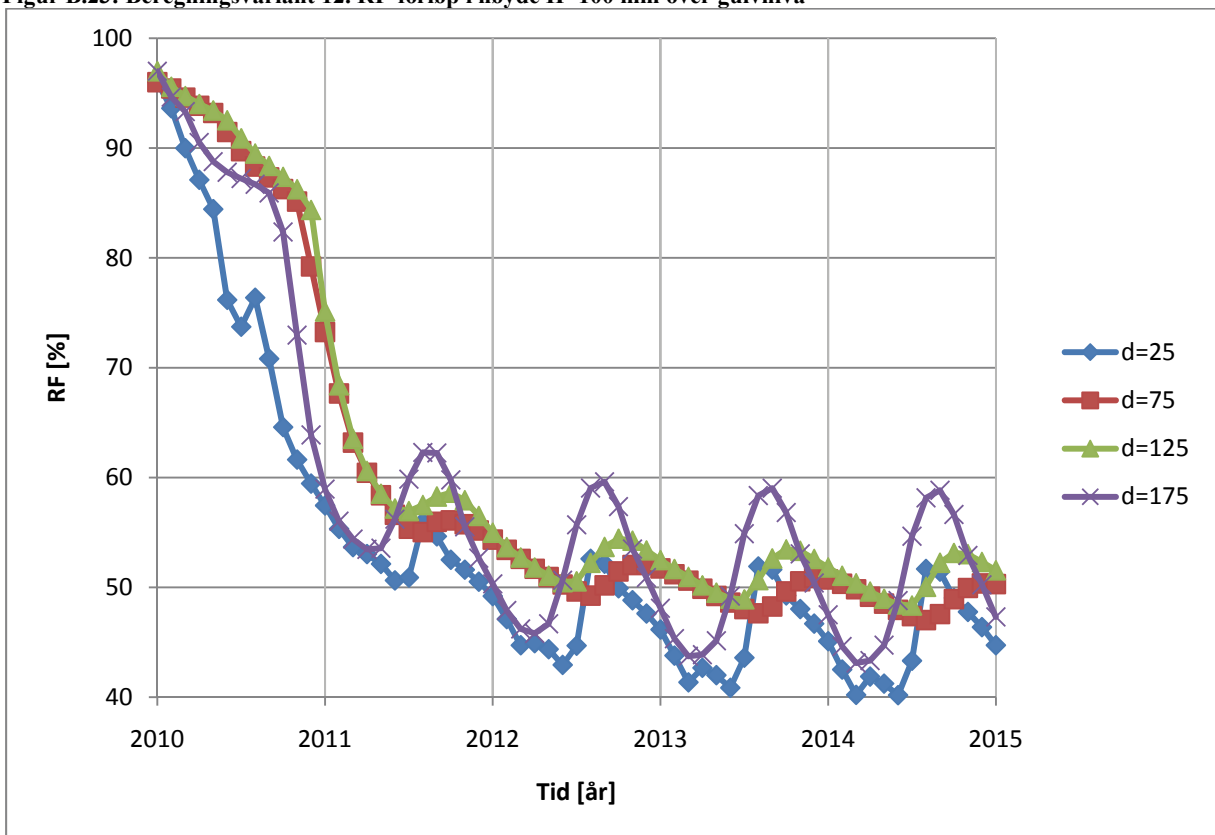
Figur B.21: Beregningsvariant 11. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



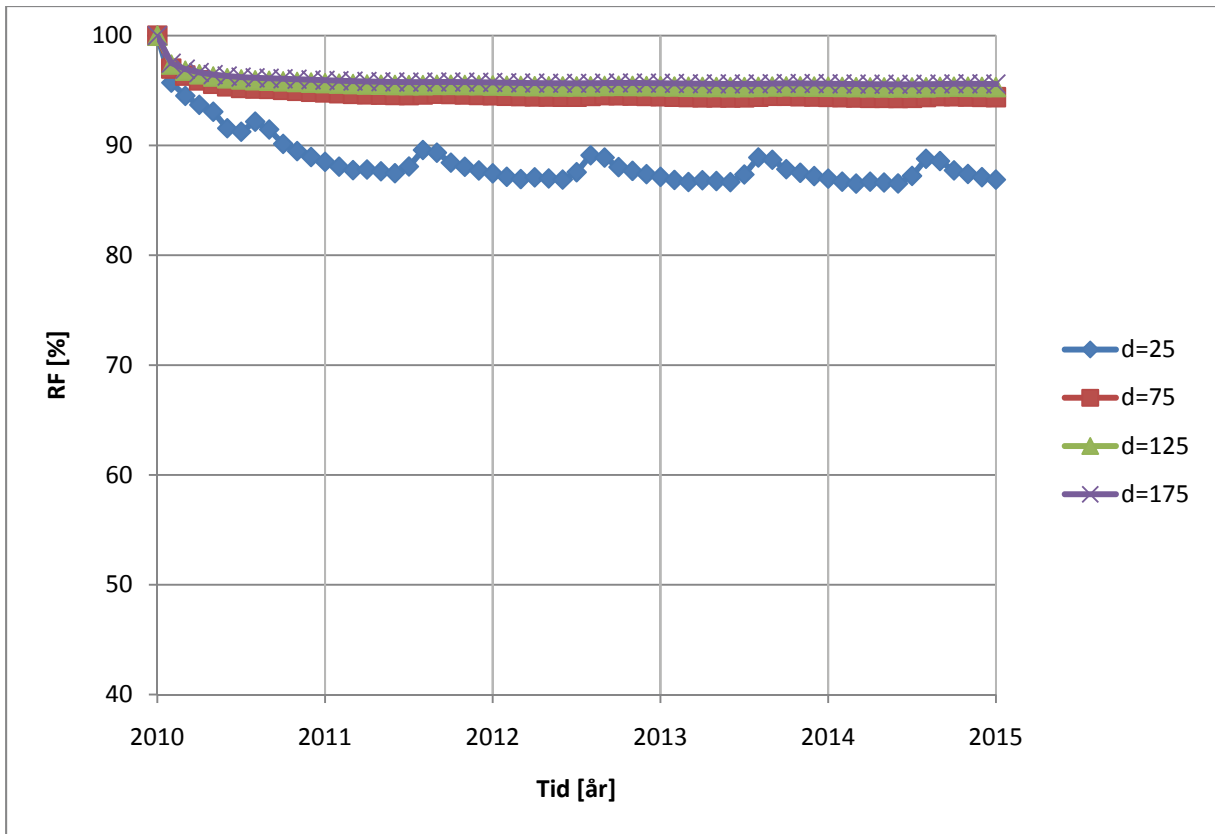
Figur B.22: Beregningsvariant 11. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



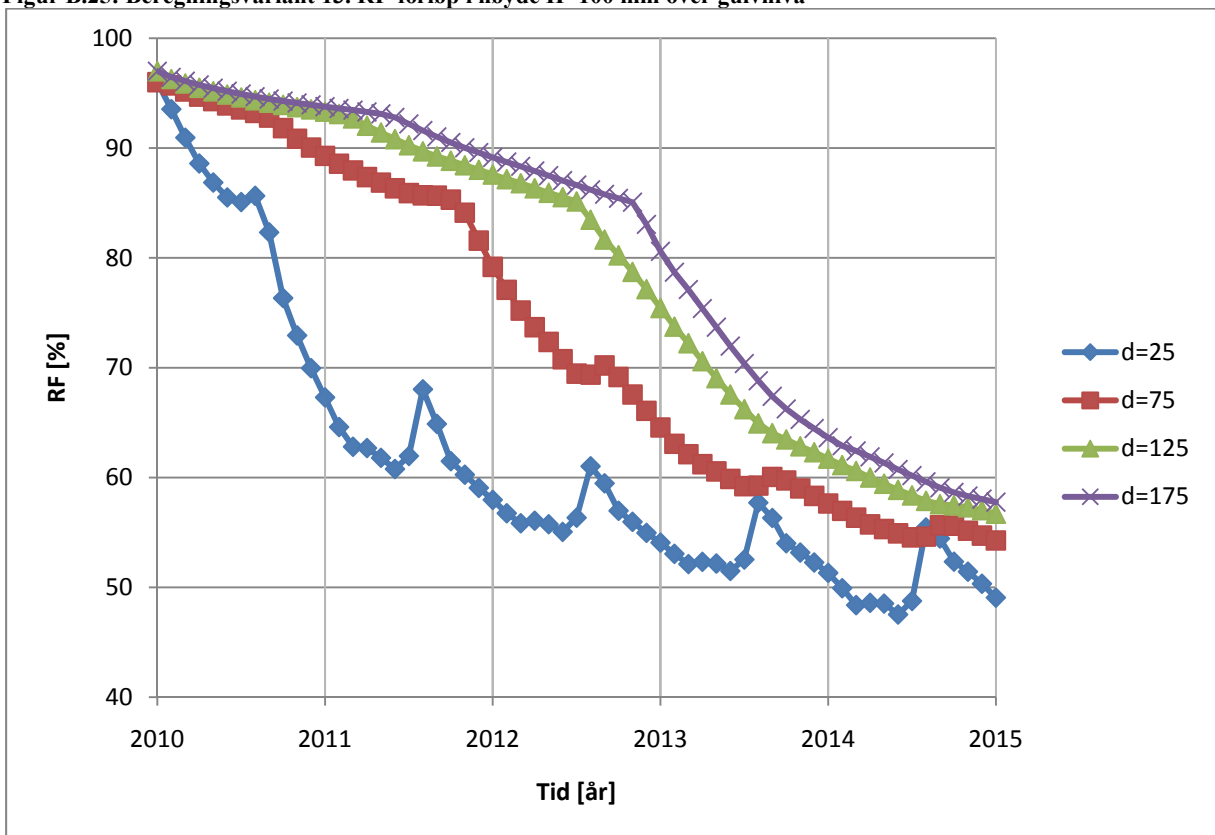
Figur B.23: Beregningsvariant 12. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



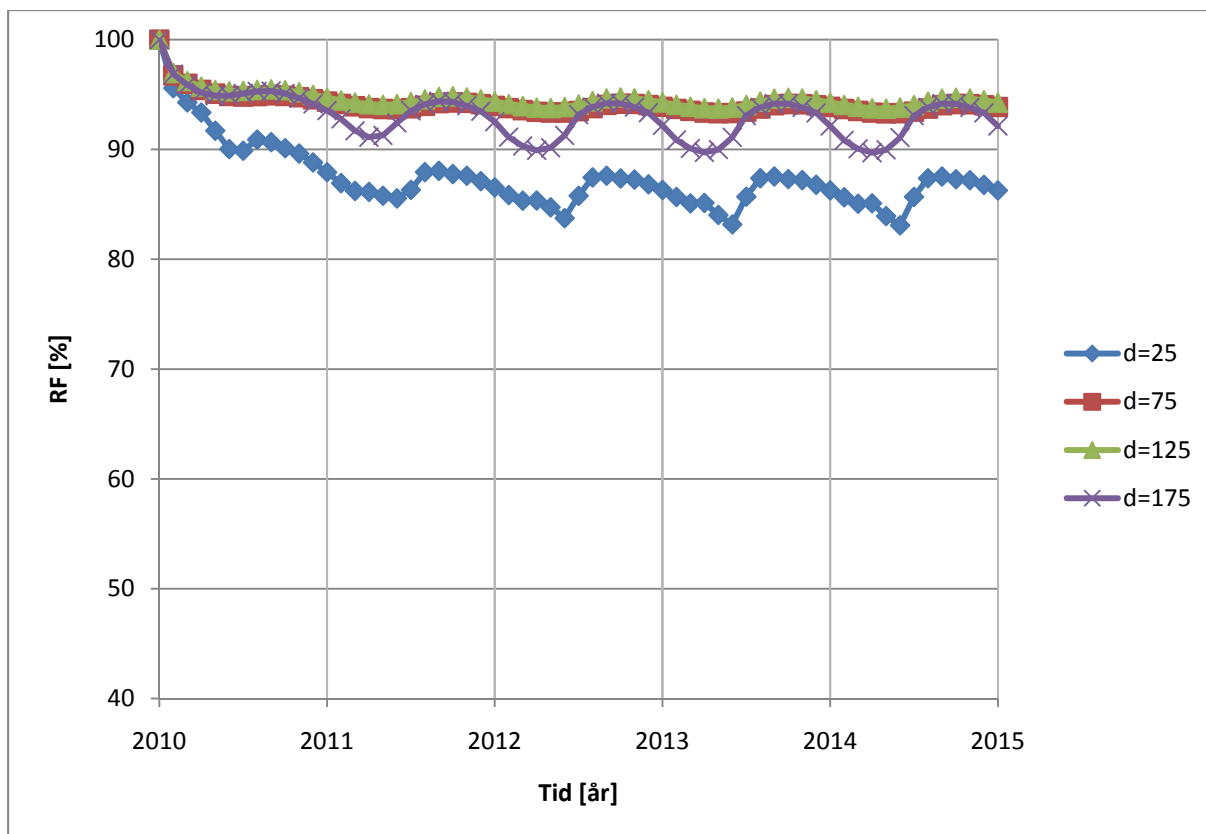
Figur B.24: Beregningsvariant 12. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



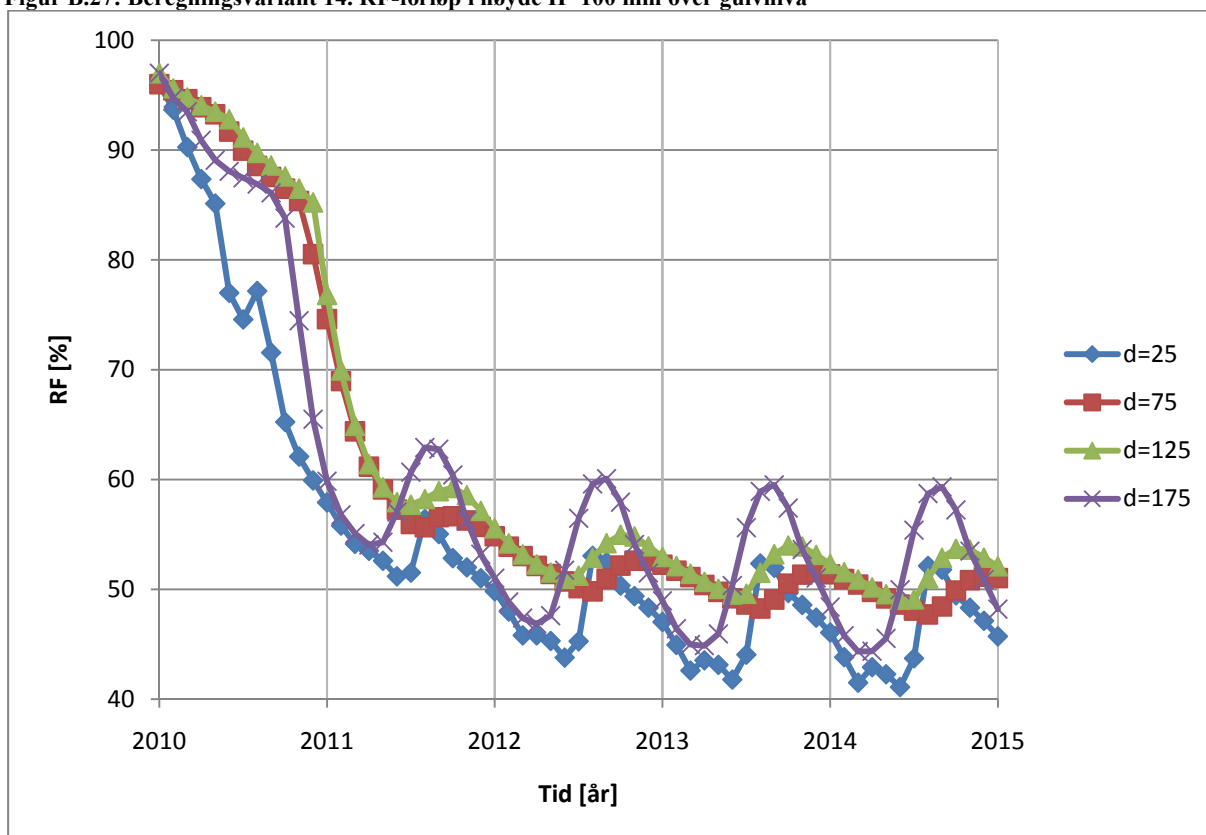
Figur B.25: Beregningsvariant 13. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



Figur B.26: Beregningsvariant 13. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå



Figur B.27: Beregningsvariant 14. RF-forløp i høyde H=100 mm over gulvnivå



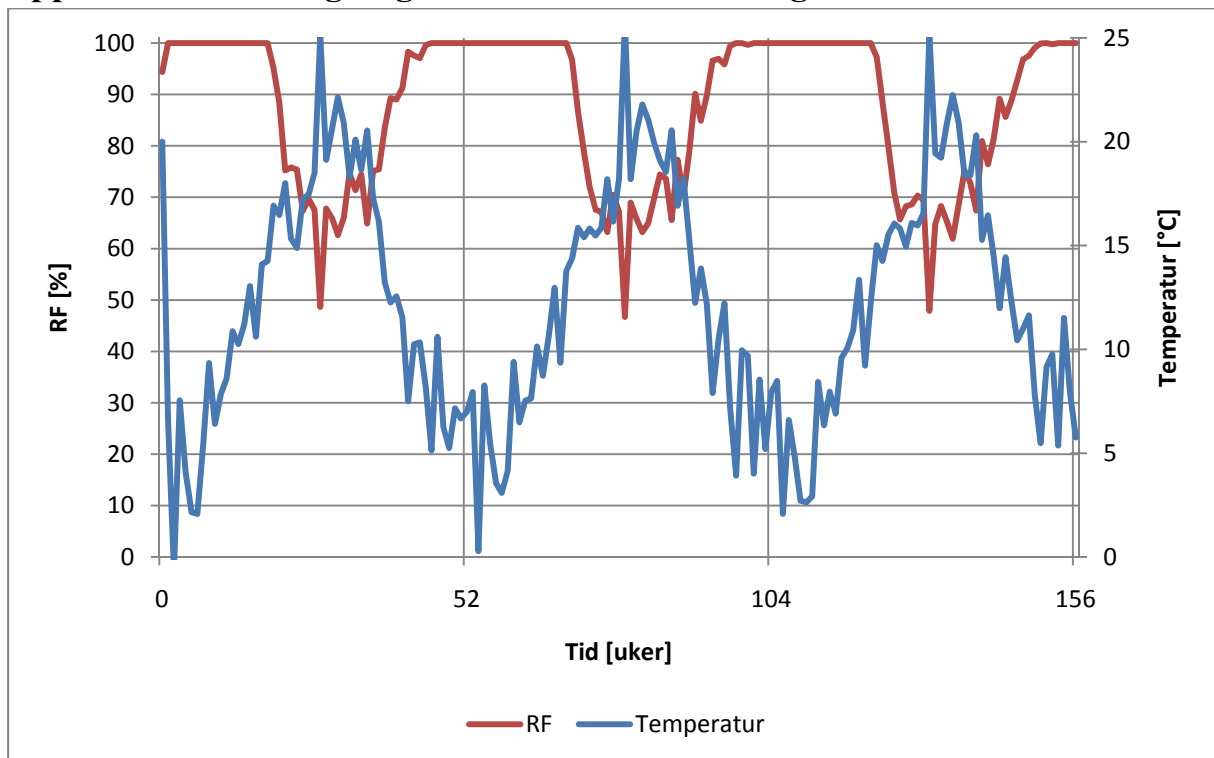
Figur B.28: Beregningsvariant 14. RF-forløp i høyde H=1000 mm over gulvnivå

## Appendiks C – Muggvekstvurderinger for utbedringstiltak 2

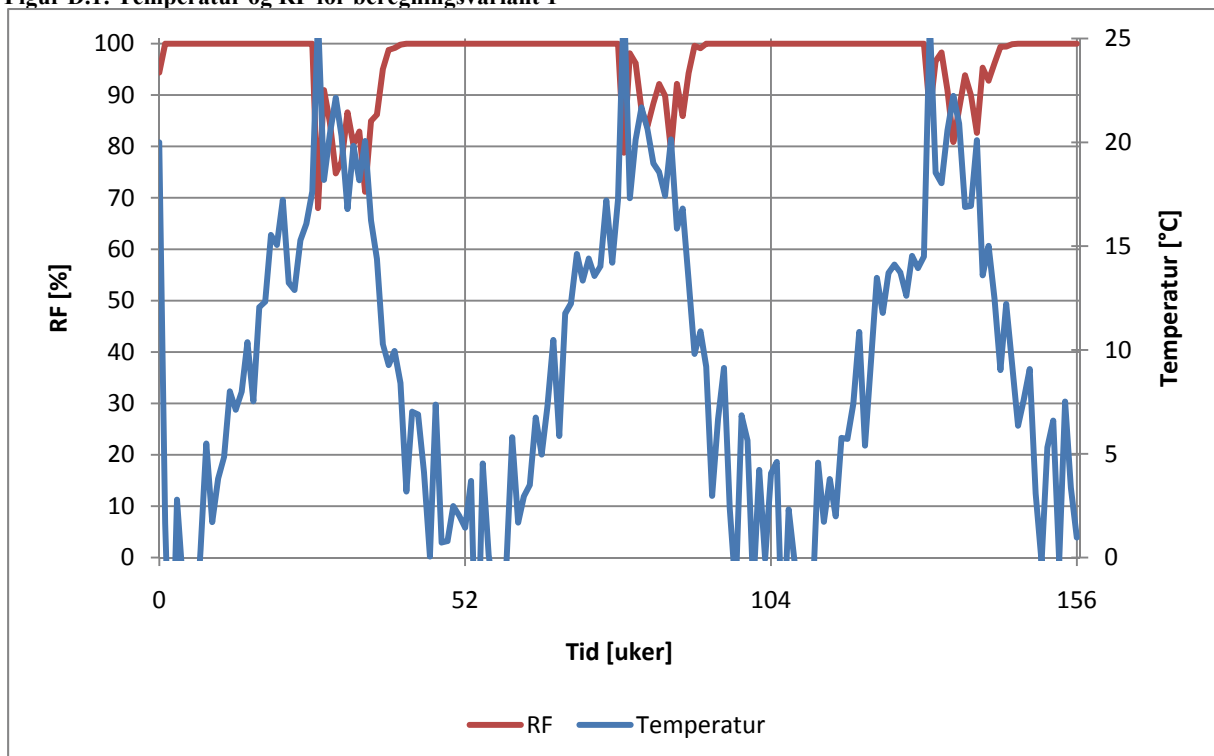
Tabell C.1: Antall maksdøgn og kumulativ eksponering

Variant	Maksdøgn [døgn]				Kumulativ eksponering [Uke·%RF]			
	Totalt	1. år	2. år	3. år	Totalt	1. år	2. år	3. år
1	<b>127</b>	45	41	41	<b>1237</b>	428	405	404
2	<b>183</b>	52	65	66	<b>1685</b>	516	581	588
3	<b>20</b>	17	2	2	<b>142</b>	129	7	7
4	<b>9</b>	9	0	0	<b>50</b>	50	0	0
5	<b>220</b>	70	74	76	<b>1839</b>	593	618	628
6	<b>164</b>	58	53	53	<b>1536</b>	544	497	494
7	<b>112</b>	48	33	32	<b>901</b>	399	258	245
8	<b>36</b>	32	2	2	<b>241</b>	229	7	6
9	<b>144</b>	63	41	40	<b>1317</b>	547	389	380
10	<b>90</b>	50	20	20	<b>678</b>	403	144	132
11	<b>125</b>	42	42	42	<b>1231</b>	413	410	409
12	<b>134</b>	50	42	42	<b>1278</b>	465	408	405
13	<b>127</b>	52	38	38	<b>1151</b>	454	349	345
14	<b>306</b>	103	102	102	<b>2388</b>	803	797	788
15	<b>52</b>	27	13	13	<b>510</b>	270	121	119
16	<b>278</b>	79	98	101	<b>2235</b>	678	772	785
17	<b>88</b>	37	26	26	<b>955</b>	376	289	289
18	<b>275</b>	92	92	92	<b>2250</b>	741	754	755
19	<b>106</b>	41	33	32	<b>1097</b>	410	345	343
20	<b>31</b>	27	2	2	<b>261</b>	242	10	9
21	<b>20</b>	20	0	0	<b>159</b>	159	0	0
22	<b>258</b>	83	87	88	<b>2186</b>	702	738	745
23	<b>200</b>	66	67	67	<b>1789</b>	578	605	606
24	<b>162</b>	54	54	54	<b>1512</b>	506	503	502
25	<b>52</b>	25	13	14	<b>342</b>	182	74	87
26	<b>131</b>	52	38	41	<b>1066</b>	430	306	330

## Appendiks D – Beregningsresultater fra utbedringstiltak 2

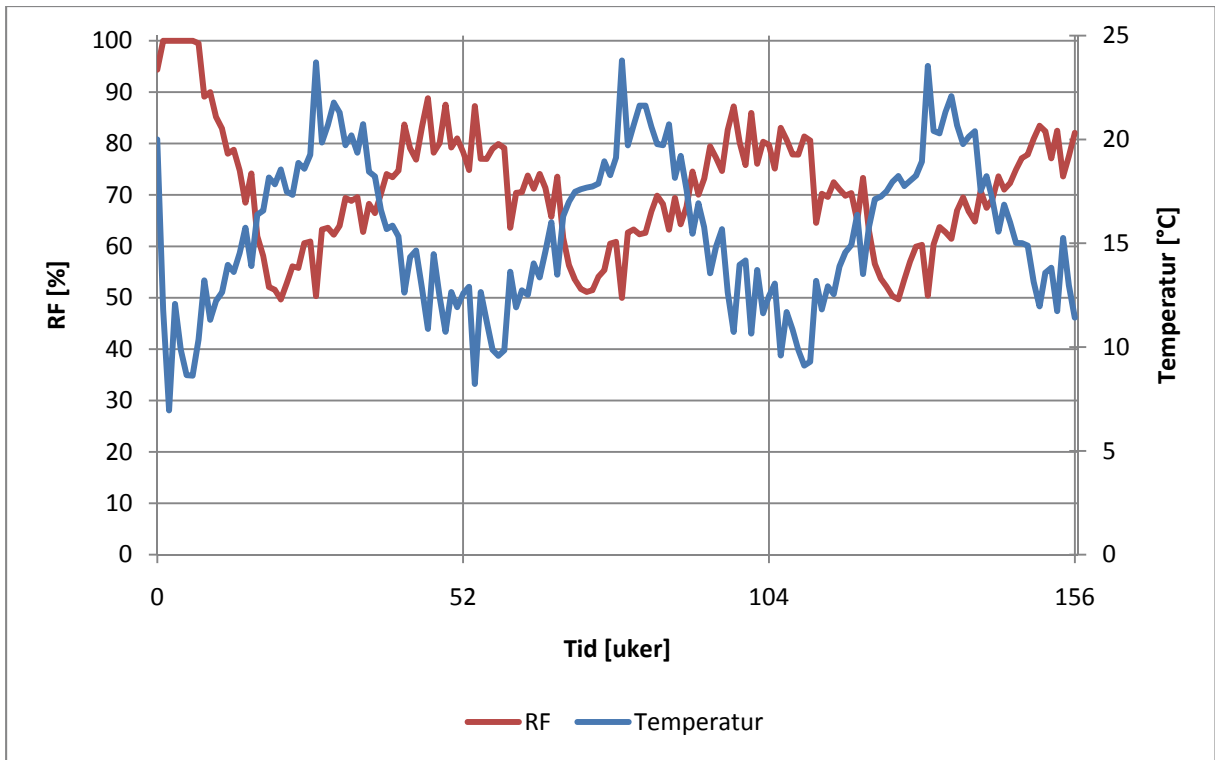


Figur D.1: Temperatur og RF for beregningsvariant 1

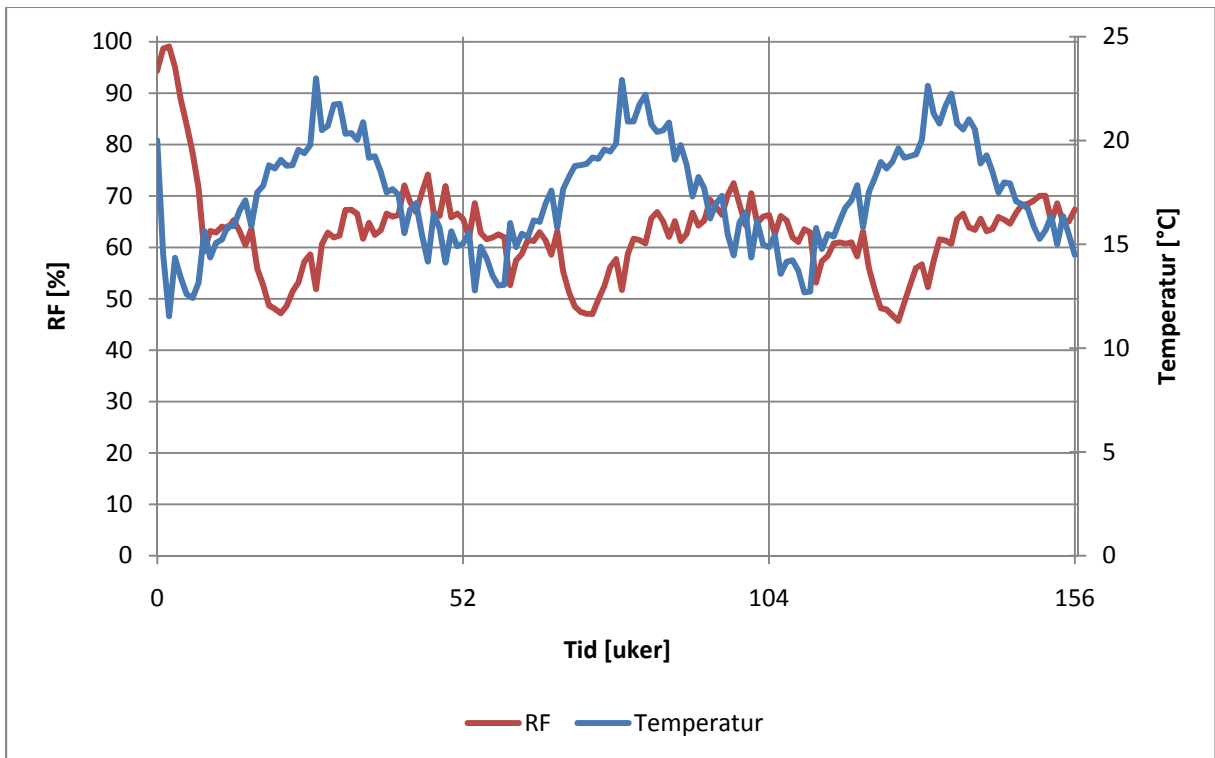


Figur D.2: Temperatur og RF for beregningsvariant 2

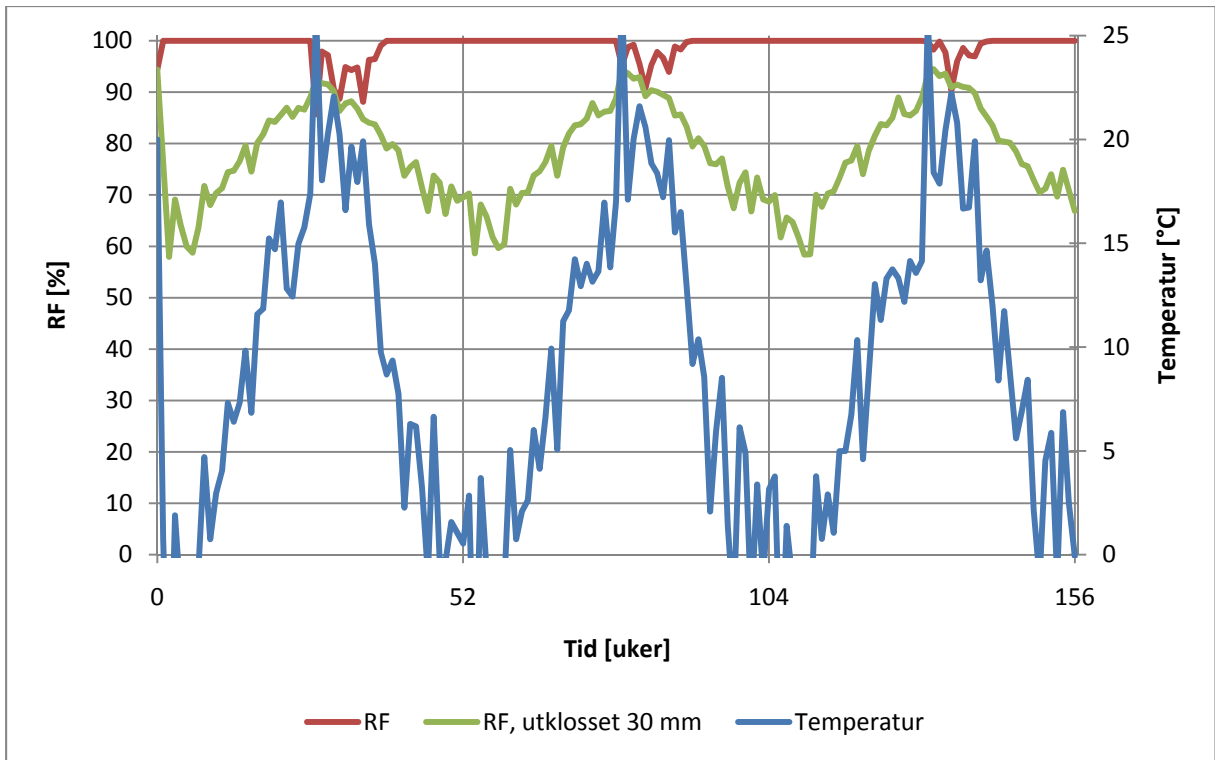




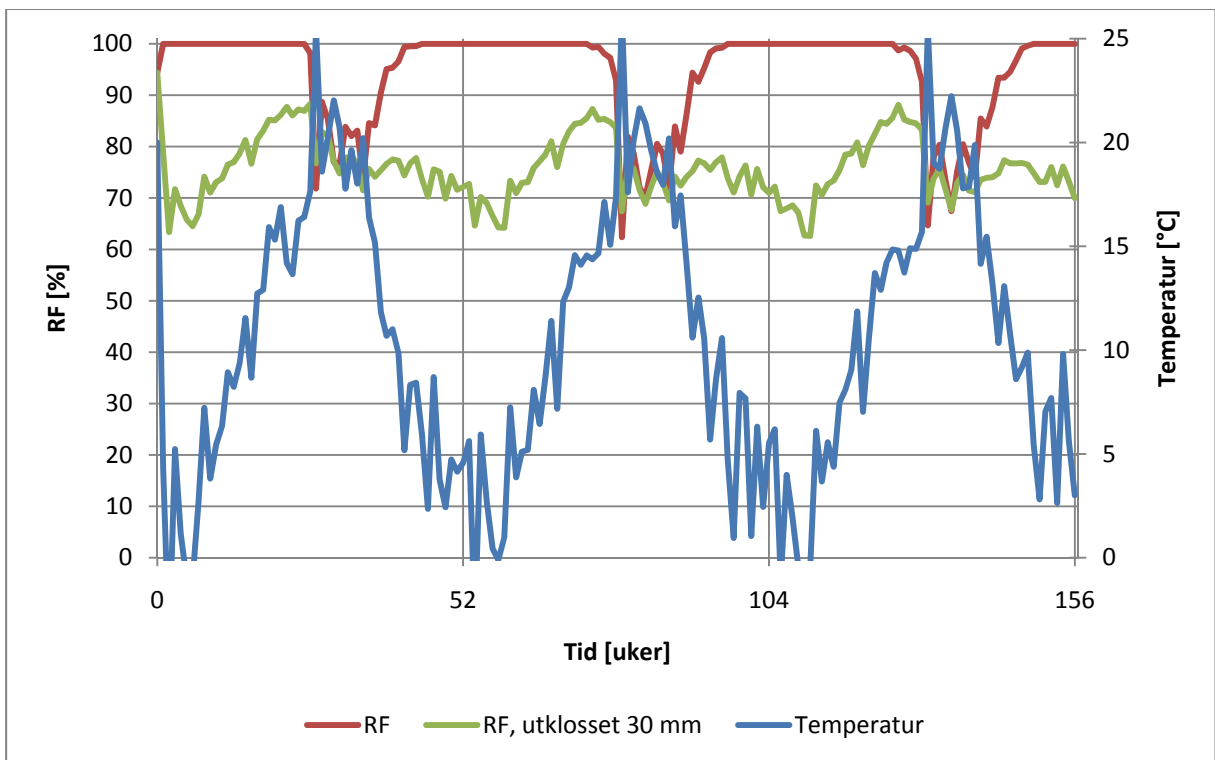
Figur D.3: Temperatur og RF for beregningsvariant 3



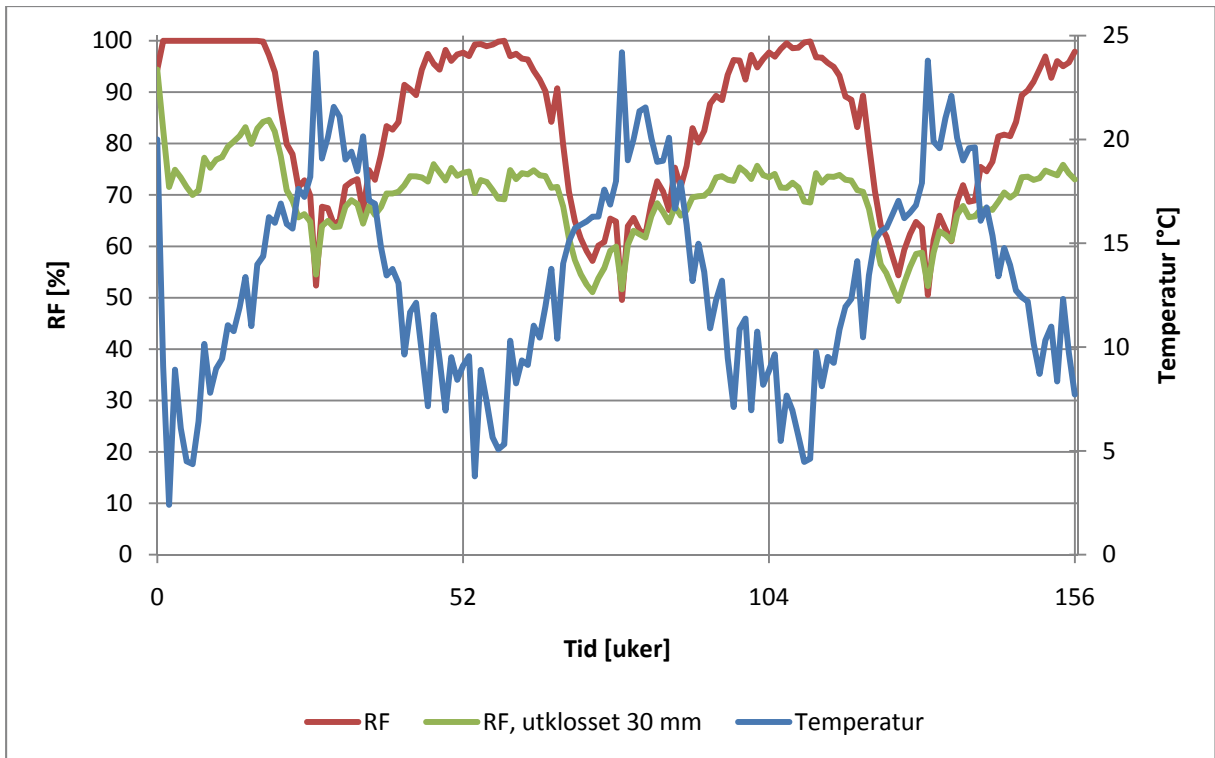
Figur D.4: Temperatur og RF for beregningsvariant 4



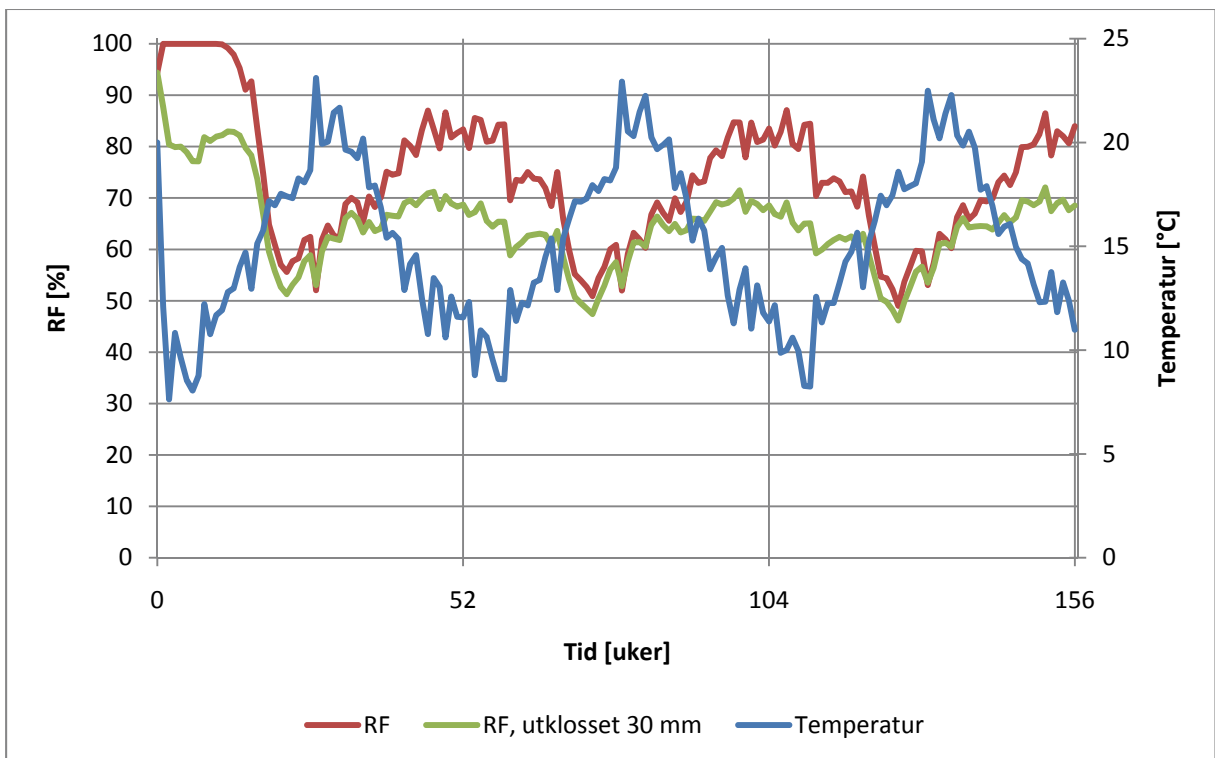
Figur D.5: Temperatur og RF for beregningsvariant 5



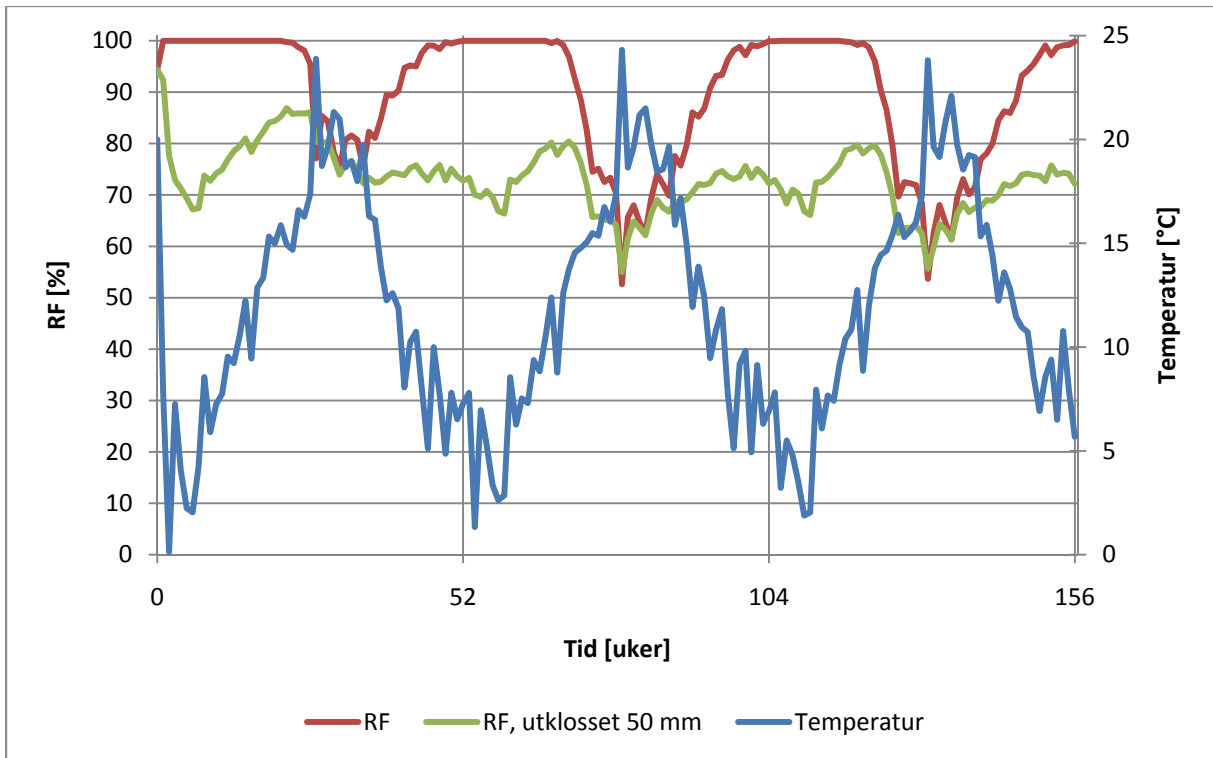
Figur D.6: Temperatur og RF for beregningsvariant 6



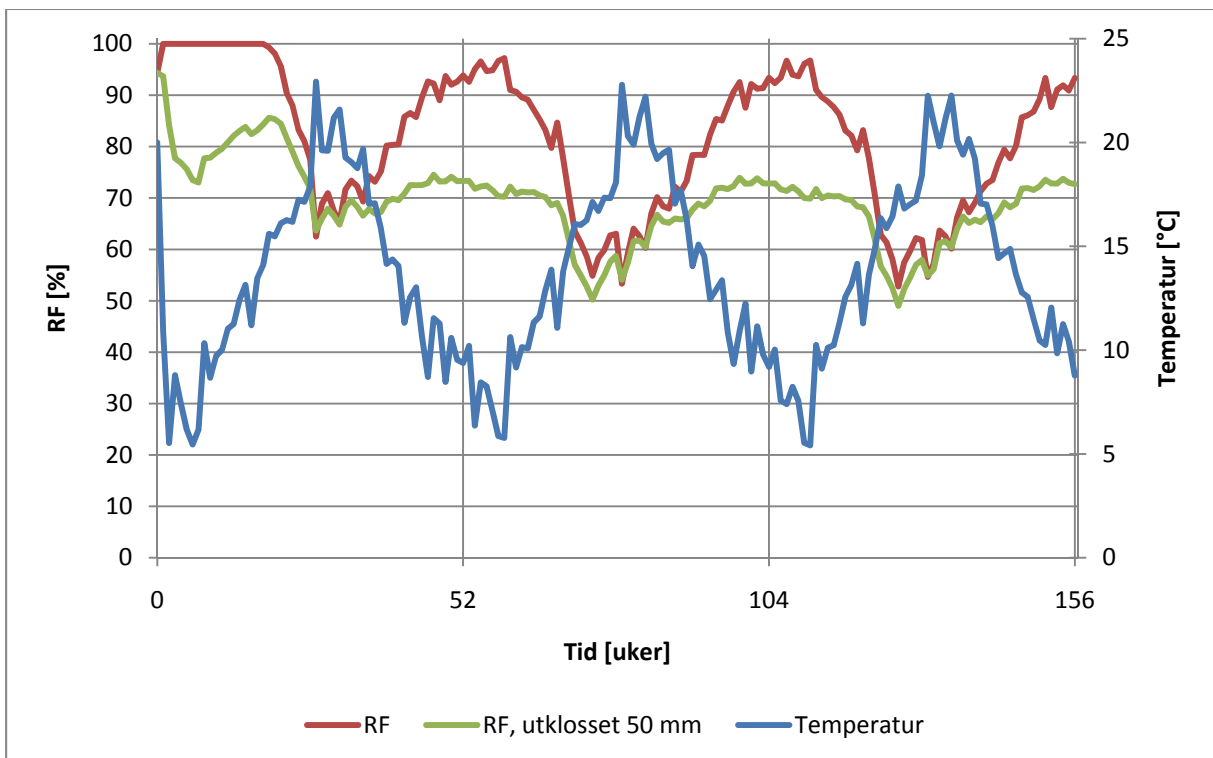
Figur D.7: Temperatur og RF for beregningsvariant 7



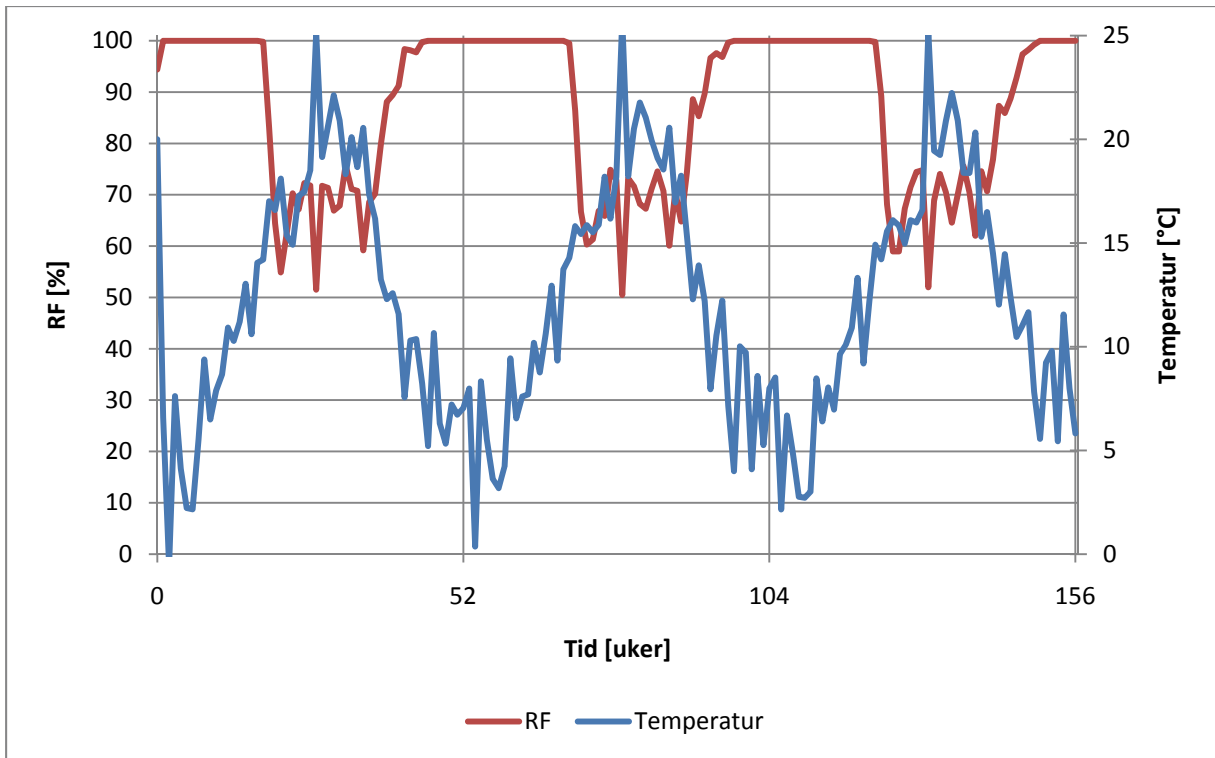
Figur D.8: Temperatur og RF for beregningsvariant 8



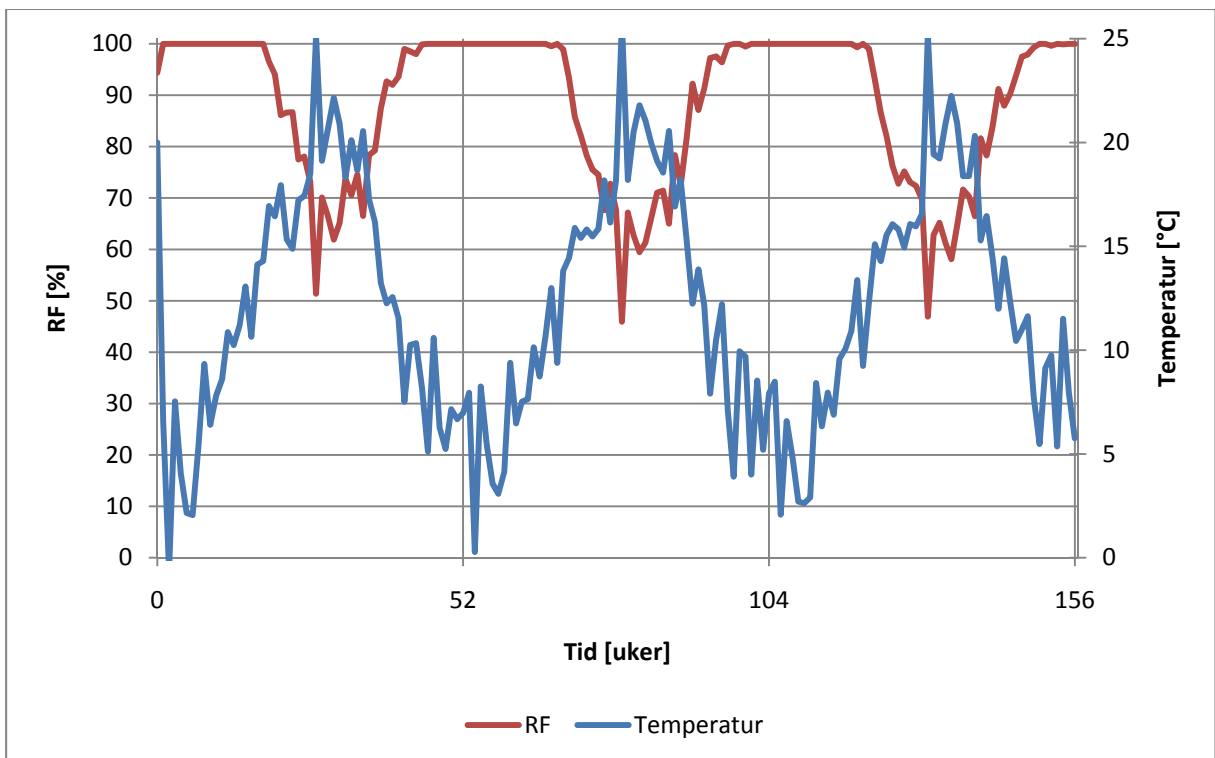
Figur D.9: Temperatur og RF for beregningsvariant 9



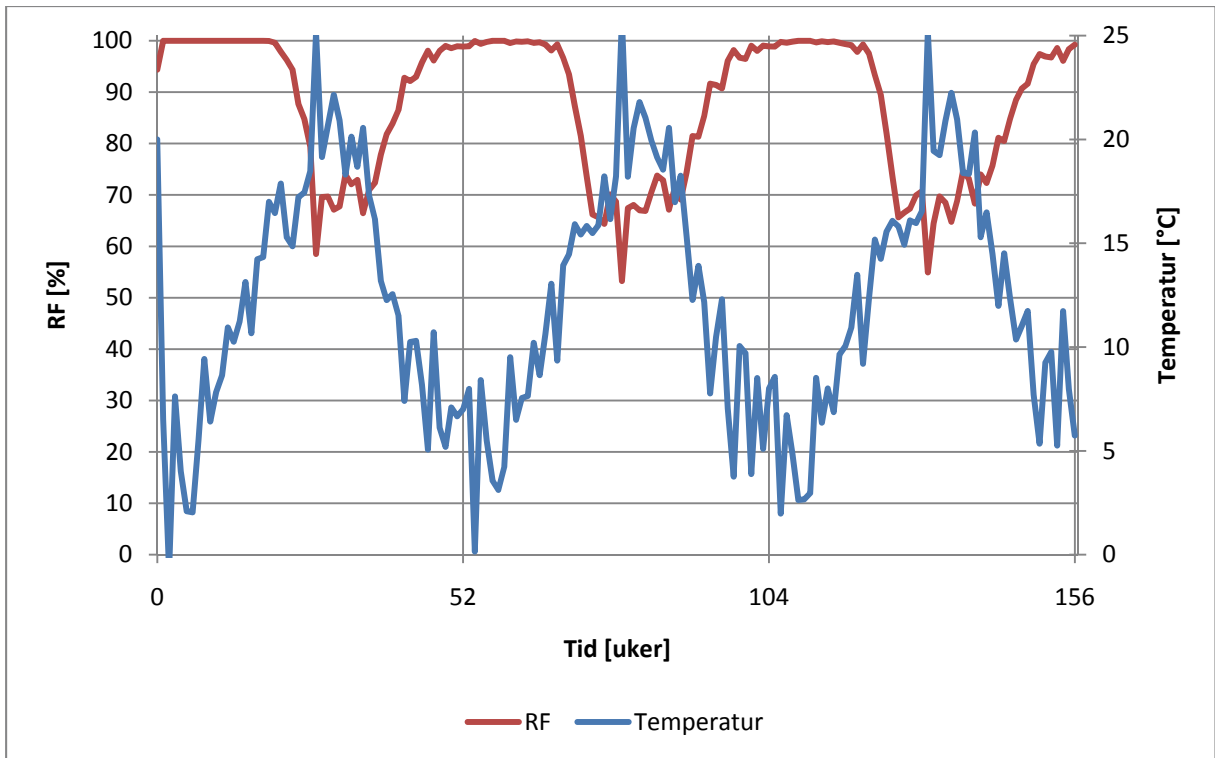
Figur D.10: Temperatur og RF for beregningsvariant 10



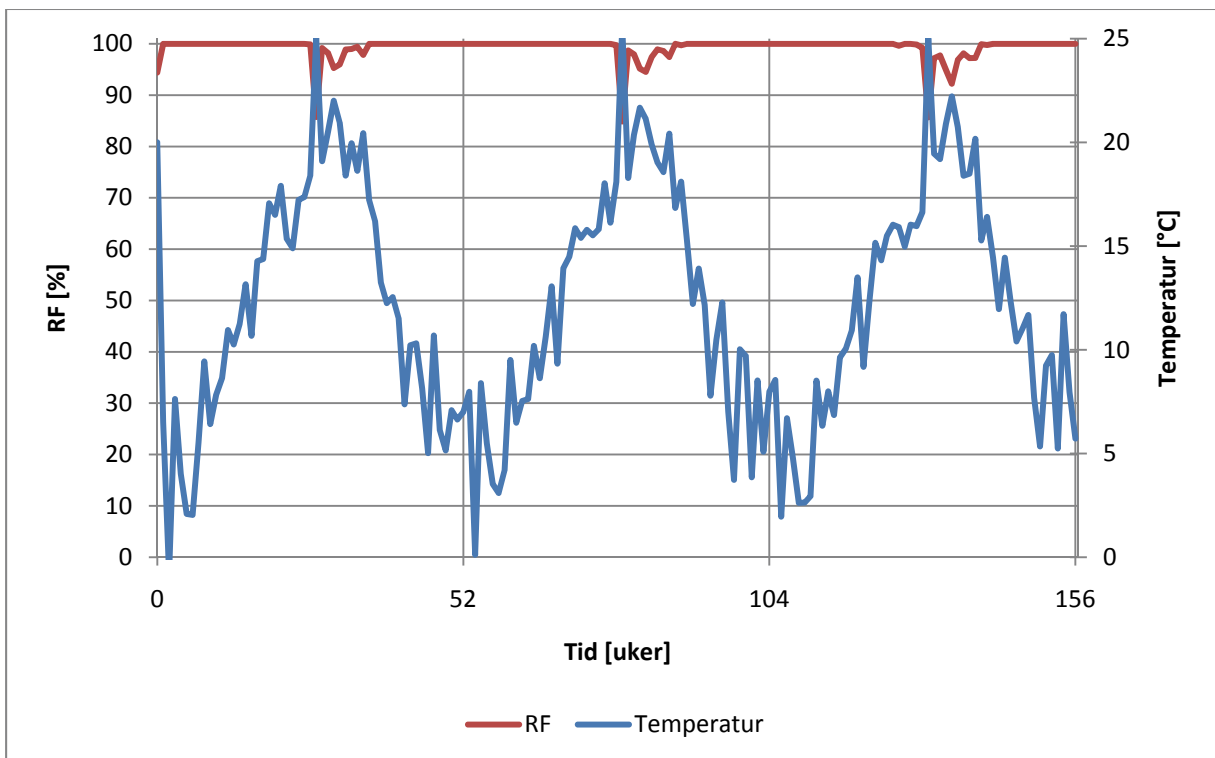
Figur D.11: Temperatur og RF for beregningsvariant 11



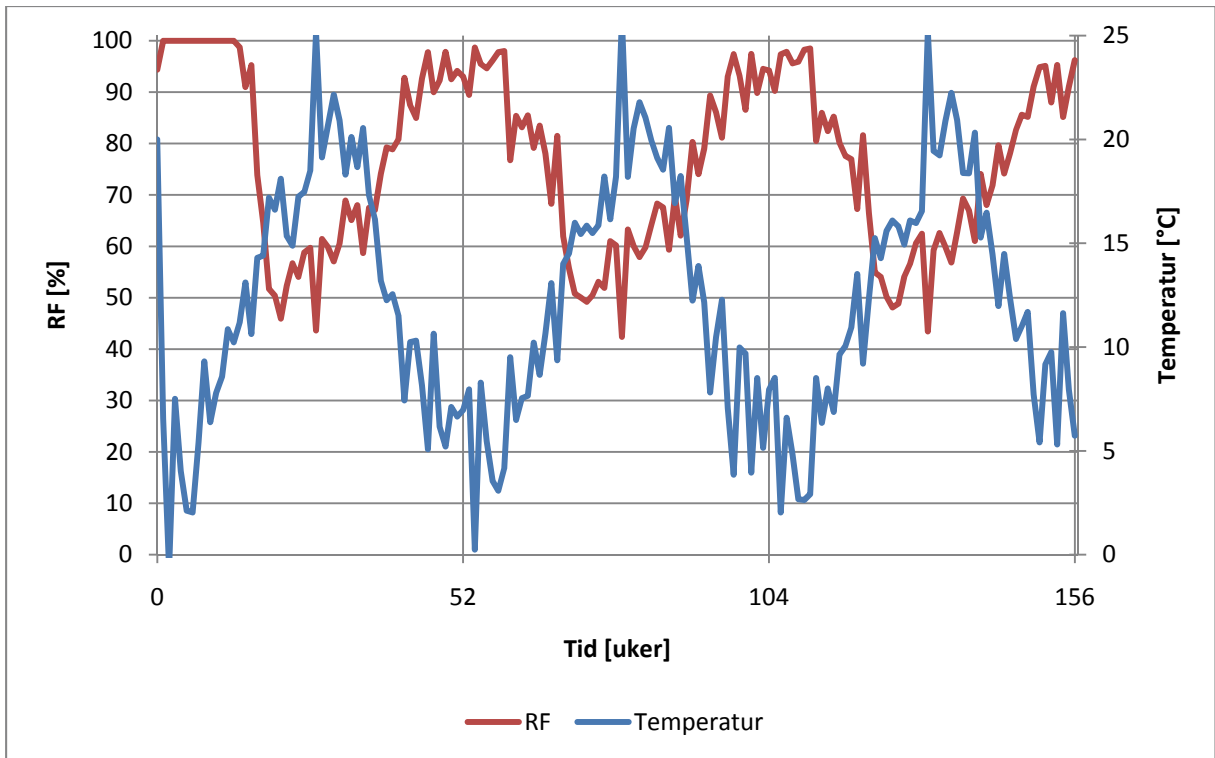
Figur D.12: Temperatur og RF for beregningsvariant 12



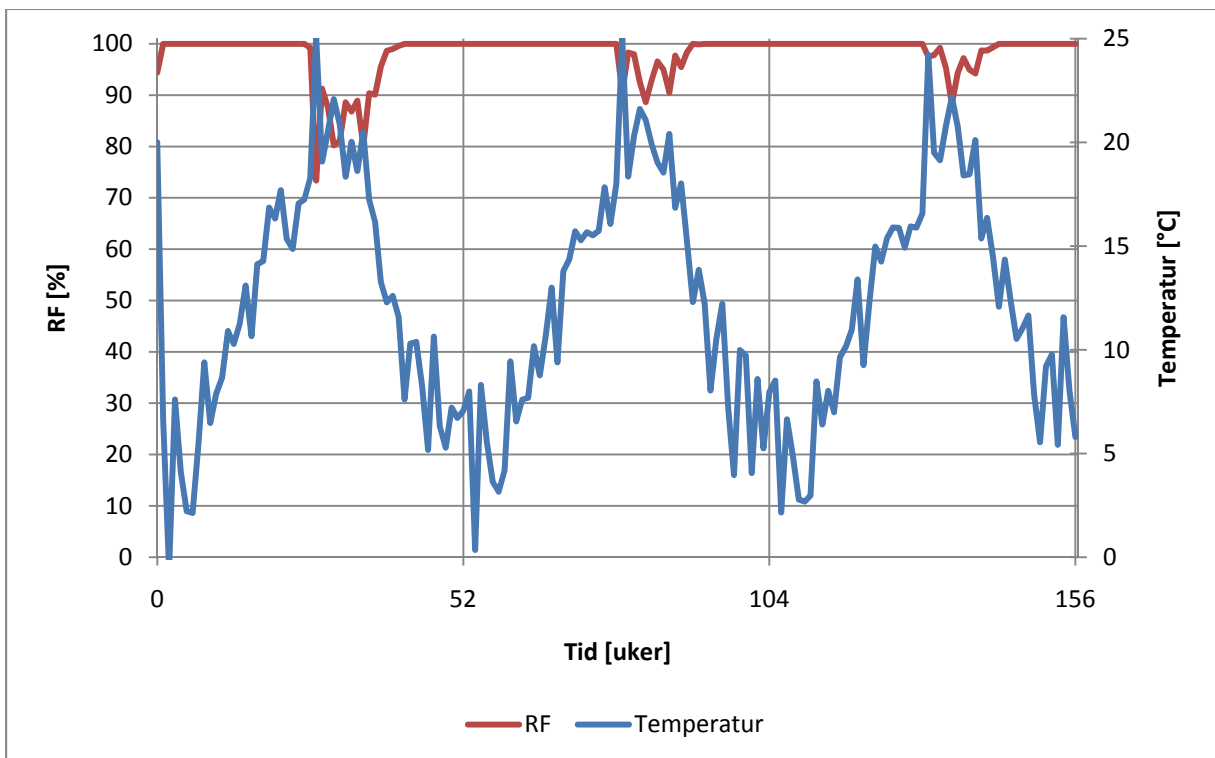
Figur D.13: Temperatur og RF for beregningsvariant 13



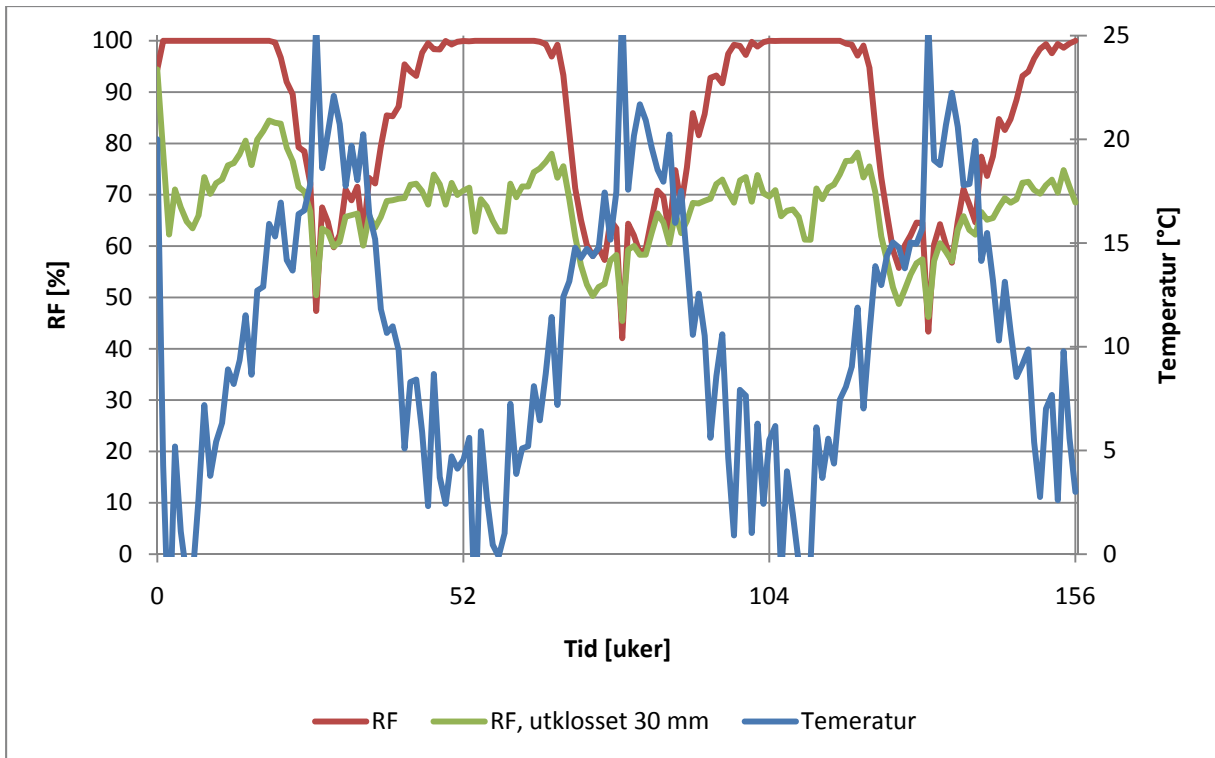
Figur D.14: Temperatur og RF for beregningsvariant 14



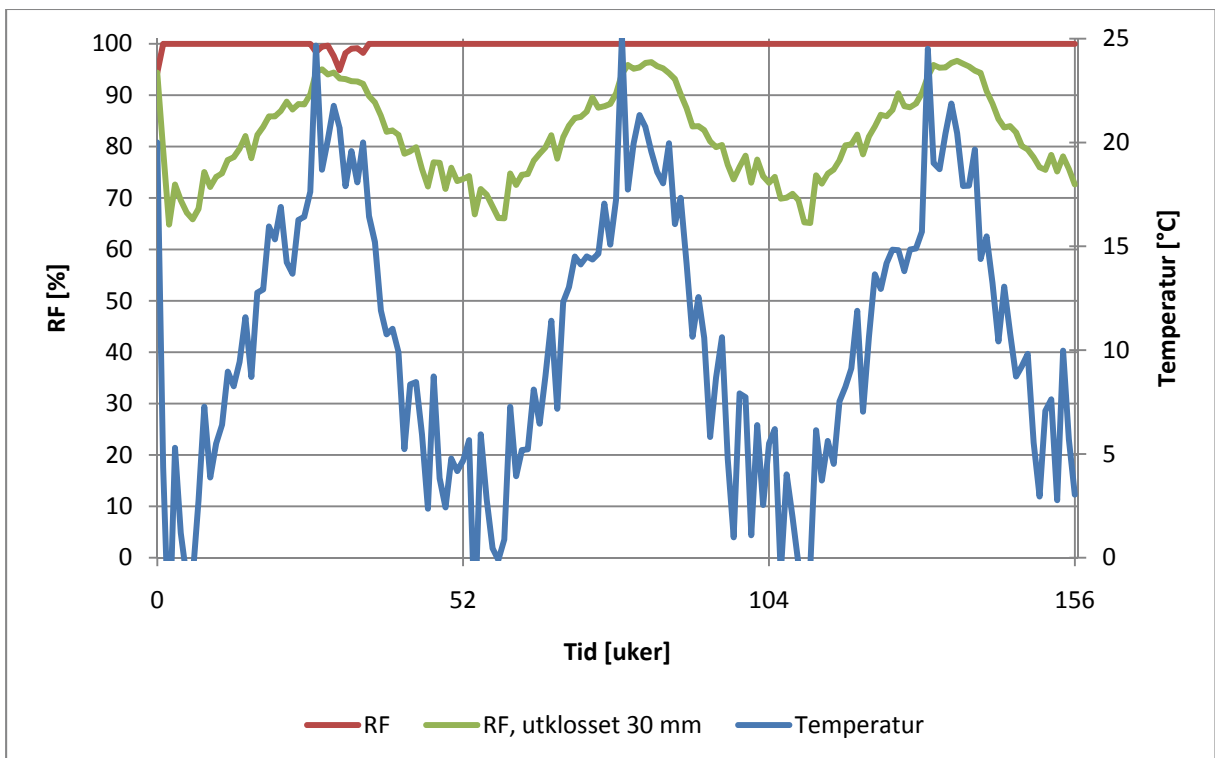
Figur D.15: Temperatur og RF for beregningsvariant 15



Figur D.16: Temperatur og RF for beregningsvariant 16

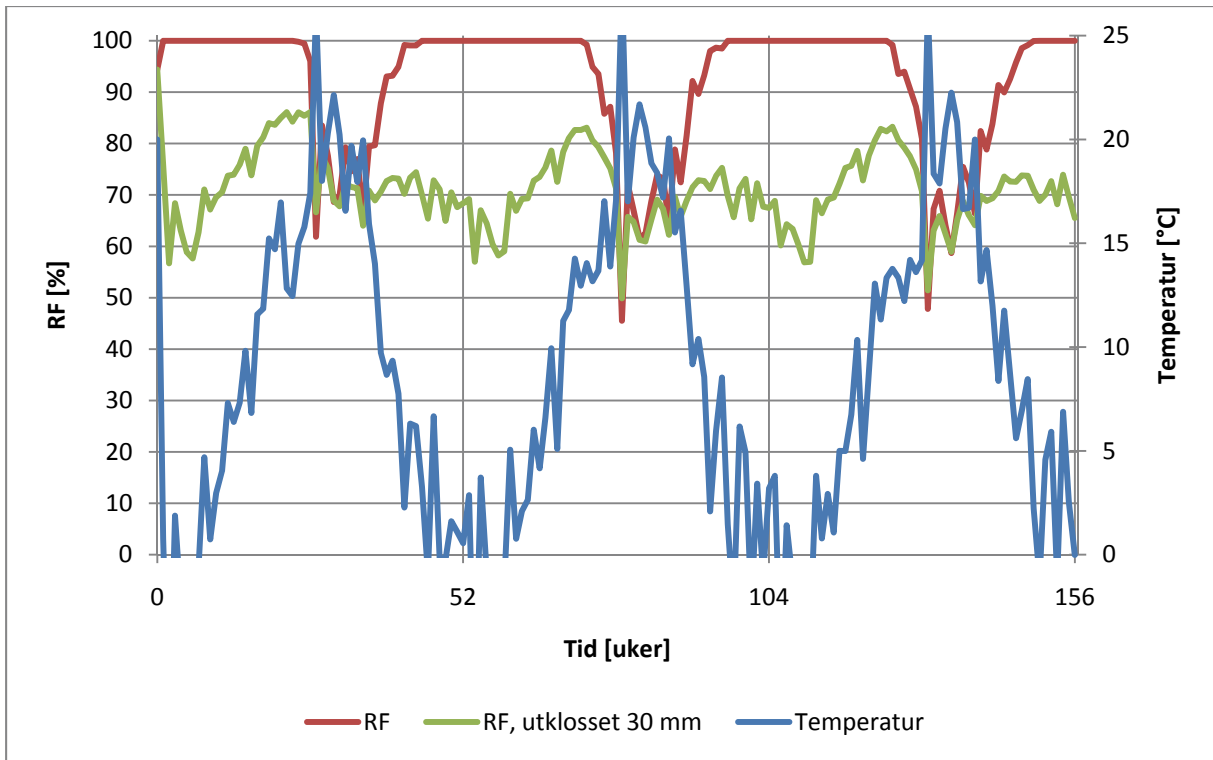


Figur D.17: Temperatur og RF for beregningsvariant 17

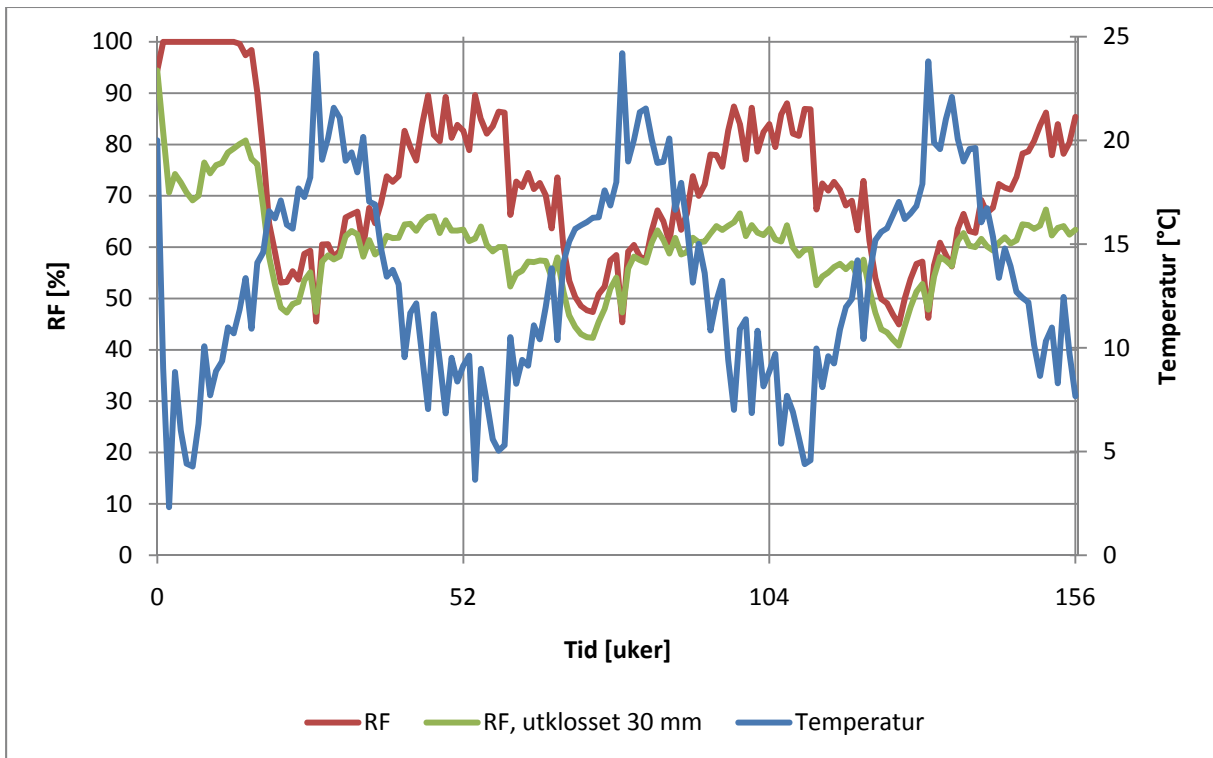


Figur D.18: Temperatur og RF for beregningsvariant 18

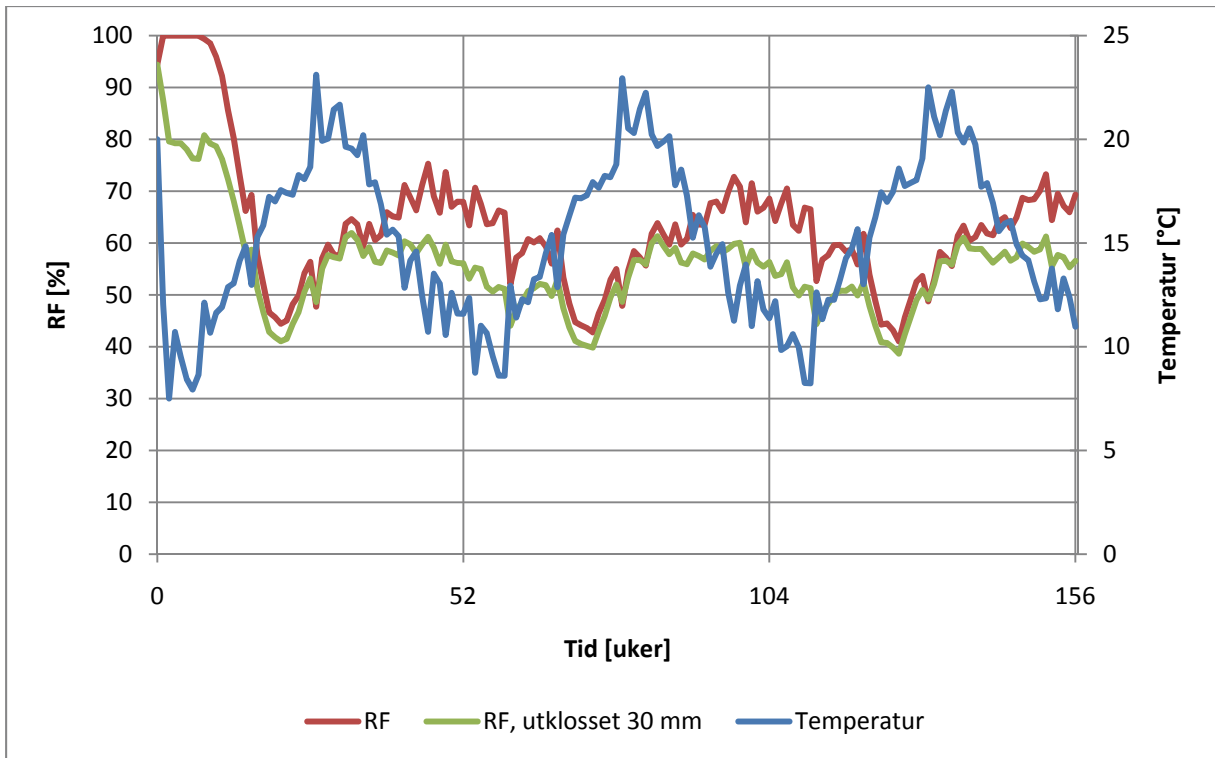




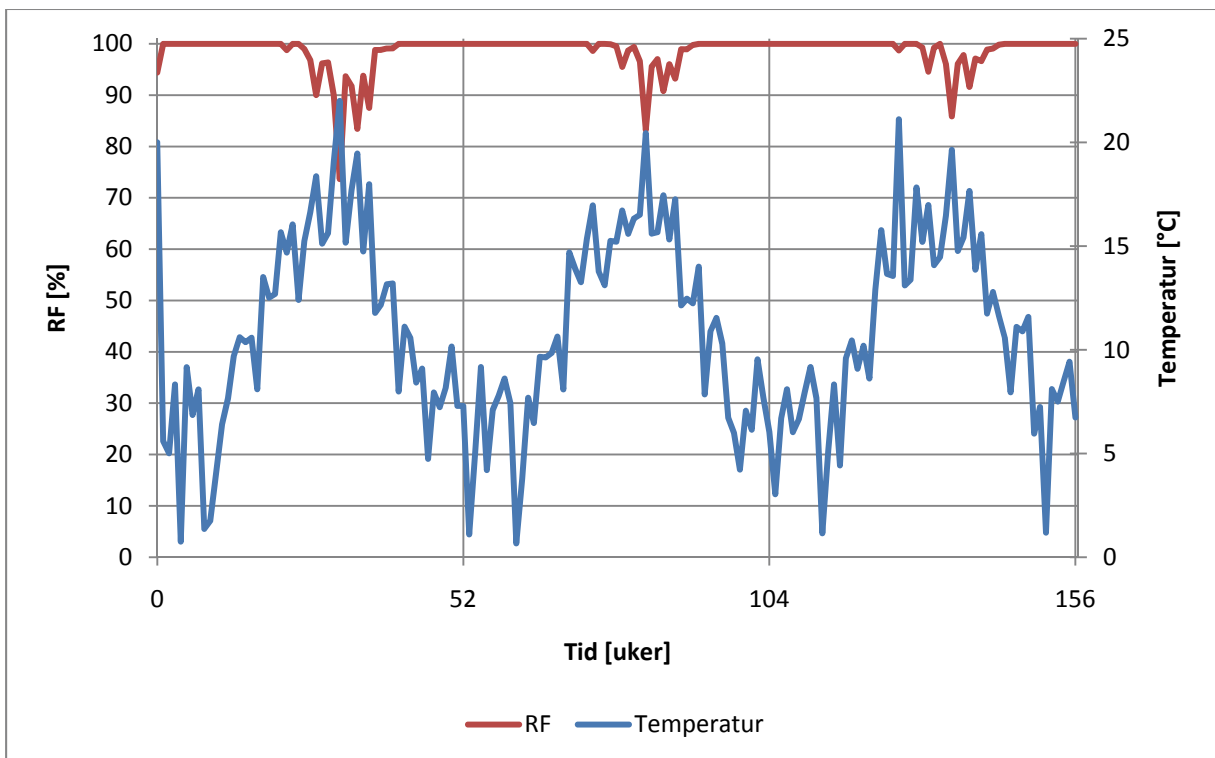
Figur D.19: Temperatur og RF for beregningsvariant 19



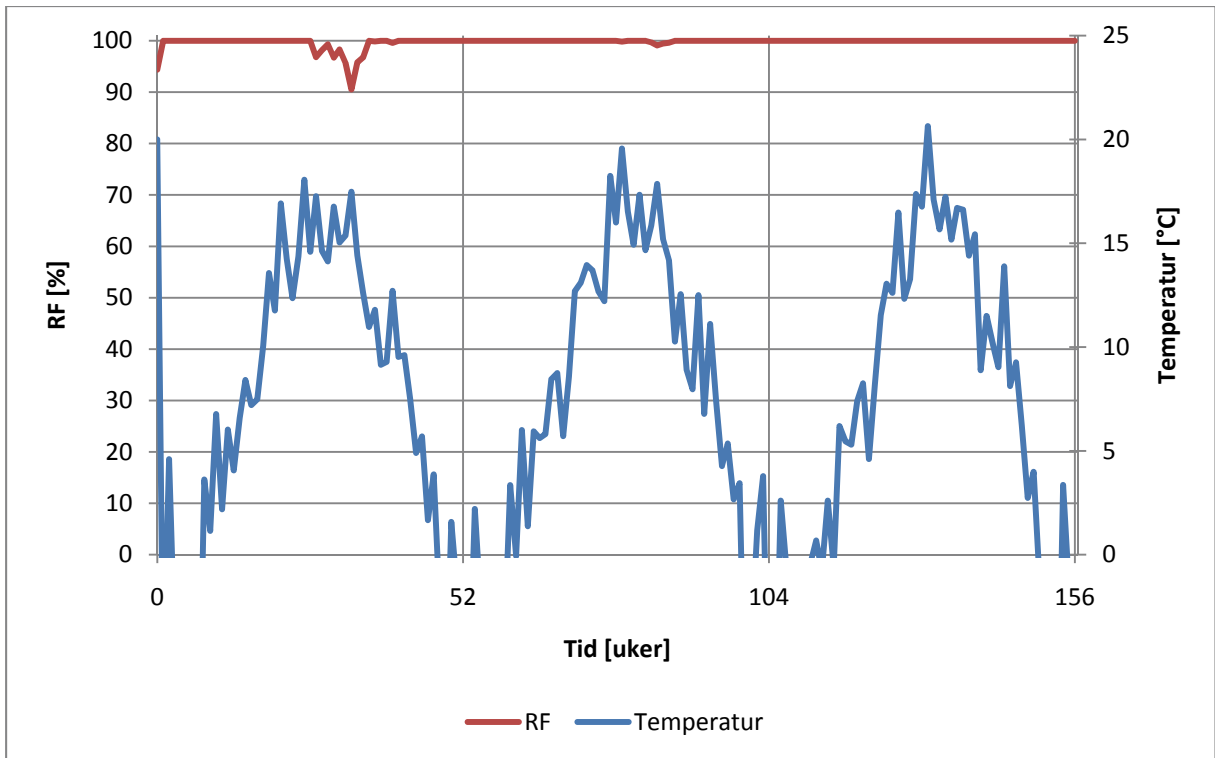
Figur D.20: Temperatur og RF for beregningsvariant 20



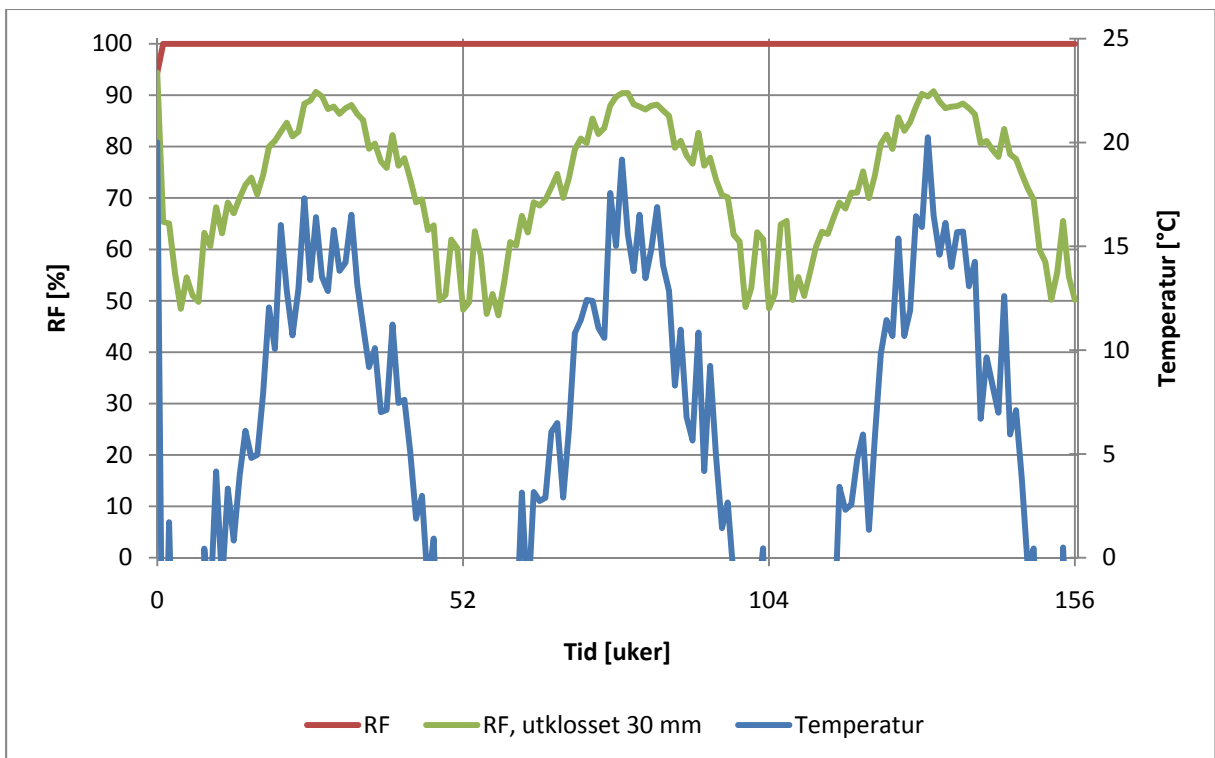
Figur D.21: Temperatur og RF for beregningsvariant 21



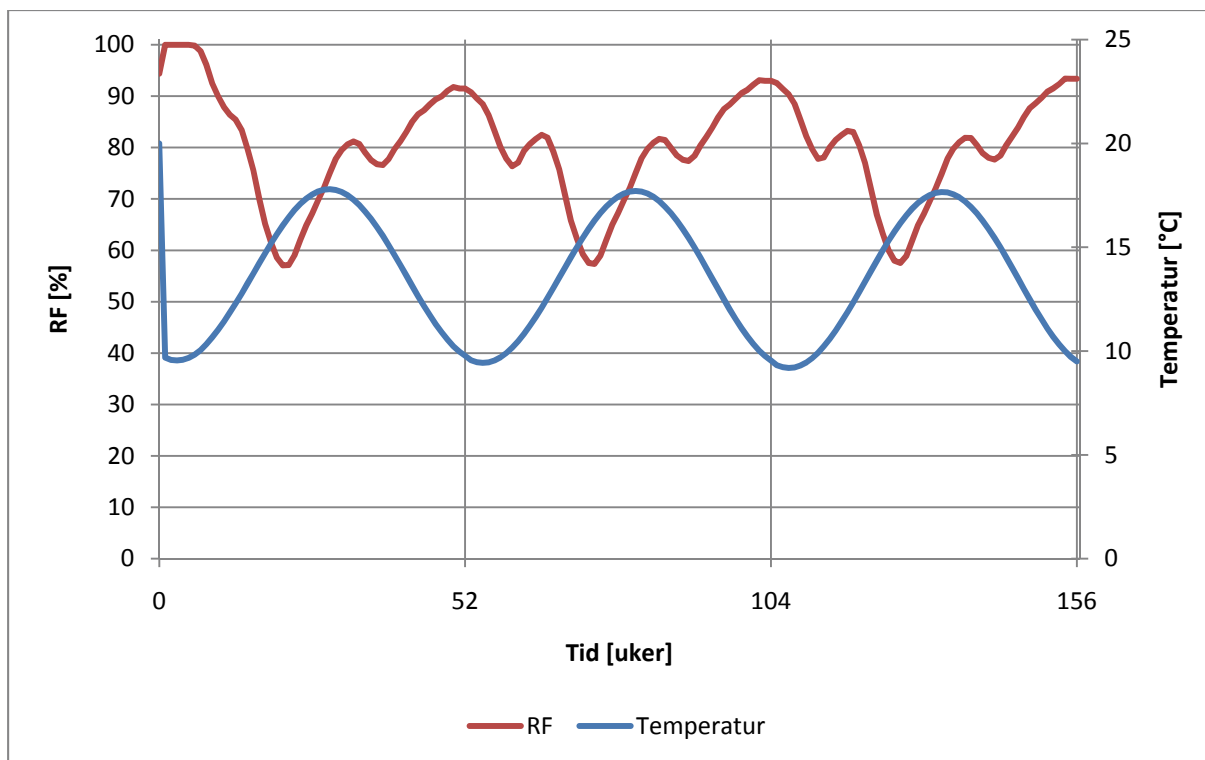
Figur D.22: Temperatur og RF for beregningsvariant 22



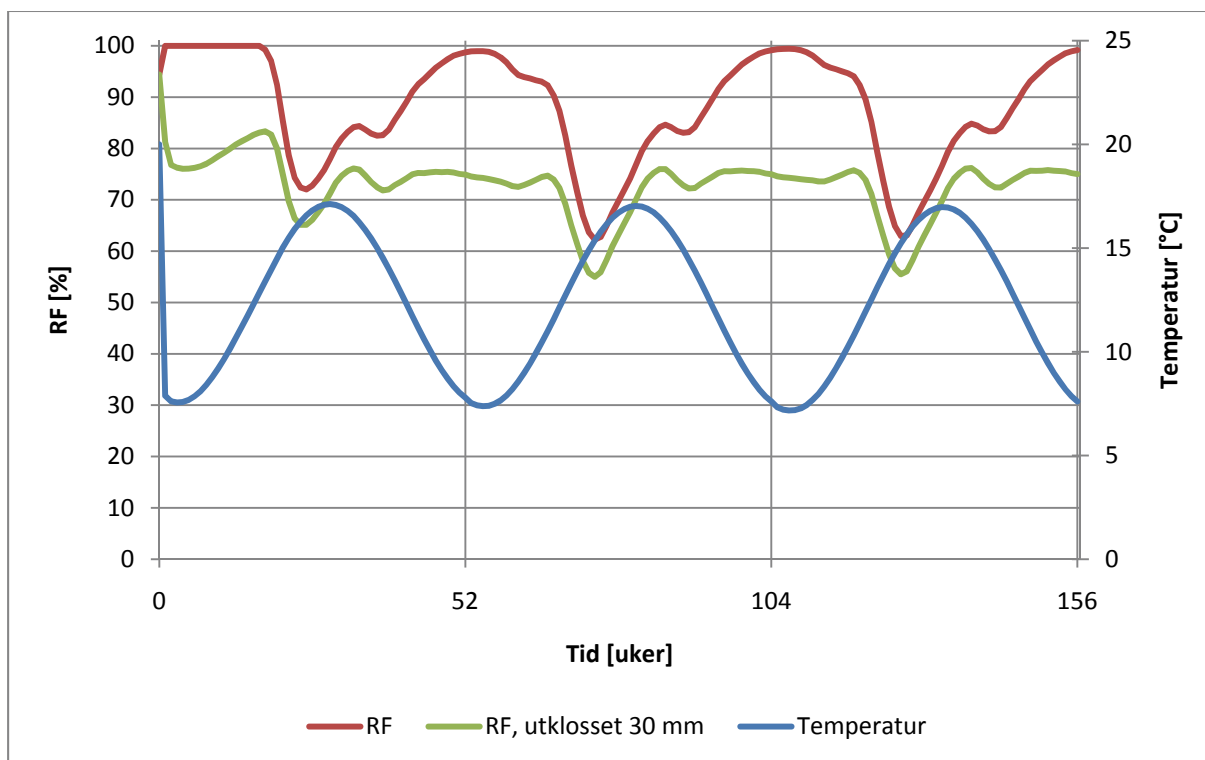
Figur D.23: Temperatur og RF for beregningsvariant 23



Figur D.24: Temperatur og RF for beregningsvariant 24

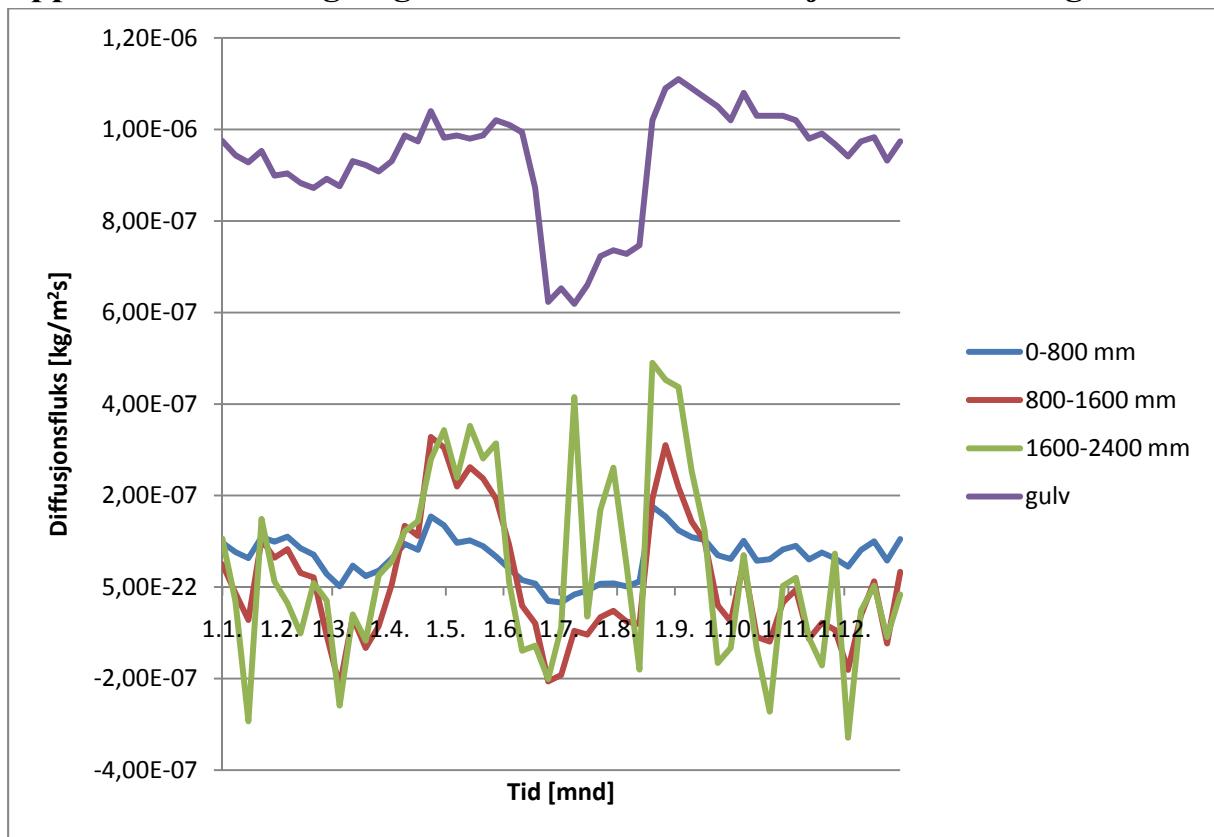


Figur D.25: Temperatur og RF for beregningsvariant 25

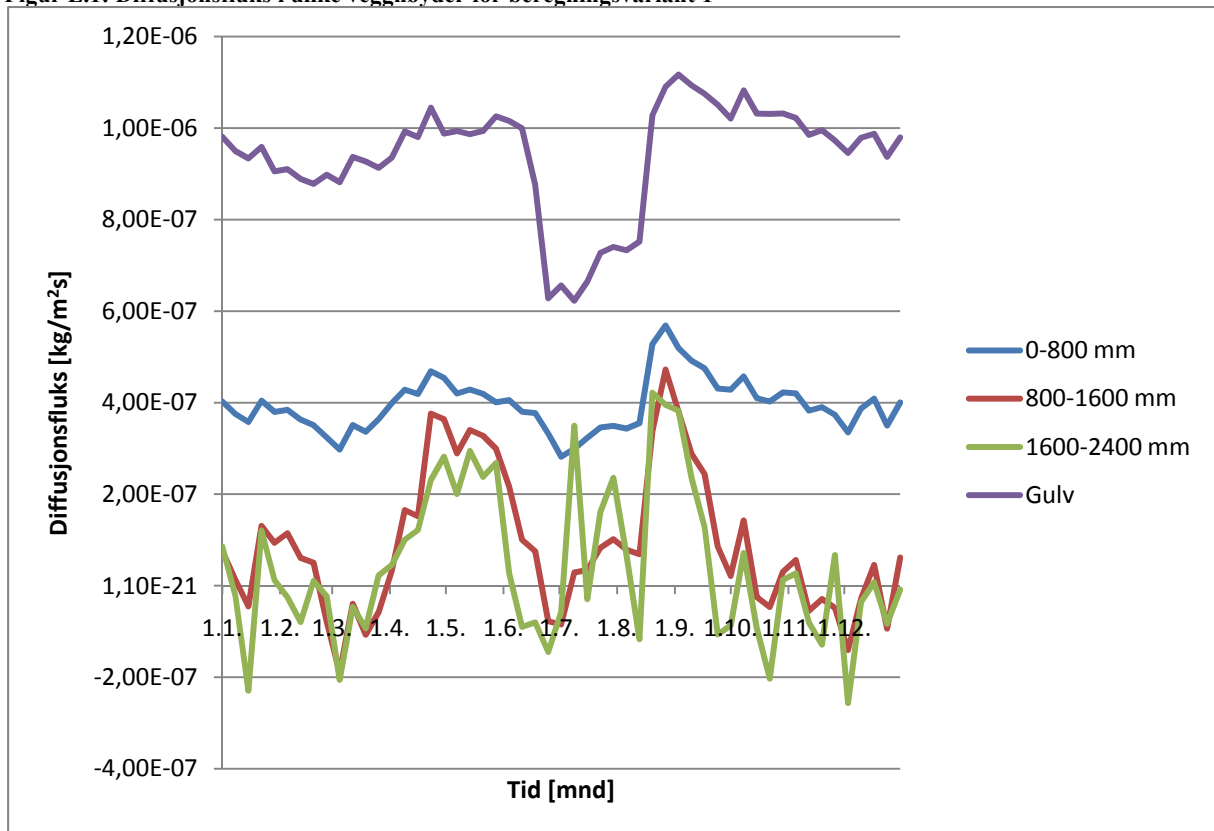


Figur D.26: Temperatur og RF for beregningsvariant 26

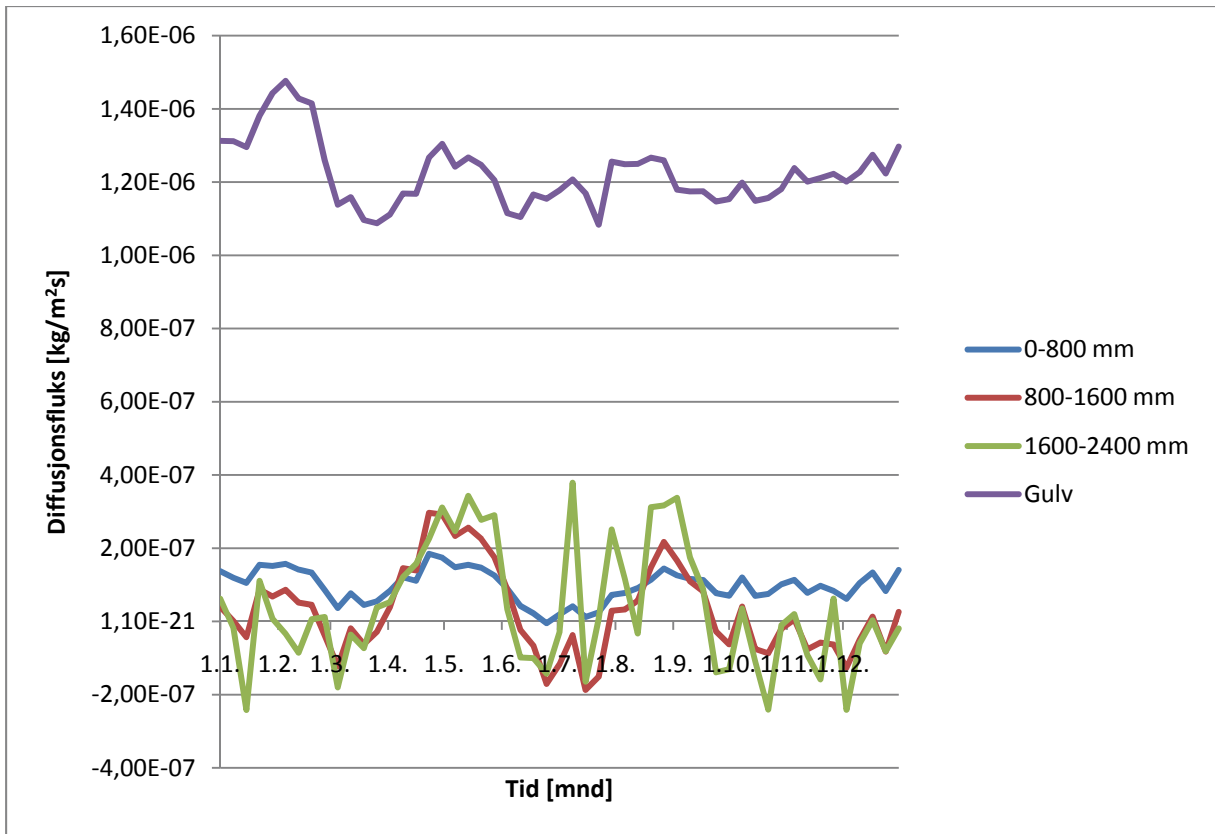
## Appendiks E – Beregningsresultater for konstruksjon før utbedring



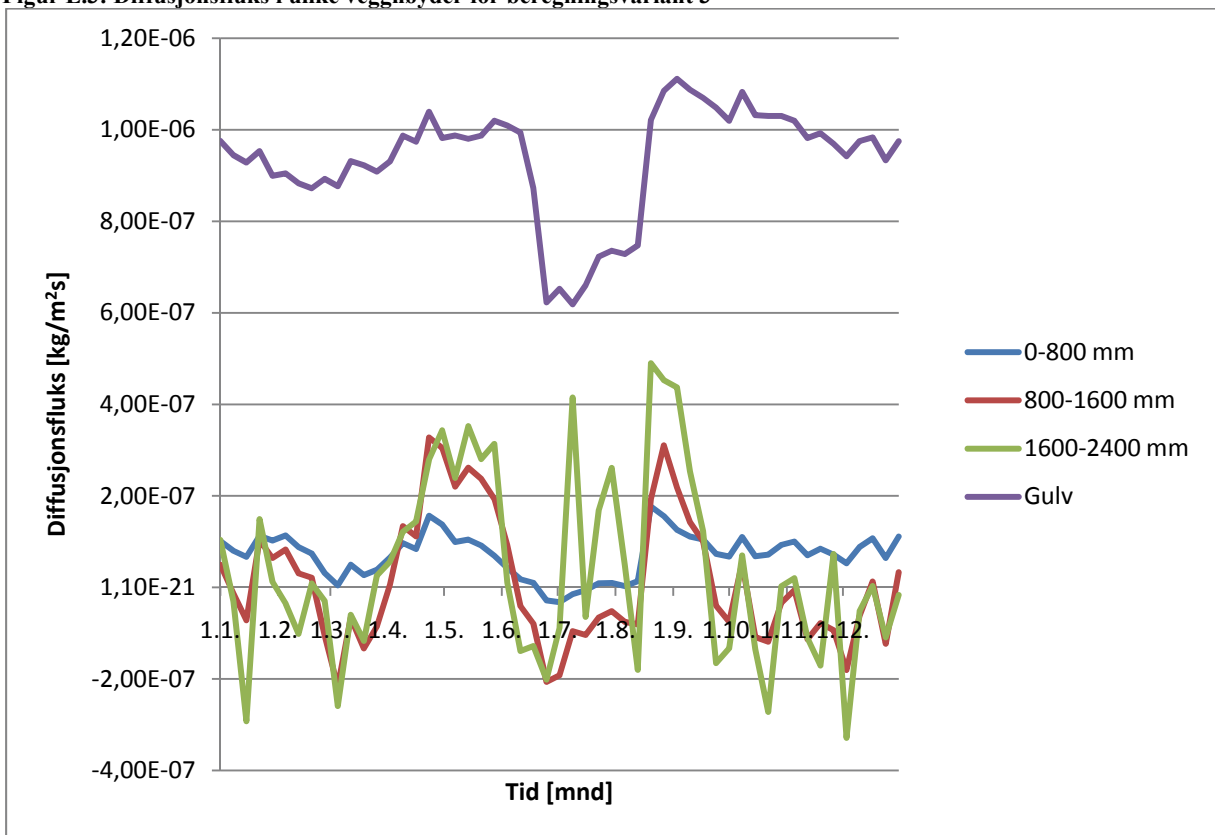
Figur E.1: Diffusionsfluks i ulike vegg høyder for beregningsvariant 1



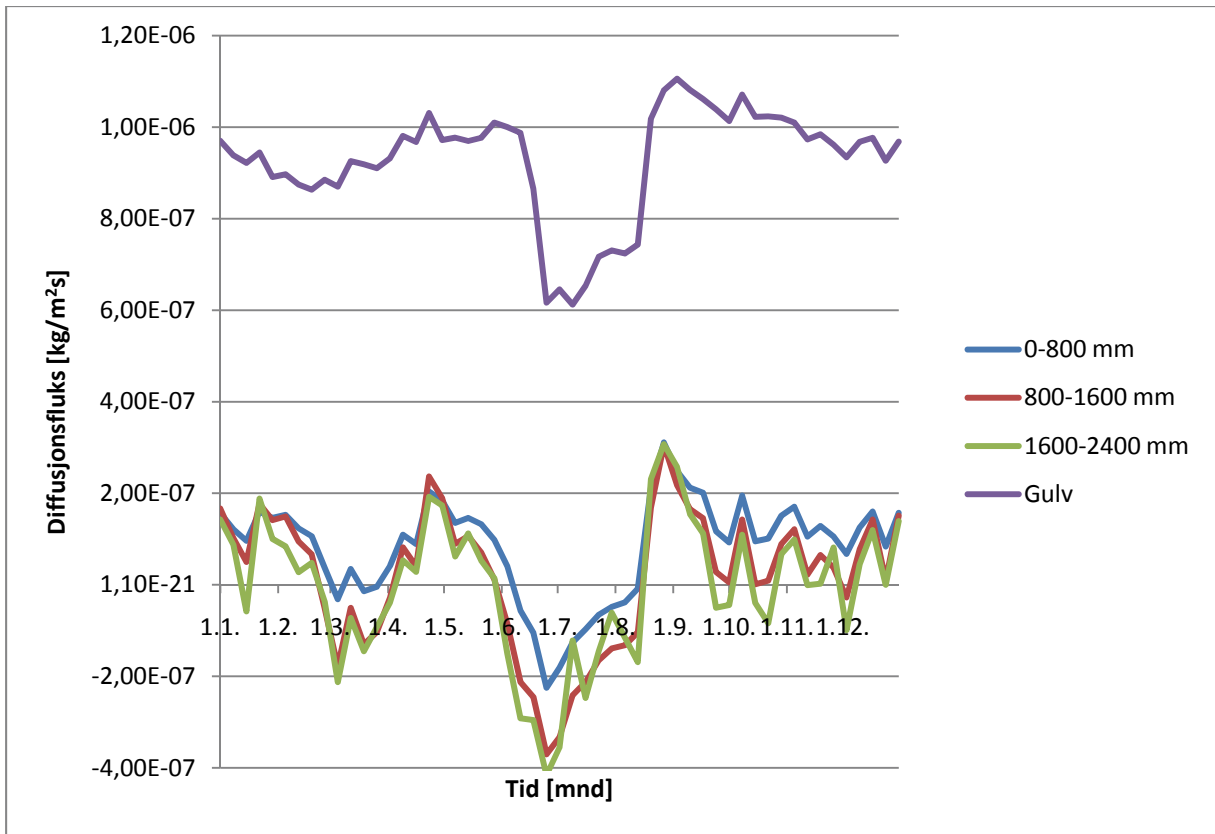
Figur E.2: Diffusionsfluks i ulike vegg høyder for beregningsvariant 2



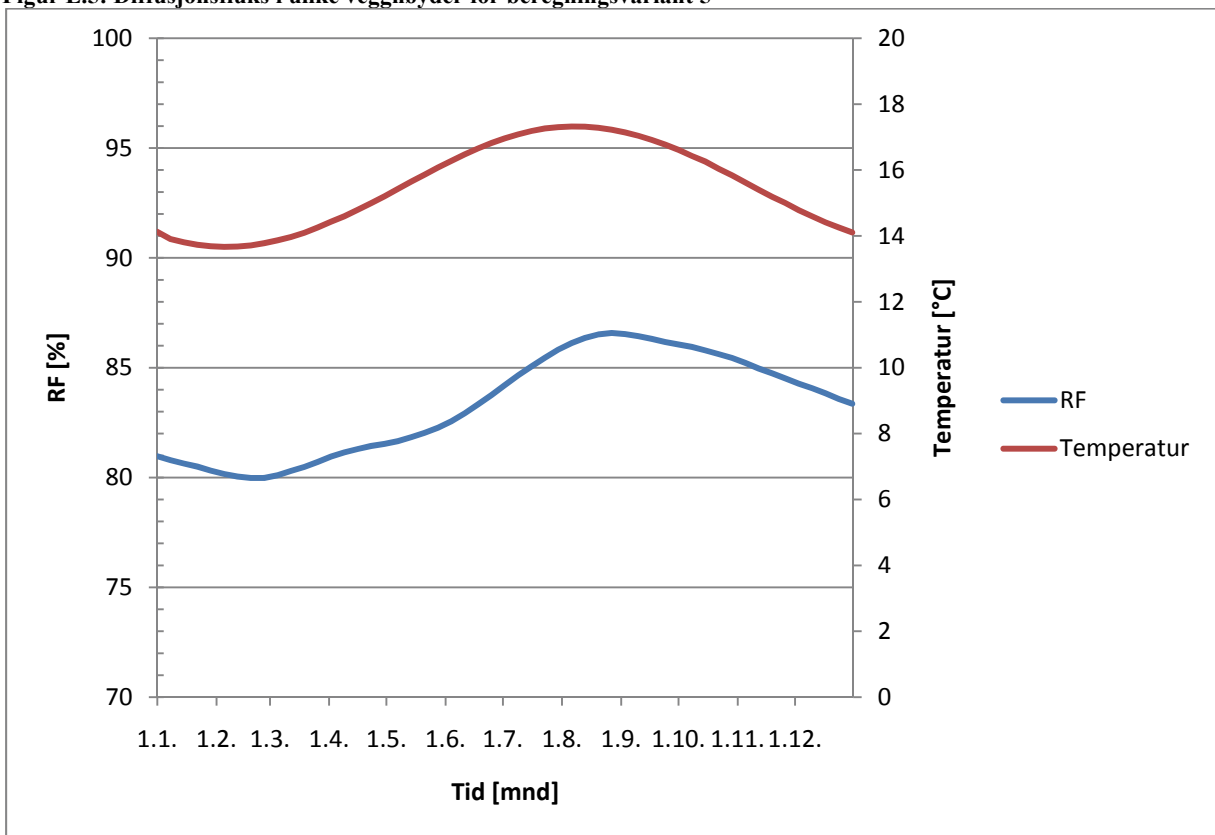
Figur E.3: Diffusjonsfluks i ulike vegghøyder for beregningsvariant 3



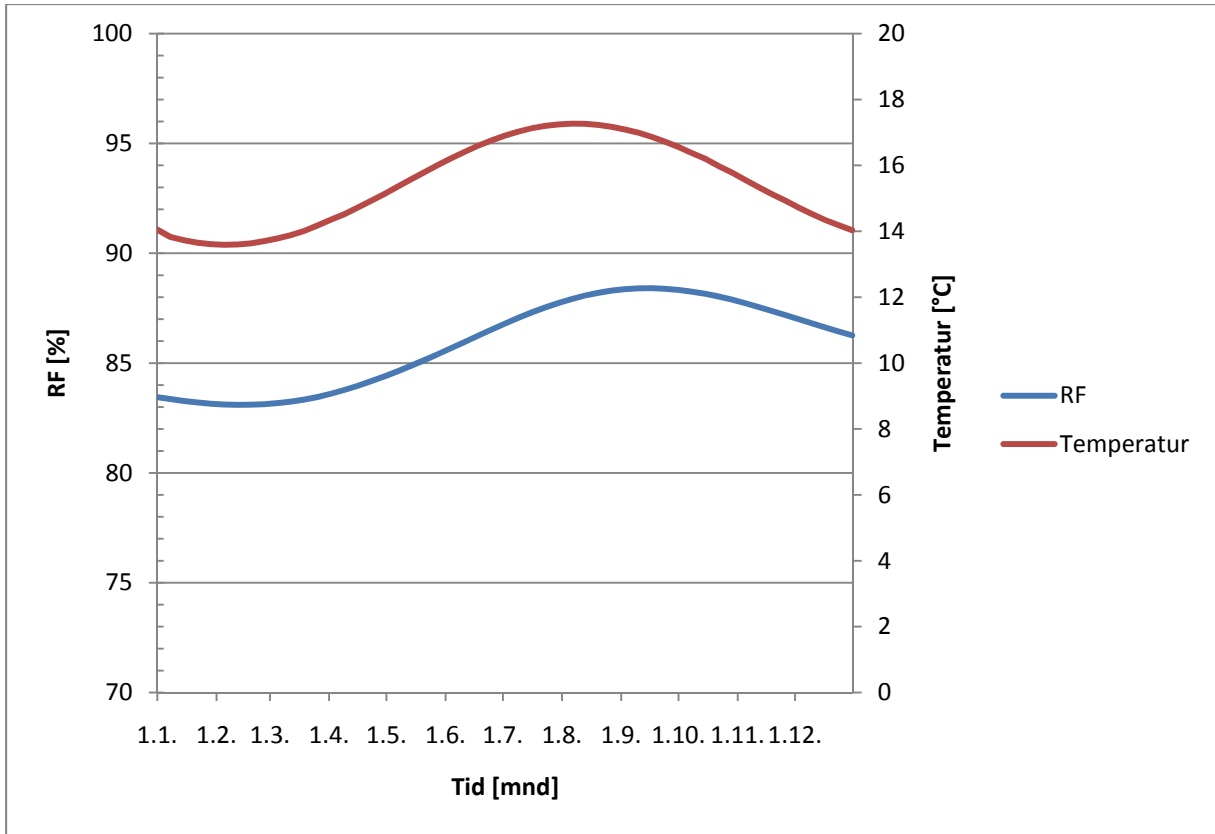
Figur E.4: Diffusjonsfluks i ulike vegghøyder for beregningsvariant 4



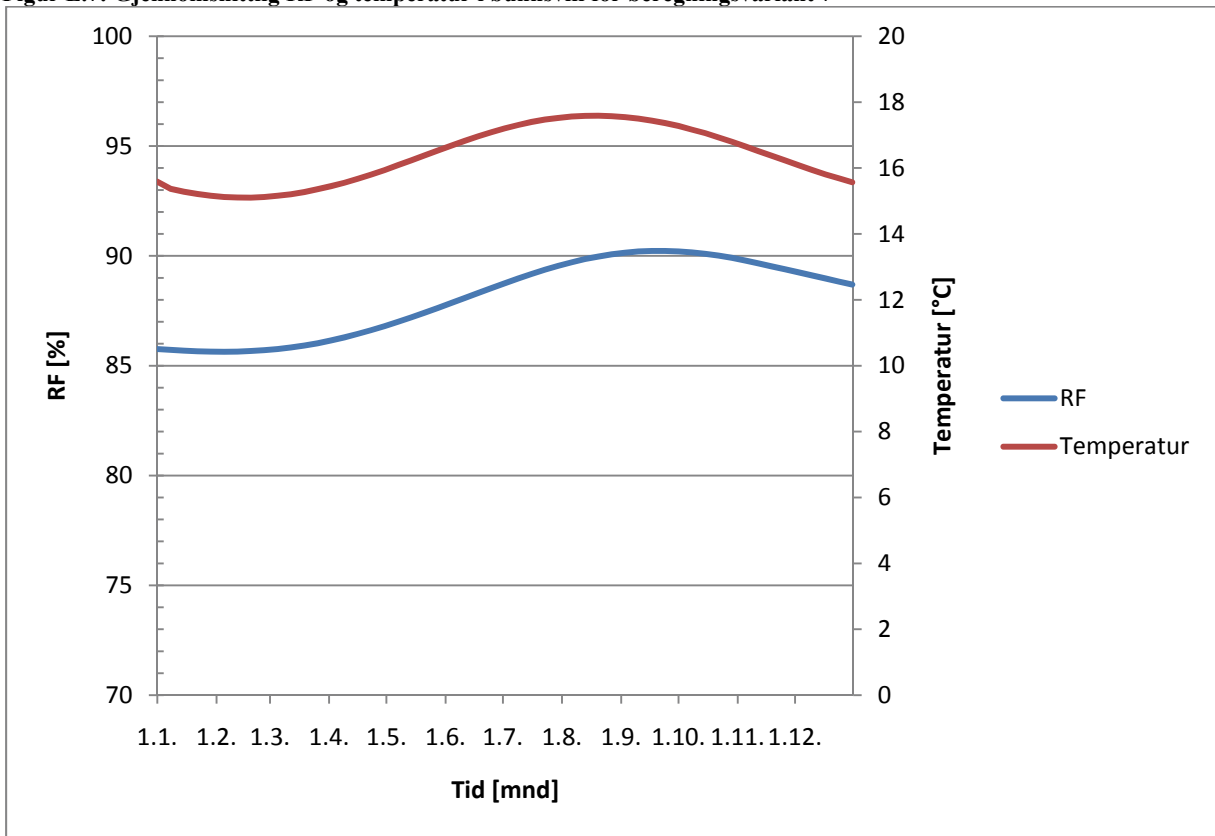
Figur E.5: Diffusionsfluks i ulike veggøyder for beregningsvariant 5



Figur E.6: Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill for beregningsvariant 6



Figur E.7: Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill for beregningsvariant 7



Figur E.8: Gjennomsnittlig RF og temperatur i bunnsvill for beregningsvariant 8





