

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Examensarbete TVBH-5080  
Lund 2014

---

# Fuktanalys av ytterväggskonstruktioner som ansluter till offentliga våtrum

Tina Georgsdottir  
Carin Nygren



**LUND**  
UNIVERSITY

# Fuktanalys av ytterväggskonstruktioner som ansluter till offentliga våtrum

Tina Georgsdottir  
Carin Nygren

© Tina Georgsdottir och Carin Nygren

ISRN LUTVDG/TVBH-14/5080--SE(128)

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

## Sammanfattning

- Titel:** Fuktanalys av ytterväggskonstruktioner som ansluter till offentliga våtrum
- Författare:** Tina Georgsdottir och Carin Nygren
- Handledare:** Lars-Erik Harderup, Byggnadsfysik, LTH  
Håkan Stenström, Skanska Teknik, Malmö
- Examinator:** Birgitta Nordquist, Installationsteknik, LTH
- Bakgrund:** Många av Sveriges ca 500 badhus och simhallar är i stort behov av renovering. Livslängden på anläggningarna beräknas till maximalt 50 år, men den extrema driftmiljön leder ofta till att anläggningarna får problem och åldras snabbare. Renoveringsmöjligheterna är begränsade och i vissa fall måste anläggningarna rivas redan efter halva beräknade livslängden på grund av svåra fuktrelaterade skador.
- Problematik kring byggnation av badhus och simanläggningar är idag välkänt, men liknande offentliga miljöer kan även hittas i spa-avdelningar och rum med rehabassänger som byggs i många hotell och äldreboende. Likheter till trots ringer inte samma varningsklocka vid byggnation av ett hotell som vid byggnation av ett badhus. Branschreglerna som idag finns behandlar badrum i bostäder men för offentliga miljöer som är utsatta för extra fuktbelastningar och påfrestningar finns däremot få regler och riktlinjer.
- Fuktskador i klimatskärmen är några av de svåraste och mest kostsamma skador att reparera, däribland ytterväggskonstruktionen. Trots diskussioner i branschen är det få omfattande undersökningar som gjorts på ytterväggar i offentliga våtrum, framför allt saknas undersökningar på konstruktioner i dusch- och bastumiljö. Med hjälp av fuktberäkningsprogrammet WUFI Pro 5.3 1D finns möjligheten att i teorin undersöka ytterväggskonstruktionerna i anslutning till bastu- och duschmiljö.
- Syfte:** Syftet med examensarbetet är att utifrån fuktsynpunkt kartlägga och analysera ytterväggskonstruktioner i anslutning till offentlig våtrumsmiljö. Med grund i analyser av simuleringar i fuktberäkningsprogrammet WUFI ges rekommendationer om hur ytterväggskonstruktioner ska utformas mot dusch- och bastuklimat.
- Metod:** En omfattande litteraturstudie ligger till grund för rapporten för att kunna utföra analyser och föra diskussioner kring resultaten. För att undersöka och kartlägga fuktproblem i offentliga våtrum genomförs en mindre skadekartering. Tre ytterväggskonstruktioner från Skanskas standardbyggdelar har valts ut till simulering i

fuktberäkningsprogrammet WUFI. Datorprogrammet WUFI tillåter användaren att utföra realistiska simuleringar av en- och tvådimensionell värme- och fukttransport i byggnadskomponenter. Programmet baseras på resultat av aktuell forskning kring ångdiffusion och fukttransport i byggnadsmaterial och har validerats av detaljerade jämförelser med verkliga mätningar i såväl laboratoriemiljöer som befintliga byggnader.

I driftmiljöerna dusch och bastu simuleras de tre ytterväggskonstruktionerna med olika uppbyggnader. Resultaten från simuleringarna utvärderas i M-modellen, ett analysverktyg framtaget av Skanska som bedömer risken för mögelpåväxt utifrån utdata från WUFI. Med grund i resultat och robusthetsanalyser ges rekommendationer på respektive ytterväggs utförande för driftmiljöerna bastu och dusch.

**Slutsatser:**

Utifrån redovisade antagande och förutsättningar i detta examensarbete kan ett antal rekommendationer ges om ytterväggskonstruktioner i anslutning till bastu- och duschmiljö.

Extrema klimat kräver robusta konstruktioner. Till skillnad från hållfasthetsberäkningar finns inga självklara dimensionerande lastfall för fuktberäkningar, alla olika ingångsparametrar beror av varandra och det är svårt att veta vilken kombination som ger det dimensionerande fallet. Följaktligen är det betydande att beräkningarna är gjorda på säkra sidan och att konstruktionen tillåter en viss marginal.

Vad som är bäst utifrån fuktsynpunkt är inte nödvändigtvis bäst utifrån andra aspekter. Exempelvis rekommenderas att invändig isolering inte används i bastuväggarna. Utan isolering erhålls en varmare konstruktion och som således är fuktmässigt säkrare, utifrån energisynpunkt är däremot en oisolerad bastukonstruktion tveksam.

Generellt visar resultaten i rapporten att ett luftat fasadsystem krävs för att konstruktionen ska fungera i de aktuella klimaten. Bland de undersökta ytterväggskonstruktionerna fick ytterväggen med betongstomme och luftat fasadsystem de bästa resultaten. Utifrån analyserna i detta examensarbete kan ytterväggen rekommenderas till både bastu- och duschvägg under givna förutsättningar.

I slutsatsen presenteras rekommenderade lösningar på de aktuella ytterväggskonstruktionerna i bastu- och duschmiljö, utifrån fuktsynpunkt.

**Nyckelord:**

Fukt, WUFI, Mögelpåväxt, M-modellen, Badhus, Bastu, Dusch, Offentliga våtrum, Ytterväggskonstruktioner.

## Abstract

**Title:** Moisture analysis of outer wall constructions in sauna and shower environments

**Authors:** Tina Georgsdottir, Carin Nygren

**Supervisors:** Lars-Erik Harderup, Building Physics, LTH  
Håkan Stenström, Skanska Teknik, Malmö

**Examiner:** Birgitta Nordquist, Building Services, LTH

**Problem:** Many of Sweden's approximately 500 indoor bathing houses are in great need of renovation. The lifespan of these facilities is calculated to a maximum of 50 years, but a lack of maintenance, problems with building techniques and their extreme indoor environments have led to premature deterioration. The opportunities for renovation are limited and the facilities must often close long before their technical lifespan is reached due to moisture related problems. Moisture damage in the building's construction, for instance in outer wall constructions, are some of the most difficult and costly forms of damage to repair.

The problems with building indoor bathing houses are well established, however similar indoor climates exist in many hotels, gyms and rehab facilities whose construction does not create the same level of concern.

Despite many discussions about these extreme environments in the building industry, few substantial investigations have been made into outer wall constructions in public sauna and shower settings. In particular there is a lack of investigations into constructions in sauna environments. With the moisture simulation program WUFI Pro 5.3 1D it is possible to theoretically investigate the outer wall constructions with these indoor climates. WUFI is a software program which allows realistic calculation of one and two dimensional heat and moisture transport in multi-layer building components exposed to natural weather. It is based on the newest findings regarding vapor diffusion and liquid transport in building materials and has been validated by detailed comparisons using measurements obtained in laboratory settings and outdoor field tests.

**Objective:** The purpose of this project is to map out and analyze outer wall constructions in public sauna and shower environments. Recommendations are then made on how to construct these walls using analysis from simulations in the moisture calculation program WUFI.

**Method:**

An extensive literature study lays the foundation for this project, allowing for the analyzation and discussion of the results. In order to investigate and map out moisture problems in public sauna and shower constructions a small scale survey is made.

Three standard outer wall constructions from the Swedish construction company Skanska are chosen, they are then evaluated separately by WUFI in both sauna and shower conditions. The results from WUFI are analyzed in the mold model "M-model", a tool designed by Skanska that evaluates the risk of mold growth using WUFI's output. After gathering the results, the data was thoroughly analyzed in order to make recommendations for future constructions.

**Conclusion:**

Under certain conditions, outlined in this project, several recommendations can be made for outer wall constructions in sauna and shower environments.

Extreme climates demand robust constructions. As opposed to stability calculations there are no obvious design loads for moisture calculations, all input parameters are interconnected and it is hard to know which combination will give the worst case. Therefore it is important that the calculations made allow for safety margins.

What is most beneficial from a moisture perspective is not necessarily also beneficial from other perspectives. For example, no inside insulation is recommended in the sauna constructions. Without extra insulation the whole wall will become warmer and therefore less prone to moisture problems, however from an energy perspective an uninsulated sauna is a dubious construction.

The results of this report show that a ventilated facade system is needed for the wall constructions to function in the referenced climates. The best performing wall among the investigated outer walls was the concrete construction with brick masonry. Results and analysis show that the wall can be recommended for both sauna and shower environments under certain predefined conditions stated in this project.

The conclusion consists of recommended solutions for outer wall constructions in sauna and shower environments from a moisture perspective.

**Key words:**

Moisture, WUFI, Mold growth, M-model, Bathing house, Sauna, Shower, Public wet room, Outer wall construction

## Förord

Detta examensarbete avslutar studierna på väg- och vattenbyggnadsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet utfördes vid avdelningen för Byggnadsfysik och i samarbete med Skanska Teknik i Malmö under våren 2014.

Vi skulle vilja rikta ett speciellt tack till Håkan Stenström, vår handledare på Skanska Teknik i Malmö, för ditt engagemang och alla värdefulla kommentarer. Ett stort tack riktas även till Lars-Erik Harderup, vår handledare på LTH, för ditt stöd under arbetets gång.

Tack till Petter Wallentén vid avdelningen för Byggnadsfysik på LTH, som har hjälpt oss med alla våra frågor och problem i programmet WUFI. Vi skulle även vilja tacka Skanska Teknik i Malmö för ert stora engagemang och fina arbetsplatser under genomförandet av examensarbetet. Tack även till er som ställde upp på intervjuer till skadekarteringen; Anders Kumlin på AK-konsult, Peter Brander och Jens Erik Jörgensen på Skanska AB Teknik.

Examensarbetet har gett oss värdefull kunskap, en intressant inblick i fuktproblematikens värld och även en hel del huvudbry. Vi hoppas att arbetet kommer att vara oss och andra till nytta i framtiden.

*Tina Georgsdottir och Carin Nygren  
Lund, 2014*





## Beteckningar

- $C_p$  = Specifik värmekapacitet [J/kg · K]  
 $d$  = Diameter [m]  
 $G$  = Fuktblöde [kg/s]  
 $g$  = Fuktblöde [kg/m<sup>2</sup>s]  
 $g_0$  = Tyngdaccelerationen: 9,81 [m/s<sup>2</sup>]  
 $h$  = Höjd [m]  
 $L$  = Tjocklek [m]  
 $M_v$  = Molvikt för vatten: 18,02 [kg/kmol]  
 $P$  = Tryck [Pa]  
 $\Delta P$  = Tryckskillnad [Pa]  
 $P_m$  = Mekaniskt tryck orsakat av ventilationssystemet [Pa]  
 $p$  = Porositet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]  
 $q_{50}$  = Byggnadsskalsinfiltration vid tryckdifferens 50 Pa [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> · h]  
 $R$  = Luftflöde [m<sup>3</sup>/s]  
 $R_k$  = Allmänna gaskonstanten: 8314,3 [J/kmol · K]  
 $sd - värde^{(*)}$  = Genomgångsmotstånd [m]  
 $T$  = Temperatur [°C]  
 $t$  = Tid [s]  
 $v$  = Ånghalt [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v_s$  = Mättnads ånghalt [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v_{FT}$  = Fukttillskott [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v_{ct}$  = Vattencementtal [kg/kg]  
 $w_e$  = Fukthalt [kg/m<sup>3</sup>]  
 $Z_v$  = Ånggenomgångsmotstånd [s/m]  
 $Z_p$  = Ånggenomgångsmotstånd [m<sup>2</sup>s Pa/kg]  
 $\delta$  = Ånggenomsläpplighet [m<sup>2</sup>/s]  
 $\eta$  = Dynamisk viskositet [Ns/m<sup>2</sup>]  
 $\lambda$  = Värmeledningsförmåga [W/m · K]  
 $\xi$  = Förlustfaktor [–]  
 $\rho$  = Skrymdensitet [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\varphi$  = RF = Relativ fuktighet [–]

### (\*) $sd - värde$

I examensarbetet kommer begreppet  $sd$ -värde att användas.  $Sd$ -värdet har enheten meter och kan beskrivas som "tjockleken hos det skikt stillastående luft som har samma ånggenomgångsmotstånd som materialet" ( $\delta_{luft} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  vid +20°C).

**Tabell 1.** Omräkningstabell för  $sd$ -värde.

|                 | $Z_v$ [s/m]     | $Z_p$ [m <sup>2</sup> s Pa/kg] |
|-----------------|-----------------|--------------------------------|
| $sd$ -värde 1 m | $40 \cdot 10^3$ | $5,4 \cdot 10^9$               |

(Lunds Universitet 1, 2010)



## Innehållsförteckning

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | Inledning.....                              | 1  |
| 1.1     | Bakgrund                                    | 1  |
| 1.2     | Syfte                                       | 3  |
| 1.3     | Frågeställningar                            | 3  |
| 1.4     | Målgrupp                                    | 3  |
| 1.5     | Avgränsningar                               | 3  |
| 1.6     | Metod                                       | 4  |
| 2       | Fukt .....                                  | 7  |
| 2.1     | Fukt i luft                                 | 7  |
| 2.2     | Fukt i material                             | 8  |
| 2.3     | Fukttransport                               | 8  |
| 2.4     | Effekter av fukt                            | 9  |
| 2.4.1   | Mögel                                       | 9  |
| 2.4.2   | Röta  | 11 |
| 3       | Tätning av klimatskärmen.....               | 13 |
| 3.1     | Lufttäthet                                  | 13 |
| 3.2     | Diffusionstäthet                            | 14 |
| 3.3     | Material för tätning                        | 14 |
| 4       | Ytterväggar.....                            | 15 |
| 4.1     | Funktionskrav                               | 15 |
| 4.2     | Fukt i ytterväggar                          | 15 |
| 4.2.1   | Byggfukt                                    | 15 |
| 4.2.2   | Två täta skikt                              | 15 |
| 4.2.3   | Sommarkondens                               | 16 |
| 4.3     | Principer för tätning                       | 16 |
| 4.3.1   | Enstegstätning                              | 17 |
| 4.3.2   | Tvåstegstätning                             | 17 |
| 4.4     | Indragen ångspärr                           | 17 |
| 5       | Regler, krav och riktlinjer .....           | 19 |
| 5.1     | Myndighetskrav och riktlinjer               | 19 |
| 5.1.1   | Boverkets Byggregler [BBR]                  | 19 |
| 5.1.1.1 | Fukt  | 19 |
| 5.1.1.2 | Lufttäthet                                  | 20 |
| 5.1.2   | FEBY 12                                     | 20 |
| 5.1.2.1 | Lufttäthet                                  | 20 |
| 5.1.3   | Byggkeramikrådets Branschregler för Våtrum  | 20 |
| 5.1.4   | ByggaF                                      | 21 |
| 5.1.5   | Säker Vatten                                | 21 |
| 6       | Definition av driftmiljö .....              | 23 |
| 6.1     | Bad-och simanläggningar                     | 23 |
| 6.1.1   | Fuktproblematik i badhus                    | 23 |
| 6.1.2   | Kemiska angrepp i badhus                    | 24 |
| 6.2     | Bastu                                       | 24 |
| 6.3     | Dusch                                       | 25 |
| 7       | Definition av ytterväggskonstruktioner..... | 27 |
| 7.1     | Betongstomme med tegelskalmur               | 27 |
| 7.1.1   | Alternativ uppbyggnad med skivfasad         | 28 |

---

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 7.2      | Regelstomme med tegelskalmur                        | 28 |
| 7.2.1    | Alternativ uppbyggnad med skivfasad                 | 29 |
| 7.3      | Betongstomme med puts på isolering                  | 30 |
| 8        | Skadekartering.....                                 | 31 |
| 8.1      | Anders Kumlin, AK-konsult                           | 31 |
| 8.2      | Peter Brander, Skanska Sverige AB Teknik            | 32 |
| 8.3      | Jens Erik Jørgensen, Skanska Sverige AB Teknik      | 33 |
| 8.4      | Intervjusammanställning                             | 35 |
| 9        | WUFI Pro 5.3 1D .....                               | 37 |
| 9.1      | Uppbyggnad och Monitorplacering                     | 38 |
| 9.2      | Orientering/Lutning/Höjd                            | 39 |
| 9.3      | Ytövergångskoefficient                              | 40 |
| 9.4      | Begynnelsevillkor                                   | 40 |
| 9.5      | Beräkningsperiod och tidssteg                       | 40 |
| 9.6      | Inomhusklimat                                       | 41 |
| 9.7      | Utomhusklimat                                       | 41 |
| 9.8      | Utdata  | 42 |
| 9.9      | Begränsningar i WUFI Pro 5.3 1D                     | 42 |
| 10       | Randvillkor för ytterväggar i WUFI Pro 5.3 1D ..... | 45 |
| 10.1     | Betongstomme med tegelskalmur                       | 45 |
| 10.1.1   | Alternativ uppbyggnad med skivfasad                 | 47 |
| 10.2     | Regelstomme med tegelskalmur                        | 48 |
| 10.2.1   | Alternativ uppbyggnad med skivfasad                 | 50 |
| 10.3     | Betongstomme med puts på isolering                  | 51 |
| 11       | Klimat till WUFI Pro 5.3 1D.....                    | 53 |
| 11.1     | Referensfall (vardagsrum)                           | 53 |
| 11.2     | Inomhusklimat - dusch och bastu                     | 54 |
| 11.2.1   | Bastu   | 55 |
| 11.2.2   | Dusch   | 57 |
| 11.3     | Utomhusklimat                                       | 58 |
| 12       | M-modellen .....                                    | 61 |
| 12.1     | Utdata från M-modellen                              | 63 |
| 12.2     | Begränsningar i M-modellen                          | 63 |
| 12.3     | Andra analysverktyg                                 | 63 |
| 13       | Beräkning av luftläckage.....                       | 65 |
| 13.1     | Beräkning av håldiameter                            | 65 |
| 13.2     | Drivkrafter för fuktkonvektion                      | 66 |
| 13.3     | Luftflöde genom hålet                               | 67 |
| 13.4     | Fuktflöde genom hålet                               | 67 |
| 14       | Definition av bastu- och duschuppbyggnad .....      | 69 |
| 14.1     | Uppbyggnad av bastuvägg                             | 69 |
| 14.2     | Uppbyggnad av duschvägg                             | 71 |
| 15       | Resultat och analys.....                            | 73 |
| 15.1     | Betongstomme med tegelskalmur                       | 73 |
| 15.1.1   | Referensfall (vardagsrum)                           | 74 |
| 15.1.2   | Bastu   | 75 |
| 15.1.3   | Robusthetsanalys Bastu                              | 77 |
| 15.1.3.1 | Luftläckage genom plastfolien                       | 78 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 15.1.3.2 | Byggfukt i betongen                         | 79  |
| 15.1.3.3 | Luftomsättning i luftspalten                | 79  |
| 15.1.3.4 | Absorption av nederbörd i tegelskalmuren    | 79  |
| 15.1.3.5 | Skivfasad eller tegelskalmur                | 80  |
| 15.1.4   | Dusch                                       | 80  |
| 15.1.5   | Robusthetsanalys Dusch                      | 81  |
| 15.1.5.1 | Luftomsättning i luftspalten                | 82  |
| 15.1.5.2 | Byggfukt i betongen                         | 82  |
| 15.1.5.3 | Absorption av nederbörd i tegelskalmuren    | 83  |
| 15.1.5.4 | Skivfasad eller tegelfasad                  | 83  |
| 15.2     | Regelstomme med tegelskalmur                | 84  |
| 15.2.1   | Referensfall (vardagsrum)                   | 84  |
| 15.2.2   | Bastu                                       | 86  |
| 15.2.3   | Robusthetsanalys - Bastu                    | 91  |
| 15.2.3.1 | Luftläckage genom plastfolien               | 92  |
| 15.2.3.2 | Luftomsättning i utvändiga luftspalten      | 92  |
| 15.2.3.3 | Utan omsättning i den invändiga luftspalten | 93  |
| 15.2.3.4 | Absorption av nederbörd i tegelskalmuren    | 93  |
| 15.2.3.5 | Skivfasad eller tegelskalmur                | 93  |
| 15.2.3.6 | Nedbruten plastfolie                        | 94  |
| 15.2.3.7 | Plastfolie placering                        | 94  |
| 15.2.4   | Balansproblem i WUFI för bastuväggen        | 95  |
| 15.2.5   | Dusch                                       | 95  |
| 15.2.6   | Robusthetanalys – Dusch                     | 97  |
| 15.2.6.1 | Absorption av nederbörd i tegelskalmuren    | 98  |
| 15.2.6.2 | Luftomsättning i luftspalten                | 98  |
| 15.2.6.3 | Skivfasad eller tegelskalmur                | 99  |
| 15.3     | Betongstomme med puts på isolering          | 100 |
| 15.3.1   | Referensfall (vardagsrum)                   | 100 |
| 15.3.2   | Bastu                                       | 103 |
| 15.3.3   | Robusthetsanalys Bastu                      | 105 |
| 15.3.3.1 | Luftläckage genom betongen                  | 105 |
| 15.3.4   | Dusch                                       | 106 |
| 16       | Diskussion .....                            | 107 |
| 16.1     | Svårigheter att räkna på fukt               | 107 |
| 16.2     | Utomhusklimat och orientering               | 108 |
| 16.3     | Monitorplacering                            | 109 |
| 16.4     | Luftläckage                                 | 109 |
| 16.5     | Referensfall                                | 110 |
| 16.6     | Bastu                                       | 111 |
| 16.7     | Dusch                                       | 112 |
| 16.8     | Skadekarteringen                            | 114 |
| 17       | Slutsatser .....                            | 115 |
| 18       | Förslag på fortsatta studier .....          | 117 |
| 19       | Källförteckning.....                        | 119 |
| 19.1     | Litteraturlförteckning                      | 119 |
| 19.2     | Bildförteckning                             | 123 |
| 19.3     | Formelförteckning                           | 124 |

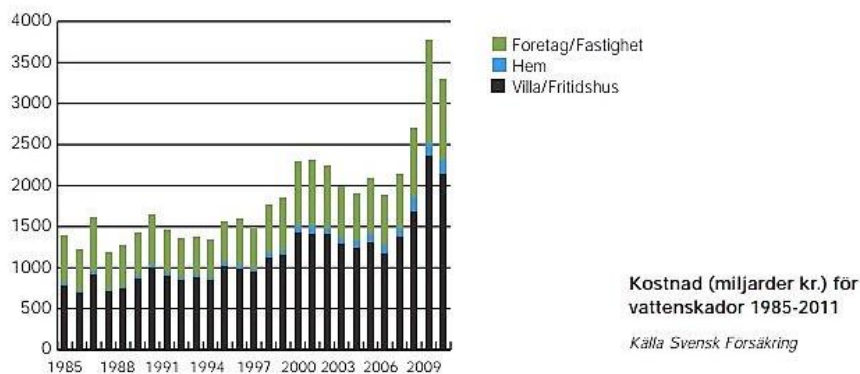
|  |     |
|--|-----|
| Bilaga 1 - Intervjufrågor .....            | 125 |
| Bilaga 2 – Skiss loggerplacering .....     | 126 |
| Bilaga 3 – Duschvägg extra ritningar ..... | 127 |

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

En stor del av alla byggnadsskador i Sverige är fuktrelaterade. Fuktskador på byggnader är väl utbredda och en ökande trend har uppmärksamats under de senaste åren. Många av skadorna kan spåras tillbaka till projekteringsfasen och anses medföra flera miljarder kronor i reparationskostnader varje år (Sandin, 2010).

Svensk Försäkrings statistik över kostnader för vattenskador avseende belopp som försäkringsbolagen betalat ut åren 1985-2011 visar på enorma årliga kostnader (Vattenskadecentrum 1, 2012).



**Bild 1.** Svensk Försäkringsstatistik: kostnader för vattenskador 1985-2011 (Svensk Försäkringsstatistik, 2013).

Vatten- och fuktskador är inte bara dyra utan kan även medföra försämrade arbetsmiljö, boendemiljö och ökad energiförbrukning. Med grund i denna statistik är det angeläget att undersöka uppkomsten av fuktrelaterade skador och att uppmärksamma och vara noggrann i tidiga skeden i byggprocessen (SP, 2012).

Många av Sveriges ca 500 badhus och simhallar är i stort behov av renovering (Dahlén, 2010). Livslängden på anläggningarna beräknas till maximalt 50 år, men bristande underhåll, problem med byggtekniska lösningar och den extrema driftmiljön har lett till att anläggningarna får problem och åldras snabbare (Dagens Nyheter, 2012).

Renoveringsmöjligheterna är ofta begränsade och i vissa fall måste anläggningarna rivas redan efter halva beräknade livslängden på grund av svåra fuktrelaterade skador. Det är därför viktigt att dra lärdom av misstagen för att i framtiden kunna bygga hållbara bad- och simanläggningar (Sveriges Radio, 2011).

I Sydsvenskan kan följande läsas i en artikel från 14-02-16 ”Simhallarna förfaller. Men byggboomen är på väg. Går alla planer i lås får Skåne snart tolv nya badhus.” Enligt artikeln tycker kommunerna i Skåne att det är viktigt att ha ett badhus, trots att det ofta inte är ekonomiskt försvarbart.



Problematik kring byggnation av badhus och simanläggningar är idag välkänt, men liknande offentliga miljöer kan även hittas i spa-avdelningar och rum med rehabbassänger som byggs i många hotell och äldreboenden. Branschreglerna som finns idag behandlar badrum i bostäder men för storskaliga offentliga miljöer som är utsatta för extra fuktbelastningar och påfrestningar finns däremot få regler och riktlinjer.

Boverkets Byggregler anger minimikrav på hur byggnation av våtutrymmen i bostäder ska ske för att undvika fuktskada. BBR innehåller funktionskrav, men inga förslag på tekniska lösningar. I kapitel 6:533: *Utrymmen med krav på vattentäta eller vattenavvisande skikt* och kapitel 6:53: *Fuktsäkerhet* i BBR 19 anges följande övergripande funktionskrav:

”Byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt. Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna.”

”Golv och väggar som kommer att utsättas för vattenspolning, vattenspill eller utläckande vatten ska ha ett vattentätt skikt som hindrar fukt att komma i kontakt med byggnadsdelar och utrymmen som inte tål fukt.”

Ytterväggskonstruktionen är en problematisk del av klimatskärmen som får utstå fuktpåverkan från utomhusklimat och inomhusklimat. Dessutom måste ytterväggen tillåta att fukt, i form av byggfukt eller läckage inuti konstruktionen, kan torka ut. För ytterväggar som angränsar till offentliga våtrum måste högre krav ställas än vad som vanligtvis ställs på en ytterväggskonstruktion (Nevander och Elmarsson, 2006).

I examensarbetet undersöks tre olika typer av ytterväggslösningar från Skanska med olika driftklimat: vardagsrum, bastu och dusch. Bastu- och duschklimaten ska motsvara ett offentligt våtrums mest extrema klimat, temperaturmässigt i bastun och fuktmässigt i duschen. I byggbranschen förs diskussioner om hur en yttervägg bör utformas i anslutning till just dessa driftsmiljöer. Gällande bastu diskuteras främst nyttan av invändig plastfolie, luftspalt och isolering. Diskussionen kring duschväggar behandlar främst tätskiktets utformning.

Trots diskussioner är det få omfattande undersökningar som faktiskt har gjorts på ytterväggar i offentliga våtrum. Undersökningar på konstruktioner i duschmiljö är väldokumenterat och det finns vedertagna branschregler för våtrum. Branschreglerna innehåller riktlinjer för fackmässighet inom våtrumsområdet (Byggkeramikrådet 2, 2014). När det gäller konstruktioner i bastumiljö är det däremot ont om studier. Med hjälp av fuktberäkningsprogrammet WUFI finns möjligheten att i teorin undersöka ytterväggskonstruktionerna i anslutning till både bastu- och duschmiljö.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att kartlägga och analysera ytterväggskonstruktioner i anslutning till offentlig våtrumsmiljö utifrån fuktsynpunkt. Med grund i analyser av simuleringar i fuktberäkningsprogrammet WUFI ges rekommendationer om hur ytterväggskonstruktioner ska utformas mot dusch- och bastuklimat.

## 1.3 Frågeställningar

De huvudsakliga frågeställningarna i examensarbetet lyder:

- Hur ska en ytterväggskonstruktion utformas i anslutning till bastuklimat för att fungera ur fuktsynpunkt?
- Hur ska en ytterväggskonstruktion utformas i anslutning till duschklimat för att fungera ur fuktsynpunkt?

## 1.4 Målgrupp

Examensarbetet riktar sig till aktörer som utformar, bygger eller utvecklar teknik kring offentliga våtrum. Arbetet riktar sig även till studenter på högskoleingenjörsk- och civilingenjörsutbildningar inom bygg och anläggning eller motsvarande.

## 1.5 Avgränsningar

Examensarbetet undersöker endast de aktuella ytterväggarna teoretiskt med hjälp av fuktberäkningsprogrammet WUFI Pro 5.3 1D. Programmet beräknar fukt- och värmeförhållanden i konstruktionerna i en dimension vilket innebär att modellerna är en grov förenkling av verkligheten. Två- och tredimensionella faktorer som påverkar ytterväggarna finns således inte med i beräkningarna.

Resultaten baseras endast på utdata från de monitorer som placeras i byggnadsdelen, vilket innebär att övriga delar i konstruktionen inte har utvärderats. Undersökningarna antas ske någonstans mitt på respektive yttervägg i ett obrutet snitt, vilket innebär att hörn och anslutningar inte undersöks. Vidare avgränsningar som har gjorts vid val av inställningar i programmet WUFI redovisas under ”Begränsningar i WUFI”, kapitel 9.9.

Utdata från WUFI analyseras i M-modellen som är en mögelanalysmodell framtagen av Skanska. Modellen tar endast hänsyn till utdata innehållande variationerna i relativ fuktighet, temperatur och tid för beräknad konstruktion. I M-modellen kan tidsintervall på mögeltillväxten utläsas men i presenterade resultat redovisas endast det högsta erhållna riskvärdet.

Beräkningarna utgår från klimatdata för nio år och begränsas till två orter, Lund och Luleå. Valet av orter har gjorts för att kunna jämföra två distinkt olika svenska klimat. Eventuella förändringar i framtida klimat är en aspekt som inte kommer att tas upp i examensarbetet.

Till bastu- och duschklimat används uppmätt data från loggermätningar i badhuset Aq-va-kul i Malmö. Loggermätningarna utfördes i bastu och dusch i damernas omklädningsrum på Aq-va-kul (mars, 2014) och innehåller relativ fuktighet och temperatur. Dessa driftmiljöer kan ha extremt stor variation och därmed även resultaten, det är därför viktigt att kontrollera inomhusklimatet såväl som andra ingångsparametrar innan paralleller dras till liknande anläggningar.

Rekommendationer på ytterväggarnas utförande görs med grund i valda förutsättningar och antaganden som presenteras i detta arbete. Skulle någon förutsättning eller ingångsparameter ändras kan det innebära att resultaten inte är jämförbara.

Energiförluster och köldbryggor är mycket intressanta aspekter, men kommer inte att behandlas mer än ytligt i examensarbetet. Brandrisk, försämring av U-värde och ekonomiska aspekter kommer inte att behandlas.

## 1.6 Metod

Arbetets inleds med en litteraturstudie som ligger till grund för att utföra analyser och föra diskussioner kring resultaten i arbetet. Litteraturen behandlar fuktteori, fuktproblematik i offentliga våtrum, installationsteknik samt regler och lagar som gäller vid byggnation av storskaliga våtrum.

En mindre skadekartering genomförs för att fastställa hur och var skador ofta uppkommer i offentliga våtrum och vilka lösningar som har använts för att komma till rätta med problemen. Skadekarteringen består av tre intervjuer, en telefonintervju och två muntliga intervjuer, med erfarna skadeutredare inom området.

Funktionskraven definieras för offentligt våtrum och driftmiljöerna dusch och bastu som används till simuleringar i fuktberäkningsprogrammet WUFI Pro 5.3 1D. För att få ett tillförlitligt inomhusklimat till simuleringarna genomfördes mätningar på temperatur och relativ fuktighet i två offentliga våtrumsmiljöer. Den första mätningen genomfördes i februari för att verifiera att loggrarna var kalibrerade, den andra mätningen genomfördes i mars och gav inomhusklimatet i dusch och bastu som används i beräkningsprogrammet WUFI. För att se hur stor påverkan inomhusklimatet har på konstruktionen simuleras även ett vanligt inomhusklimat motsvarande ett vardagsrum som referensfall.

Vidare definieras de tre principiellt olika ytterväggskonstruktioner som ska undersökas i arbetet. Ytterväggskonstruktionerna är olika varianter på Skanskas standardytterväggar:

- Betongstomme med tegelskalmur (eller skivfasadsystem)
- Regelstomme med tegelskalmur (eller skivfasadsystem)
- Betongstomme med puts på isolering

I driftmiljöerna dusch och bastu undersöks de tre ytterväggskonstruktionerna i två olika orter, Lund och Luleå. Klimatdata från de två orterna är från åren 1990-1998 och fås från Petter Wallentén, Lunds Tekniska Högskola. Alla nio åren kommer att användas i simuleringarna i så stor utsträckning som möjligt, för att få med inverkan av naturliga

variationer i klimatet. Om simuleringarna kräver en kortare tidsperiod används de första åren i aktuell klimatdata.

Simuleringarna i WUFI genomförs och utdata i form av temperatur och relativ fuktighet analyseras sedan i analysverktyget M-modellen, framtagen och utvecklad av Skanska. Resultaten visar hur stor risken är för mögelpåväxt i materialet där utdata tagits från. M-modellen är framtagen för att analysera risk för mögelpåväxt på trämaterial, vilket inte normalt finns i ovanstående ytterväggskonstruktioner. För att få en gedigen referens och en tydlig bild av ytterväggarnas kondition används ändå M-modellens riskvärden som utgångspunkt för resultaten.

I övergången mellan WUFI och M-modellen krävs i vissa fall ett egenkomponerat Matlabprogram som medelvärdesbildar utdata från WUFI, i de fall då utdatan inte är timvärden.

Resultaten redovisas i tabeller med respektive riskvärde för alla kombinationer i ytterväggen. Utifrån resultaten presenteras den uppbyggnad på bastu- och duschvägg som är bäst utifrån fuktsynpunkt och utifrån antaganden och förutsättningar gjorda i denna rapport. Vidare analyseras den valda konstruktionsuppbyggnaden i en robusthetsanalys som bland annat innefattar följande parametrar:

- Inverkan av eventuellt läckage i ytterväggen
- Inverkan av byggfukt
- Inverkan av luftomsättningen i eventuell luftspalt
- Inverkan av olika orienteringar
- Inverkan av uteklimatet

För analys av läckagets påverkan i ytterväggen beräknas ett fuktflöde som används i programmet som en fuktkälla. Beräkningen utförs i Excel och består av totala tryckdifferenser över ytterväggen, luftflödesberäkning och fuktflödesberäkning. För att få fram partialtrycket i dessa beräkningar används ovan nämnda klimatdata för Lund och Luleå. Övriga parametrar tas fram genom itererande beräkningar i WUFI.

Med grund i resultat och robusthetsanalyser från WUFI, analyserade i M-modellen, ges rekommendationer på respektive ytterväggs utförande för driftmiljöerna bastu och dusch. Rekommendationer görs med grund i valda förutsättningar och antaganden som presenteras i detta examensarbete.

Totalt har över 1000 WUFI-simuleringar genomförts, varav 246 av dem redovisas i detta examensarbete. Beräkningstiden för respektive simulering har varierat mellan ca 0,5-15 timmar med ett medelvärde på ungefär 1,5 timmar.



## 2 Fukt

### 2.1 Fukt i luft

Luftens ånghalt anger hur mycket vattenånga luften innehåller vid en given temperatur och relativ fuktighet. Vid en given temperatur kan luften maximalt innehålla en viss mängd vattenånga, detta är *mättnadsånghalten* ett mått på. Mättnadsånghalten varierar med temperaturen, då luft med högre temperatur kan innehålla mer vattenånga än luft med lägre temperatur, se Bild 2. Om mättnadsånghalten och den verkliga ånghalten i luften är lika har *daggpunkten* nåtts, detta är gränsvärdet vid vilket kondens kommer att ske om temperaturen sänks eller om luften rör vid ett kallare medium (Sandin, 2010).

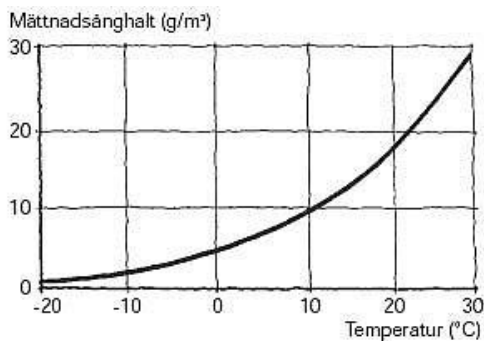


Bild 2. Diagram för mättnadsånghalten i luft (Nevander och Elmarsson, 2006).

Fukten i utomhusluften i Sverige varierar över året. Den relativa fuktigheten är högst på vintern och lägst på sommaren medan ånghalten är högst på sommaren och lägst på vintern, se Bild 3.

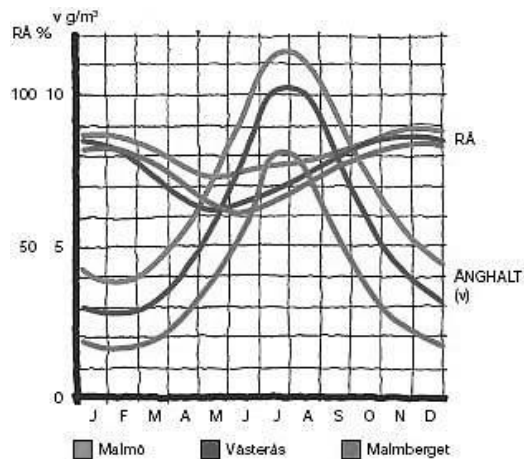


Bild 3. Variation i ånghalt och relativ fuktighet under året (Nevander och Elmarsson, 2006).

Inomhusluftens fukttinnehåll beror på ånghalten utomhus, ventilationen inomhus, fuktproduktion inomhus och temperaturen. I inomhusluften är den relativa fuktigheten högre på sommaren och lägre på vintern (Sandin, 2010).

## 2.2 Fukt i material

Alla material strävar efter att komma i fuktjämvikt med omgivande klimat. Den fukt som ett material avger för att komma i jämvikt med omgivningen efter byggnation kallas *byggfukt* (Sandin, 2010). Många material innehåller stora mängder fukt från tillverkningen och de allra flesta innehåller fukt när de byggs in (Abel och Elmroth, 2008). Nedan presenteras en tabell med riktvärden för byggfukthalt för några byggnadsmaterial i normala inomhuskonstruktioner.

**Tabell 2.** Riktvärden för byggfukthalt för några material i normala inomhuskonstruktioner (Sandin, 2010).

| Material       | Byggfukthalt [kg/m <sup>3</sup> ] |
|----------------|-----------------------------------|
| Betong         | 0-100                             |
| Lättbetong     | 100-200                           |
| Kalkbruk       | 300                               |
| Kalkcementbruk | 250                               |
| Tegel          | 0                                 |
| Tegelmurverk   | 70-80                             |
| Trä            | 40                                |

Ett materials fuktillstånd beror med andra ord mycket på klimatet runt om materialet. Om den relativa fuktigheten ökar i materialets omgivning kommer det att innebära en uppfuktning av materialet om materialet dessförinnan var i jämvikt med omgivningen.

## 2.3 Fukttransport

En förutsättning för att fukttransport ska ske är att det sker en skillnad i potential. Potentialen kan vara exempelvis temperatur, ånghalt eller fukthalt. Fukttransporten kan ske antingen i ångfas genom diffusion, konvektion, termodiffusion och effusion eller i vätskeform genom en drivkraft som tyngdkraft, vattenöverttryck, vindtryck eller kapillära krafter.

- Fuktdiffusion

Gaser strävar efter att jämna ut koncentrationsskillnader och så småningom bli jämt fördelade. Med skillnad i ånghalt som potential sker fukttransport genom diffusion således från högre ånghalt till lägre.

- Fuktkonvektion

Ett luftflöde uppstår då det finns en skillnad i lufttryck exempelvis genom inverkan av temperaturskillnader, vind eller ventilationssystemet. Med skillnad i totaltryck som potential sker fukttransport genom konvektion således genom luftströmmar (Sandin, 2010).

- Kapillaritet

En förutsättning för att kapillärtransport ska kunna ske är att det finns ett porsystem med sammanhängande vatten. Kapillärkondensation kan ske i alla porösa material antingen genom att fukt tas upp från och avges till omgivande luft, eller genom att vattenupptagningen sker från fritt vatten. Kapillär fukttransport i material med stora porer sker snabbt men den kapillära stighöjden är relativt liten, i material med små porer sker

fukttransporten långsamt men den kapillära stighöjden kan vara stor (Nevander och Elmarsson, 2006)

## 2.4 Effekter av fukt

En fuktig konstruktion kan angripas av mögel och röta. Ett sådant angrepp kan ha stora konsekvenser för en byggnadskonstruktion och människor som vistas i byggnaden. Boverkets Byggregler anger funktionskrav för utformning av byggnader enligt BBR 19 kapitel 6:95 Fukt:

”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa”.

### 2.4.1 Mögel

Bakterier, svampar och andra mikroorganismer bryter ner organiskt material i naturen. Det finns två olika huvudgrupper av svampar, missfärgande och nedbrytande. Till gruppen nedbrytande svampar hör hussvamp och andra rötsvampar och till gruppen missfärgande svampar hör mögel och blånadssvamp.

Mögel används som ett samlingsnamn på olika snabbväxande svampar med mikroskopiskt små fruktkroppar. Fruktkropparna bildar miljontals sporer som sprids och börjar gro om miljön är gynnsam. Mögelsporer finns i luften och tar sig in i våra byggnader bland annat genom ventilation och luftläckage.

Sporeerna bildar små rörformade trådar som kallas hyfer. När hyferna växer och förgrenar sig bildas ett mycel. Mycelet är som svampens rotsystem som tar upp näring och gör att svampen kan växa. När mycelet mognar bildas nya fruktkroppar som i sin tur producerar och sprider nya sporer till omgivningen. Mycelet är känsligt för torra medan sporeerna kan ligga i dvala under långa perioder utan vätsketillförsel (Ewing och Wannberg, 2003).

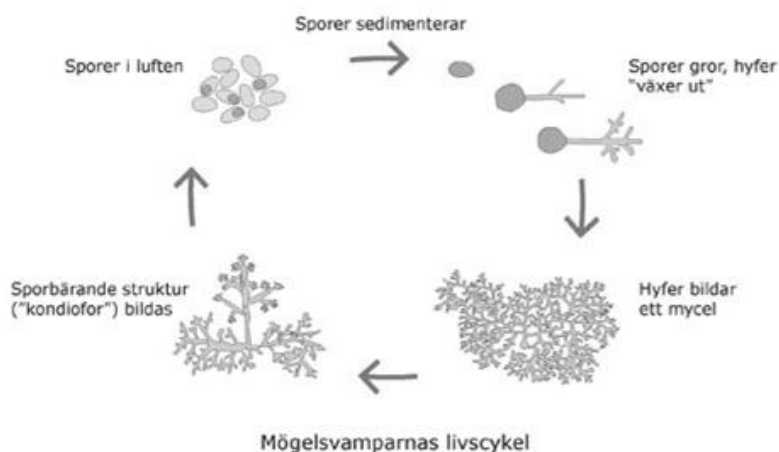


Bild 4. Livscykel för mycel (Träguiden, 2014).



Att undvika att mögelsporer tar sig in i byggnaderna är svårt, åtgärder behöver istället sättas in för att undvika att de trivs och växer. Följande livsbetingelser påverkar och har betydelse för möglets tillväxt.

- Fukt

Mögelsporerna kräver en viss relativ fuktighet för att kunna gro. Den kritiska relativa fuktigheten för mögel är 70-75 %.

Trämateriel med fuktkvot som understiger 16 % har en liten risk för mögeltillväxt. En fuktkvot mellan 16-28 % innebär att mögel kan växa. Skulle fuktkvoten överstiga 28 % sker mögeltillväxten snabbt (Sjuka hus, 2012).

- Näring

Mögel bryter kemiskt ner organiskt material i naturen. Olika organiska material angrips av olika mögelsporer. Mögeltillväxten är större om byggnadsmaterialet är nedsmutsat till exempel av damm eller jord. Näring är en livsbetingelse, men endast små mängder krävs för att sporer ska gro (Ewing och Wannberg, 2003).

- Temperatur

Den mest gynnsamma temperaturen för mögeltillväxt är mellan 20-25°C. Mögel kan även växa i temperaturintervallet 0-40 °C, men då sker tillväxten långsamt. Skulle temperaturen överstiga 50-60°C så stoppas tillväxten och mängden mögel minskar (LFS1, 2014).

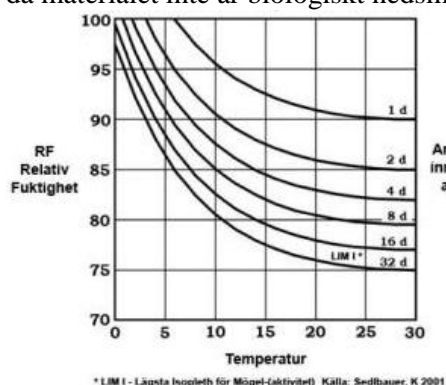
- pH-värde

Mögel kan växa i pH-värde mellan 2-10. De flesta mögelsorter trivs bäst i en svagt sur miljö med pH-värde mellan 5-6.

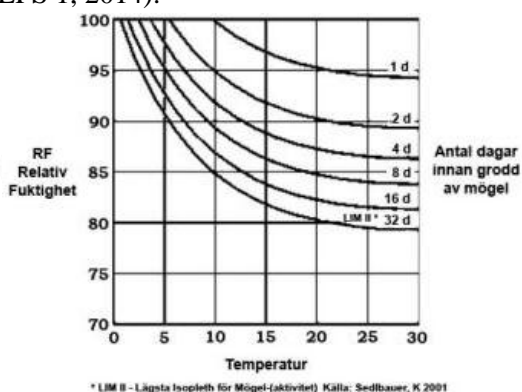
- Tid

Tiden som ovan nämnda betingelser är uppfyllda är avgörande för om tillväxt kommer ske eller inte på materialet (Ewing och Wannberg, 2003).

Bild 5 och 6 visar hur lång tid det tar, vid olika livsbetingelser, för att mögel ska börja gro då materialet inte är biologiskt nedsmutsat (LFS 1, 2014).



**Bild 5.** Isopleth som visar hur många dagar det tar innan möglet groer på tapet eller annat organiskt material (LFS, 2014).



**Bild 6.** Isopleth som visar hur många dagar det tar innan möglet groer på trämaterial och Isolering (LFS, 2014).

Ett mögelangrepp på en byggnadsdel kan få konsekvenser för människors hälsa. Risken för astma och allergiska besvär hos barn har ett tydligt samband med mögellukt i byggnader. Mögellukt är en indikation på att det finns en fukt- eller mögelskada i konstruktionen (Hägerhed, 2006). Det forskas idag även på om mögel är cancerframkallande vid inandning på samma sätt som det är vid intag av mat som är angripen av mögel (LFS 1, 2014).

Även inomhusklimatet har stor påverkan på människors hälsa. En mögelangripen byggnad kan få dåligt inomhusklimat och påverka människor som vistas i byggnaden. Ibland används benämningen ”sjukt hus”. Vanliga sjuka-hus-symptom kan vara överkänslighet, allergi och astma. Även trötthet, huvudvärk och hosta kan ge en indikation om att byggnaden inte är frisk, exempelvis på grund av en mögelskada (Aquademica, 2014).

För att komma till rätta med problemen i en konstruktion som drabbats av mögelangrepp måste orsaken till att mögelsporer börjat växa lokaliseras. Olika typer av fuktskador kan ligga till grund för mögeltillväxten, och dessa behöver åtgärdas innan sanering påbörjas (Ewing och Wannberg, 2003).

#### **2.4.2 Röta**

Rötsvamp är en nedbrytande svamp som finns i uppåt 200 olika arter. Livsbetingelserna för rötsvampen påminner om livsbetingelserna för mögel. Tillgång till fukt, näring och gynnsam temperatur är avgörande för rötsvampens tillväxt. De flesta rötsvampar kräver tillgång till mer fukt än vad mögel gör för att växa, den relativa fuktigheten ska helst överstiga 85 % eller en fuktkvot i trä på 30-80 %. Ett undantag är hussvampen som med sitt stora mycel kan transportera vatten långa sträckor och därför endast behöver tillgång till fukt vid etablering.

Temperaturer mellan 15-30°C är mest gynnsamma för rötsvampen. Rötsvampen gynnas av samma pH-värde som mögelsvampen. Äkta hussvamp kräver dessutom en kalkkälla för att neutralisera syran som bildas när svampen bryter ned cellulosa, således angriper svampen inte friskt virke då det är för surt.

Ett rötangrepp kan vara svårt att upptäcka om inte materialet har andra angrepp samtidigt, till exempel av mögelsvampar. Det finns dock varningssignaler för att upptäcka rötsvampangrepp i en byggnad eller byggnadsdel, flagande färg, obehaglig lukt och förekomst av insekter och spindlar kan vara indikationer (Ewing och Wannberg, 2003). Långt gången röta i en byggnad och i dess bärande system leder till nedsatt bärförmåga och kan få ödesdigra konsekvenser (LFS 2, 2014).



## 3 Tätning av klimatskärmen

Enligt BBR 19, kapitel 9.21: *Klimatskärmens lufttäthet* gäller att ”byggnadens klimatskärm ska vara så tät att krav på byggnadens specifika energianvändning och installerad eleffekt för uppvärmning uppfylls”.

### 3.1 Lufttäthet

En byggnad bör utföras med god lufttäthet då tätheten har stor påverkan på byggnadens kondition. Dålig lufttätning kan få följande konsekvenser:

- Ökad energianvändning

Bristande lufttätning innebär att luft kan röra sig okontrollerat i klimatskalet. Luftläckaget ger en energiförlust vars storlek varierar beroende på ventilationssystem, byggnadens placering med avseende på väder och vind och otätheternas storlek och fördelning.

- Risk för fuktskador

Lufttransport på grund av otätheter i klimatskalet kan orsaka fuktskador då varm inomhusluft vandrar ut i konstruktionen. Den varma luften innehåller en viss mängd fukt som kan orsaka skador om den kritiska relativa fuktigheten överskrids. Tryckskillnaderna över byggnaden påverkar hur stor lufttransporten är, övertryck inomhus ger en lufttransport ut genom eventuella otätheter i klimatskalet.

- Försämrad boendekomfort

Otätheter i klimatskalet medför att uteluft kan strömma in i byggnaden och orsaka drag och göra att innerytor kyls ner. Drag och strålning från dessa ytor kan bli ett komfortproblem för de boende. Kalla ytor blir med tiden mörkare då smuts lättare fastnar på kalla ytor än på varma på grund av termodiffusion. Dessutom kan otätheter orsaka problem i driften genom att en termostat bredvid otätheten reagerar på fel temperatur.

- Spridning av föroreningar

Oönskade föroreningar i utomhusluften så som avgaser, dåliga lukter från industrier och pollen kan ta sig in i byggnaden genom otätheter i klimatskalet. I otätheter mellan mark och grund kan den cancerframkallande ädelgasen radon ta sig in i byggnaden.

- Försämring av ljudmiljö

Otätheter i lägenhetsavskiljande väggar ger en överföring av luftljud mellan lägenheterna (Adalberth, 1998).

### 3.2 Diffusionstäthet

En byggnad bör ha god diffusionstäthet för att förhindra att fukten i inomhusluften transporteras in i klimatskalet på grund av ånghaltsskillnaden mellan inomhus- och utomhusklimat. Diffusion genom klimatskalet kan förhindras med en diffusionsspärr, vanligtvis i form av en plastfolie i träregelkonstruktioner. I betongkonstruktioner kan själva betongen fungera som erforderlig diffusionsspärr (Adalberth, 1998).

### 3.3 Material för tätning

Det vanligaste materialet som används för att uppnå god lufttäthet i en regelstomme är polyetenfolie. Folien bör placeras på den varma sidan av klimatskalet, maximalt en fjärdedel av den totala isolerings tjockleken ut i konstruktionen (Nevander och Elmarsson, 2006). Enligt Skanskas riktvärden bör plastfolien placeras maximalt en tredjedel av det totala isoleringsvärdet ut i konstruktionen<sup>1</sup>. Alternativt kan väggen dimensioneras utifrån kravet att ånghalten vid ångspärren inte ska komma upp till kritisk mätnadsånghalt för den aktuella temperaturen, enligt sambandet i EKV 3.1 (se formelförteckning).

$$v < \varphi_{\text{krit}} \cdot v_s(T) \quad [3.1]$$

Plastfolien har en god lufttätande förmåga och ett högt ånggenomgångsmotstånd, vilket gör att den lämpar sig både som luftspärr och diffusionsspärr (Nevander och Elmarsson, 2006).

På marknaden idag finns olika plastfolier med olika ånggenomgångsmotstånd, allt från folier som har höga ånggenomgångsmotstånd oberoende av den omkringliggande luftens relativa fuktighet till folier med ett varierande ånggenomgångsmotstånd beroende på luftens relativa fuktighet, så kallad variabel ångbroms (Isover 1, 2009).

Lufttätheten i en bastumiljö är viktig för att undvika att den varma fuktiga luften tar sig in i väggen och kyls ned med risk för kondensbildning. I detta extrema klimat krävs extra tåliga material, exempelvis en bastufolie, som har högre åldersbeständighet och värmetålighet än en vanlig plastfolie (Icopal, 2014).

---

<sup>1</sup> Håkan Stenström, Skanska Teknik Malmö. 2014-05-21.

## 4 Ytterväggar

### 4.1 Funktionskrav

En av ytterväggskonstruktionens främsta funktion är att skydda byggnaden från klimatpåfrestningar. Därmed ska ytterväggen tåla nederbörd, vind, temperatur och strålning från uteklimatet samt påfrestningar som fukt och temperaturvariationer som inneklimatet ger upphov till. Ytterväggen skiljer inomhusklimat från utomhusklimat och måste därför även värmeisolera byggnaden för att minimera värmeförluster (Petersson, 2009).

De fuktbelastningar som en yttervägg normalt utsätts för är fuktig luft, direkt och indirekt nederbörd på utsidan samt varm fuktig luft på insidan. Läckage och byggfukt är enstaka fuktbelastningar som också måste beaktas. I bad- och simanläggningar finns dessutom fritt stående vatten och kontinuerlig vattenspolning på insidan av väggarna. I bastumiljöer handlar det om extremt höga temperaturer och tidvis hög relativ fuktighet i luften.

För att erhålla en lång teknisk livslängd i bad- och simanläggningar måste extra höga krav ställas på invändig fuksäkring än vad som normalt krävs för andra byggnader, detta på grund av den aggressiva inomhusmiljön. De mest kritiska punkterna för luftläckage i ytterväggen finns i anslutningsdetaljer, vid genomföringar och i ytterväggens övre del där risk för invändigt övertryck är som störst.

Generellt ska organiska material undvikas i den bärande konstruktionen där det finns risk för att materialet utsätts för hög fuktbelastning. Tunga, massiva ytterväggskonstruktioner i betong eller murverk används med fördel till bad- och simanläggningar (Bøhlerengen et al., 2004).

### 4.2 Fukt i ytterväggar

#### 4.2.1 Byggfukt

Byggfukt är den mängd fukt som måste avges från materialet för att det ska komma i jämvikt med omgivningen efter att det byggts in i en konstruktion. I begreppet byggfukt innefattas fukten som finns i materialet från början men även fukten som kan tillföras genom lagring, transport och byggnation (Fuktsäkra byggnader 1, 2014).

#### 4.2.2 Två täta skikt

Våtrumstyterväggar förses idag ofta med ytskikt av kakel. Bakom kakelplattorna appliceras ett tätskikt i form av en matta eller ett rollat skikt, för att skydda den bakomliggande konstruktionen. Lätta ytterväggskonstruktioner kan då i vissa fall få dubbla tätskikt genom att ytterväggen redan innehåller en diffusionsspärr i form av en plastfolie. Våtrumstätskiktet bakom kakelplattorna är ofta mer diffusionsöppet än plastfolien i väggen vilket bidrar till att fukt som diffunderar ut genom tätskiktet inte kan ta sig vidare genom plastfolien. Även byggfukten från ett rollat tätskikt och fästmassan för kakelplattorna kan tränga in bakom våtrumstätskiktet. Det finns dock studier som visar att fuktskador kan uppstå i ytterväggen även då plastfolien i ytterväggskonstruktionen tas bort. Fukten tar sig då genom tätskiktet och diffunderar ut till vindskyddet där det kan kondensera på grund av

temperaturskillnaden. Huruvida detta sker beror på utomhusklimatet och ånggenomgångsmotståndet hos tätskiktet och vindskyddet.

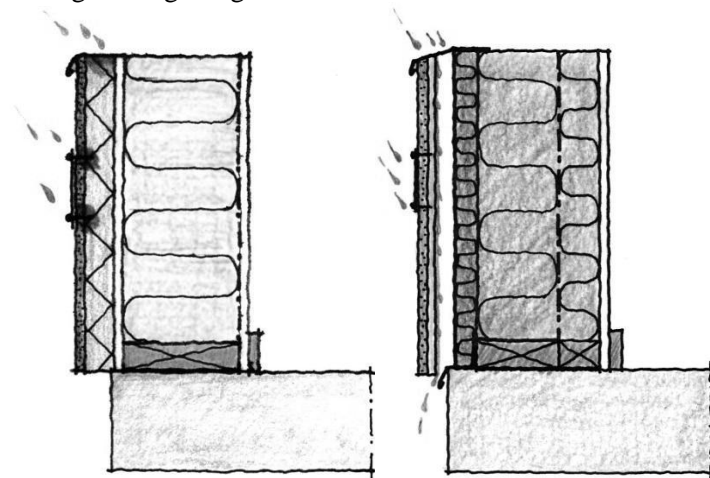
För att minska risken för fuktskador mellan våtrumstätskiktet och plastfolien bör våtrumstätskiktet utformas med ett sd-värde på minst 50 m. Då väggen byggs utan plastfolie räcker det med sd-värde 25 m, men väggen lufttäthet måste då tillgodoses på annat vis. Detta kan göras med en variabel ångbroms som placeras på den varma sidan av konstruktionen. Vindskyddet bör vara diffusionsöppet med ett sd-värde på mindre än 0,25 m (Jansson, 2006).

#### 4.2.3 Sommarkondens

Sommarkondens är ett fenomen som uppstår sommartid i fasadmateriell som har en stor vattenabsorption, exempelvis tegelskalmurar. Slagregn absorberas i tegelskalmuren och när solen sedan skiner på den blöta skalmuren värms vattnet i tegelskalmuren upp och mättnadsånghalten höjs. Detta leder till att fukten diffunderar inåt i väggen och kan bilda kondens då den når en eventuell ångspärr (Fuktsäkra byggnader 2, 2014).

### 4.3 Principer för tätning

För tätning i ytterväggar finns två principiellt olika utformningar, enstegstätning och tvåstegstätning enligt Bild 7 nedan.



**Bild 7.** Principskiss för enstegstätad respektive tvåstegstätad fasad (Jansson et. Al, 2007).

### 4.3.1 Enstegstätning

När regntätning och vindtätning ligger i samma skikt i konstruktionens ytterdel sägs väggen vara enstegstätad. Detta ställer stora krav på att skiktet fungerar som det ska eftersom det finns stor risk för fuktskada om vatten skulle tränga in i konstruktionen. På grund av tryckdifferensen över väggen kan även mycket små sprickor och otätheter leda till att fukt tränger in i konstruktionen. Höga krav måste därför ställas på klimatskalets lufttäthet. Enstegstätade ytterväggar är således känsliga för brister i detaljutförandet och bör inte användas i slagregnsutsatta områden där belastningen blir svår att hantera (Nevander och Elmarsson, 2006).

Ofta är enstegstätade fasader byggda med material som i viss utsträckning tål uppfuktning, t.ex. sandwichkonstruktioner av betong eller tegel. Uppfuktning i träregelkonstruktioner kan däremot innebära stora problem.

Metoden att bygga enstegstätade träregelväggar började användas i Sverige på 70-talet och blev vanlig i slutet på 90-talet med stora konsekvenser som följd då fuktskador upptäcktes i många hus med putsade, enstegstätade fasader (Jansson och Samuelson, 2009).

### 4.3.2 Tvåstegstätning

Tvåstegstätning innebär att regntätning och vindtätning skiljs åt med en tryckutjämnande spalt, normalt en luftspalt. Regnskydd i form av ett vattenavvisande skikt sitter ytterst i konstruktionen, därefter den tryckutjämnande spalten och ett bakomliggande vindskydd (Sandin, 2010). Vindtrycket tas alltså upp längre in i konstruktionen där det normalt inte finns fritt vatten. Tvåstegstätade fasader blir således en mer förlåtande konstruktionstyp än enstegstätning då det vatten som lyckas tränga sig in i konstruktionen kan ventileras eller dräneras bort i luftspalten (Jansson och Samuelson, 2009).

## 4.4 Indragen ångspärr

För att inte i onödan perforera ångspärren på insidan av ytterväggskonstruktionen kan den utrustas med ett installationsskikt. Ångspärren dras då in en bit i konstruktionen så att kabelläggningar, eluttag och håltagningar inte påverkar tätheten i väggen och så att besvärliga detaljtätningar kan undvikas. Dock ska ångspärren inte dras in mer än en fjärdedel av isoleringstjockleken (eller en tredjedel av isoleringsvärdet enligt Skanska<sup>2</sup>), då det annars kan bli risk för kondens (Nevander och Elmarsson, 2009).

---

<sup>2</sup> Håkan Stenström, Skanska Teknik Malmö. 2014-05-21.





## 5 Regler, krav och riktlinjer

### 5.1 Myndighetskrav och riktlinjer

Det finns olika krav och riktlinjer för byggnation av konstruktioner som befinner sig i våtrumsmiljöer. Myndighetskraven som ställs i BBR måste alltid följas och det finns även vedertagna branschregler. Riktlinjer finns i form av metoder för fuktsäkert byggande, ett exempel på detta är Bygga F.

#### 5.1.1 Boverkets Byggregler [BBR]

##### 5.1.1.1 Fukt

Boverkets Byggregler anger minimikrav på hur byggnation ska ske för att undvika fuktskador, det är således inte tillåtet att understiga kraven i BBR. Däremot är det tillåtet och uppmuntras att ställa högre krav, speciellt i utrymmen som utsätts för extrema driftförhållanden.

Gällande våtutrymmen i bostäder innehåller BBR funktionskrav, men inga förslag på tekniska lösningar anges. I kapitel 6:533: *Utrymmen med krav på vattentäta eller vattenavvisande skikt* och kapitel 6:53: *Fuktsäkerhet* i BBR 19 anges följande övergripande funktionskrav:

”Byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt. Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna.”

”Golv och väggar som kommer att utsättas för vattenspolning, vattenspill eller utläckande vatten ska ha ett vattentätt skikt som hindrar fukt att komma i kontakt med byggnadsdelar och utrymmen som inte tål fukt.”

Brist på tydliga regler för storskaliga offentliga våtutrymmen visar sig i form av omfattande skador med stora kostnader som följd. I vissa fall har brist på regler lett till tolkningen att BBRs krav och regler inte gäller i storskaliga utsatta miljöer, trots att det egentligen är ännu viktigare att funktionskraven uppnås i dessa miljöer<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Håkan Stenström, Skanska Teknik Malmö. 2014-05-21.

### 5.1.1.2 Lufttäthet

Att tätheten är extremt viktig för fuktkraven speglar sig i Boverkets funktionskrav på lufttäthet. I kapitel 6:531: *Lufttäthet* i BBR 19 ges följande allmänna råd:

”För att undvika skador på grund av fuktkonvektion bör byggnadens klimatskiljande delar ha så god lufttäthet som möjligt. I de flesta byggnader är risken för fuktkonvektion störst i byggnadens övre delar, dvs. där det kan råda invändigt övertryck. Särskild omsorg att åstadkomma lufttäthet bör iaktas vid hög fuktbelastningar som i badhus eller vid särskilt stora temperaturskillnader. Lufttätheten kan påverka fuktillståndet, den termiska komforten, ventilationen samt byggnadens värmeförluster.”

I offentliga våtrum innehållande duschrum och bastu är det således mycket viktigt att erhålla erforderlig lufttäthet.

## 5.1.2 FEBY 12

FEBY 12 är en kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus. Kravspecifikationen ges ut av Sveriges Centrum för Nollenergihus, en icke vinstgivande organisation som jobbar för hållbart byggande. Organisationen bildades 2010 och har sedan dess spridit kunskap om lågenergibyggande och utvecklat kriterier för passivhus i Sverige (SCN 1, 2013).

### 5.1.2.1 Lufttäthet

Lufttätheten är en viktig faktor vid byggnation av lågenergihus. I FEBY 12 presenteras följande krav på lufttäthet i passivhus: Luftläckage genom klimatskärmen får vara maximalt  $0,3 \text{ l/sm}^2$  omslutande area vid en tryckdifferens på 50 Pa. Kravet gäller så väl bostäder som lokaler. Eftersom BBR inte anger direkta krav på lufttäthet i en byggnad kan passivhuskravet i FEBY ge en fingervisning om vad god lufttäthet innebär (SCN 2, 2012).

## 5.1.3 Byggkeramikrådets Branschregler för Våtrum

Byggkeramikrådet, BKR, bildades 1989 av entreprenörer och leverantörer för att gemensamt kunna föra utvecklingen framåt gällande kunskap och teknik inom användandet av keramiska material (Byggkeramikrådet 1, 2014).

För keramiska material i våtrum finns Byggkeramikrådets Branschregler för våtrum, BBV. Branschreglerna innehåller riktlinjer för fackmässighet inom våtrumsområdet. Regelsystemet är frivilligt och gäller endast om det avtalats mellan beställare och entreprenör, men då fackmässighet på ett utfört arbete ska bedömas är det standard att utgå från BBV. Branschreglerna för våtrum ställer på många punkter högre krav på utförandet än Boverket och uppfyller alltid minst kraven som ställs i BBR (Byggkeramikrådet 2, 2014).

#### **5.1.4 ByggaF**

ByggaF är en vedertagen branschstandard som innehåller metodik för att bygga fuktsäkert. Metoden som beskrivs i ByggaF har som ändamål att säkerställa, kommunicera och dokumentera fuktsäkerheten i hela byggprocessen (Lunds Universitet 2, 2014). Huvudsyftet med ByggaF är att lyfta fram fuktfrågorna tidigt i projektprocessen så att tillräckligt med tid och resurser kan läggas på att fuktsäkerhet uppnås i projektet. Metoden anger bland annat att en fuktsäkerhetsprojektering bör göras i ett tidigt skede för att säkerställa att en byggnad inte får skador direkt eller indirekt av fukt. Erfarenheter från tidigare projekt kan underlätta arbetet om de är tillämpbara, annars ska beräkningar och undersökningar på konstruktionen genomföras och användas som underlag (Lunds universitet 3, 2013).

#### **5.1.5 Säker Vatten**

Branschreglerna Säker Vatteninstallation är ett kvalitetssystem som består av regler och förhållningssätt för VVS-installationer. Syftet med branschreglerna är att förhindra skador på egendom eller personer och är framtaget av VVS-företag tillsammans med försäkringsbolag, tillverkare och myndigheter. En Säker Vatteninstallation uppfyller alla krav i BBR, vilka omfattar nybyggnad och tillbyggnad. Dessutom gäller kvalitetssystemet för ombyggnad och ändringar, det vill säga Säker Vatten gäller för alla VVS-installationer.

Om en installation har utförts enligt Säker Vatten har krav ställts på installationen och VVS-företaget som utfört arbetet. Det övergripande kravet är att rätt produkter installeras på rätt sätt. Branschreglerna är anpassade efter BBV och arbetet bedöms som fackmannamässigt utfört (Säker Vatten, 2011).



## 6 Definition av driftmiljö

### 6.1 Bad-och simanläggningar

Idag finns det ca 500 offentliga bad- och simanläggningar i Sverige. Av dessa anläggningar är de allra flesta byggda på 60- och 70-talet. Detta innebär att många av dem redan passerat ”bäst-före-datum”, eller kommer att göra det inom de närmsta 10 åren (Dahlén, 2010).

#### 6.1.1 Fuktproblematik i badhus

I badhus råder extrema förhållanden på grund av höga fuktbelastningar. Vid utförandet utgör badhusen en tekniskt fuktproblematisk miljö som ställer extra hårda krav på klimatskärmen. Hög lufttemperatur, hög RF, hög vattentemperatur och höga takhöjder är några av orsakerna till extrema förhållanden.

- Hög lufttemperatur

I badhus är det önskvärt med höga lufttemperaturer för badgästernas komfort, detta innebär att det finns mycket fukt i inomhusluften. Den fuktiga luften kan kondensera om temperaturen sänks eller om den varma luften träffar en kallare yta. Generellt sägs att 1°C skillnad i temperatur ger 5 % skillnad i relativ fuktighet, alltså kan förutsättningarna för byggnaden ändras radikalt vid en minimal temperaturändring.

- Hög relativ fuktighet

Luftens relativa fuktighet bör inte vara för låg i ett badhus då det ökar avdunstningen från kroppen och generellt upplevs som negativt av badgästerna. För byggnaden är det däremot önskvärt med en lägre relativ fuktighet för att minska risken för kondensbildning och skador (Brander, 2004).

- Hög vattentemperatur

I badhus och simhallar hålls vanligen vattentemperaturen mellan 27-30°C för att hålla en god komfort för badgästerna. Avdunstning från det varma vattnet medför bland annat en förhöjd relativ fuktighet i luften (Nevander och Elmarsson, 2009).

- Hög takhöjd

I badhus är det ofta hög takhöjd på grund av hopptorn, äventyrsbad eller rutschbanor. Tryckbildningen i en byggnad med högt belastat inomhusklimat är en enormt viktig parameter. Varm luft stiger vilket gör att det skapas ett övertryck vid taknivå, med hög takhöjd som det ofta finns i badhus kan övertrycket högre upp i byggnaden bli mycket stort. Övertryck i byggnaden ställer höga krav på klimatskärmens täthet, speciellt om inomhusluften innehåller mycket fukt. För att styra tryckbildningen i byggnaden kan ventilationssystemet utformas för att undvika övertryck vid taket, detta ger automatiskt undertryck längst ned i byggnaden. Om det finns otätheter i byggnaden leder undertrycket till att badgästerna får det lite kallare om fötterna, det är då viktigt att tätat läckaget som ger upphov till draget istället för att justera ventilationssystemet eller höja temperaturen (Brander, 2004).

### 6.1.2 Kemiska angrepp i badhus

Badhusanläggningar använder idag klor som desinficeringsmedel. Klor är ett starkt oxidationsmedel som ska ta hand om bakterierna i badvattnet genom att klorret binder till bakterierna. Det bundna klorret orsakar en stickande klorlukt i simhallar och kan även ge upphov till hud och ögonirritation (Arena Skövde, 2014). Klor kan reagera tillsammans med andra ämnen som kol och kväve som finns i städkemikalier och kan då bilda föreningar som kan orsaka astma, illamående, hosta och rinnande ögon hos människor. Därav måste bakteriemängden hållas på tillräckligt låga nivåer så att användandet av klor kan minimeras (Vattenkvalité AB, 2011).

Klor påverkar även miljön genom att det i naturen kan bildas toxiska och svårnedbrytbara klororganiska ämnen som påverkar och skadar vattenlevande djur, det är därför viktigt att undvika utsläpp av badvatten i naturen (Borås stad, 2014).

Natriumklorid (salt) skapar genom elektrolys fritt klor till desinfektionsmedel. Mängden salt har med åren ökat, då användningen av anläggningarna har ökat. Idag är saltet en stor orsak till korrosionsproblemen i badhus. Salt har stor påverkan på byggnaden och den tekniska utrustningen i badanläggningen (Energi & Miljö, 2010).

pH-värdet påverkar badvattnets kvalitet och byggnadens kondition. Kalkutfällningar, grumlighet och sämre desinfektionseffekt uppkommer vid höga pH-värden ( $\text{pH} > 7$ ), medan korrosion och ögonirritation uppkommer vid låga pH-värden ( $\text{pH} < 7$ ) (Miljösamverkan Värmland, 2011).

## 6.2 Bastu

En bastuavdelning hör till varje offentlig bad- och simanläggning och bör placeras i direkt anslutning till duschrummen. En bastu kan se ut på många olika sätt, beroende på vilken typ av bastu det är. Nedan följer exempel på olika vanliga bastutyper och normalt intervall på temperatur och relativ fuktighet i drift enligt tillverkare:

- Våtbastu, eller ”vanlig bastu” [T 75-90°C, RF 5-15%]
- Torrbastu [T 95-120°C, RF 0-10%]
- Infraröd bastu [T 40-60°C, RF 15-25 %]\*
- Ångbastu [T 45-65°C, RF 40-65%]
- Ångbad [T 40-45 , RF 100 %]

(Tylö, 2014) (Bastubutiken, 2014)

\*RF hämtad från loggarmätning i IR-Bastu på Sinnesro Spa i Malmö, februari 2014.

Notera att värdena avser när bastun är i normal drift och utan vattentillförsel. Om temperaturen sänks i bastun kommer den relativa fuktigheten att öka. Den relativa fuktigheten ökar också vid flitig användning, om vatten tillförs bastun (våta handdukar och våta kroppar) samt om vatten tillförs bastuaggregatet. Det är alltså sannolikt betydligt högre relativ fuktighet vid användning än vad intervallen visar (Bøhlerengen et al, 2004).

Offentliga bastuanläggningar utsätts för stora påfrestningar på grund av höga temperaturer, höga fukthalter och stor användning, den omslutande konstruktionen ska därför vara moståndskraftig mot det extrema klimatet (Wikenståhl, 2000).

Den vanligaste typen av bastu är en så kallad våtbastu där användaren själv kan tillföra vatten till aggregatet för att höja den relativa fuktigheten i lokalen. En temperatur runt 90°C och relativ fuktighet runt 35-40 % är optimalt. Låg relativ fuktighet är en förutsättning för att användaren inte ska känna obehag i så höga temperaturer som 90°C. En person avger ca 1-2 kg vatten per timme under en bastuvistelse i form av svett, vilket innebär en markant ökning av relativ fuktighet som måste hållas under kontroll med hjälp av ventilation. Ett riktvärde är ca 10 oms/h och person (Bøhlerengen et al, 2004).

I en bastumiljö används framför allt naturlig ventilation men i offentliga anläggningar kan mekanisk ventilation behöva användas för att få tillräcklig luftomsättning. Luftintaget bör då placeras nära aggregatet och golvet för att uppnå en snabb uppvärmning av tillförd luft (Bøhlerengen et al, 2004).

### 6.3 Dusch

Ca 32 % av alla fuktskador i bostäder inträffar i bad- och duschutrymmen. Historiskt har denna andel varit större, men en nedåtgående trend har uppmärksammats de senaste åren. Skadorna beror bland annat på ledningssystems-, utrustnings- och täthetsskador. Vattenskador orsakade av ett läckage genom tätskiktet uppgår i dagsläget till ca 18 % av det totala antalet skador, en betydligt lägre siffra än tidigare undersökningar har visat (Vattenskadecentrum 2, 2013).

Förr användes badkar i större utsträckning istället för dusch, vilket är skonsammare för våtutrymmen. Nu för tiden är det vanligast med dusch och vi duschar oftare, under längre tider och med varmare vatten. Detta leder till att stora krav måste ställas på utförandet och brukandet av duschutrymmen.

Fuktbelastningen i ett offentligt duschrum varierar starkt beroende på bruksfrekvensen, normalt ligger temperaturen runt 25°C och den relativa fuktigheten mellan 40-100 %. Därmed måste helt vattentäta skikt användas på väggar och golv för att förhindra att fukt tar sig in i den omgivande konstruktionen. Som vattentätt skikt i våtutrymme används oftast plastmatta eller tätskikt bakom kakel eller klinker. Vid användning av plastmatta är tätskiktets eventuella brister eller skador synliga medan det är svårare att göra en bedömning av tätskiktets funktion bakom ett yttskikt som kakel eller klinker (Anticimex, 2014).

Gällande våtrumsvägg med kakelbeklädning så kommer vatten snabbt att tränga sig igenom fogmassan in till fästmassan genom kapillärsugning. Vattnet som har tagit sig in till fästmassan tar mycket lång tid att torka ut, även om duschen inte används, på grund av att uttorkningen sker via en långsam diffusionsprocess mellan kakelplattorna. Därmed bör det förutsättas att fritt vatten alltid finns i fästmassan bakom kaklet mot tätskiktet om duschen används normalt (Jansson, 2006).



Duschväggar som angränsar mot torra rum eller uteklimat bör utformas av tunga material som exempelvis betong eller murverk. Ytterväggarna och även eventuella skiljeväggar bör utformas i material som är vattentäta och fuktbeständiga (Bøhlerengen et al, 2004).

Mekanisk ventilation med fläktar är att föredra i våtrum med stora fuktbelastningar. Forceringsdon med tidsstyrning eller som styrs av fukthalten i rummet kan vara ett sätt att öka ventilationen under vissa tidpunkter med stora fuktbelastningar (Orestål, 2007).

## 7 Definition av ytterväggskonstruktioner

Skanska Sverige har från och med 2003 arbetat med standardiserade bygghälsor för att minska riskexponering och felkostnader i nybyggnation. I standardiseringen ingår ytterväggar med olika bärande system och funktion. Det finns ytterväggskonstruktioner för småhus såväl som för stora byggnaders bärande väggar och utfackningsväggar. Det bärande systemet kan antingen vara trä, stål eller betong.

I simuleringarna används tre principiellt olika standardiserade ytterväggar. I regelstommen kan antingen träreglar eller stålreglar användas.

- Betongstomme med tegelskalmur (eller skivfasadsystem)
- Regelstomme med tegelskalmur (eller skivfasadsystem)
- Betongstomme med puts på isolering

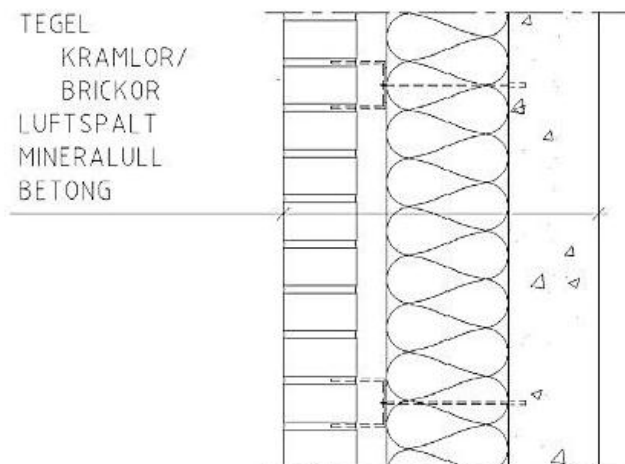
Väggarna som undersöks i de valda driftsmiljöerna, bastu och dusch, väljs då de representerar de flesta av de standardiserade ytterväggarna (Skanska, 2009).

Underlag och information om standardytterväggarna kommer från Skanskas interndokument ”Tänk efter före” för respektive yttervägg.

### 7.1 Betongstomme med tegelskalmur

Ytterväggen är uppbyggd av en betongstomme med utanpåliggande isolering. Fasadmaterialet är av tegel med bakomliggande ventilerad luftspalt vilket gör att väggen blir tvåstegstätad och kan, enligt Skanska, användas i slagregnsutsatta lägen.

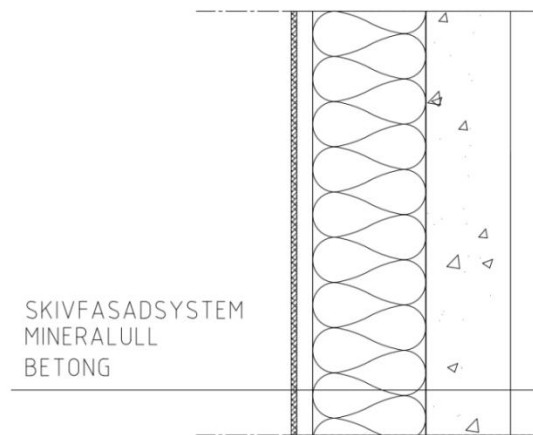
Ytterväggen rekommenderas av Skanska till alla möjliga konstruktioner och byggnader, i såväl småhus och flerbostadshus som i kontor och skolor.



Figur 1. Standardyttervägg med betongstomme och tegelskalmur.

### 7.1.1 Alternativ uppbyggnad med skivfasad

Ett alternativ till tegelskalmuren är ett skivfasadssystem med bakomliggande luftspalt. Ytterväggen är uppbyggd av en betongstomme med utanpåliggande isolering. Skivfasad med bakomliggande ventilerad luftspalt gör att väggen blir tvåstegstätad och kan, enligt Skanska, användas i slagregnsutsatta lägen.



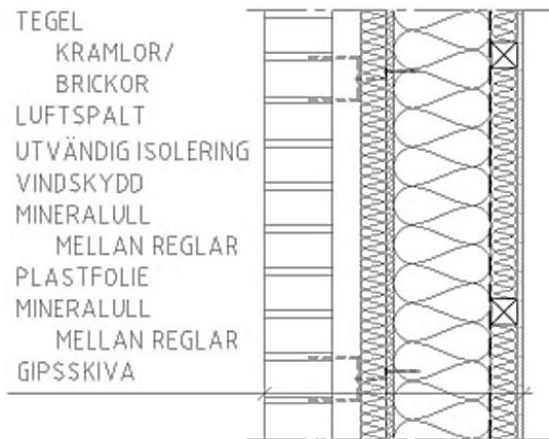
**Figur 2.** Standardyttervägg med betongstomme och skivfasad.

Skivfasadsystemet kan även motsvara en träpanelfasad, då förutsättningarna för dessa två fasadsystem är likvärdiga.

### 7.2 Regelstomme med tegelskalmur

Ytterväggen är uppbyggd som regelkonstruktion med tegelskalmur med bakomliggande luftspalt. Ytterväggen kan utföras med träreglar eller stålreglar. Konstruktion med träreglar rekommenderas av Skanska till byggnader på max två våningar och kan då användas som bärande vägg i småhus och villor. Konstruktion med stålreglar kan användas som utfackningsvägg i alla typer av byggnader. Det bärande systemet kan i det fallet bestå av stål eller betong. Stålreglar är att föredra i badanläggningar på grund av det extrema klimatet.

Ytterväggen är utformad enligt principen för tvåstegstätning och kan, enligt Skanska, användas i slagregnsutsatta lägen.



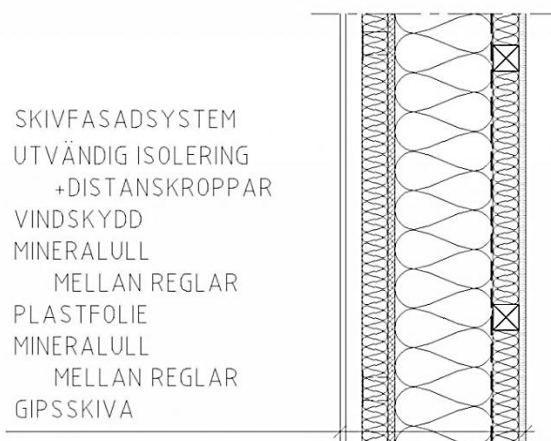
Figur 3. Standardyttervägg med regelstomme och tegelskalmur.

### 7.2.1 Alternativ uppbyggnad med skivfasad

Ett alternativ till tegelskalmuren är ett skivfasadsystem med bakomliggande luftspalt.

Ytterväggen är uppbyggd som regelkonstruktion med skivfasad med bakomliggande luftspalt. Ytterväggen kan utföras med träreglar eller stålreglar. Konstruktion med träreglar rekommenderas av Skanska till byggnader på max två våningar och kan då användas som bärande vägg i småhus och villor. Konstruktion med stålreglar kan användas som utfackningsvägg i alla typer av byggnader. Det bärande systemet kan i det fallet bestå av stål eller betong. Stålreglar är att föredra i badanläggningar på grund av det extrema klimatet.

Ytterväggen är utformad enligt principen för tvåstegstätning och kan, enligt Skanska, användas i slagregnsutsatta lägen.

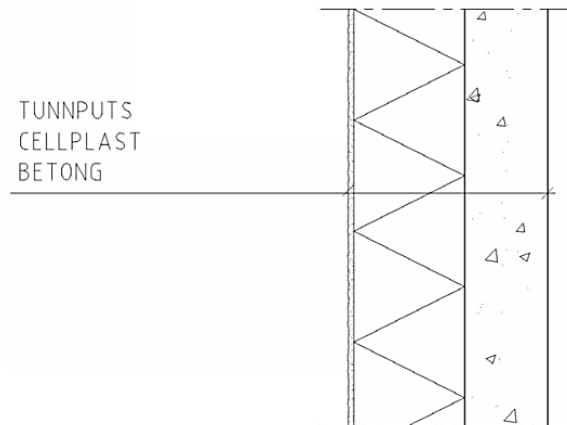


Figur 4. Standardyttervägg med regelstomme med skivfasad.

Skivfasadsystemet kan även motsvara en träpanelfasad, då förutsättningarna för dessa två fasadsystem är likvärdiga.

### 7.3 Betongstomme med puts på isolering

Ytterväggen är uppbyggd av en betongstomme med utanpåliggande cellplast och tunnputs som fasadmateriäl. Ytterväggen är en kompakt konstruktion som saknar luftspalt, detta gör att konstruktionen endast kan rekommenderas av Skanska i slagregnsutsatta lägen under särskilda förutsättningar. Väggen är avsedd för alla typer av byggnader och konstruktioner såväl i skolor och kontor som småhus och flerbostadshus.



**Figur 5.** Standardyttervägg med betongstomme och puts på isolering.

## 8 Skadekartering

En mindre skadekartering har genomförts för att fastställa hur och var skador kan uppkomma i offentliga våtrum och vilka lösningar som har använts för att komma till rätta med problemen. Karteringens syfte är att ge en överskådlig bild av problemen, vad som kan vara orsaken bakom problemen och aspekter som måste belysas för att kunna bygga en fungerande anläggning idag.

Skadekarteringen består av tre intervjuer, en telefonintervju och två muntliga intervjuer, med erfarna skadeutredare inom området. Personerna som har intervjuats presenteras närmare under respektive intervju och intervjufrågorna presenteras i Bilaga 1.

### 8.1 Anders Kumlin, AK-konsult

Anders Kumlin startade AK-konsult 1990, ett företag som bland annat arbetar med skadeutredning och projektering med inomhusklimatet i fokus. Företaget såldes 2012 till Polygon men Kumlin är fortfarande verksam i företaget i Sverige och Norge som senior konsult/skadeutredare. Intervjun genomfördes över telefon den 28 mars 2014.

Kumlin har varit inkopplad i en del skadeutredningar i offentliga våtrum och badhus och tror att nästan alla av dagens befintliga badhusanläggningar har någon form av skada. Skadorna är självklart i varierande grad, allt från hållfasthetsskador till missfärgningar och dålig lukt.

Enligt Kumlin är den absolut vanligaste skadan lokaliserad i den övre delen av klimatskärmen, i ytterväggar är fuktkonvektionsskador vanligast. Kumlin ser även ett stort problem med tätskikt som inte har tillräckligt stora fuktmotstånd. Hur olika skador åtgärdas är svårt att säga då det är ett beslut som måste fattas från fall till fall, men för att komma till rätta med problemen måste orsakerna till fuktskadorna hittas. Relevanta frågor bör ställas: Hur har den här fukten kunnat leda till det här problemet? Vad är orsakssambandet? Efter det kan ett åtgärdsprogram tas fram för att komma till rätta med problemet, berättar Kumlin.

Kumlin berättar att det allvarligaste skadefallet han har varit inkopplad i är en badhusanläggning som endast var några år gammal. Hela anläggningen var tvungen att stängas på grund av att allvarliga hållfasthetsskador upptäckts. En sådan skada är inte så vanlig, säger Kumlin, då den ofta upptäcks i ett tidigare skede.

Skadorna är ungefär likvärdiga i hela landet trots att det bör finnas skillnader, Kumlin tror att det beror på att fuktbelastningen är 4-5 gånger större än i vanliga fall vilket medför att klimatet på utsidan spelar mindre roll.

Det finns idag en brist på teknikkompetens hos de som bygger och projekterar badhusanläggningar. De förstår inte riktigt vilken typ av byggnad det handlar om och tar då inte höjd för sina antagande vilket krävs i den här typen av extra utsatt miljö, säger Anders Kumlin i intervjun.

På frågan om en anläggning bör renoveras eller rivs säger Kumlin: ”Jag brukar dra gränsen såhär: fuktskador i golv kan vi hantera, fuktskador i yttervägg kanske vi kan hantera, men har vi fuktskador i golv, ytterväggar och tak så ska vi nog tänka oss för innan vi börjar renovera i just det enskilda huset.”. Vidare berättar han att allt går att åtgärda, det är en fråga om ekonomisk lönsamhet som avgör om byggnader bör renoveras eller rivs.

## 8.2 Peter Brander, Skanska Sverige AB Teknik

Peter Brander jobbar idag på Skanska Teknik i Malmö som specialist i byggnadsfysikgruppen och har arbetat med skadefall sedan 2003. Intervjun genomfördes den 7 maj 2014 på Skanskas kontor i Malmö.

Brander kopplas in på alla typer av skador som uppkommer i badhus och simhallar, det kan vara t.ex. städskador, belastningsskador eller rena utförandefel. Han arbetar i hela landet och är övertygad om att en mycket stor andel av Sveriges badhus har allvarliga skador. ”Det finns betydligt fler badhus med skador än utan”, menar Brander i intervjun.

Den vanligaste skadan som uppstår i Sveriges betongbadhus byggda på 60-70-talet är enligt Brander kloridinitierad korrosion. Den armerade betongkonstruktionen förlorar sin funktion. Men Brander berättar att även i badhus byggda på 80-talet, då kunskapen om tät betong faktiskt fanns har stora problem, helt enkelt för att fel betongkvalitet valts.

I ett tidigt driftskede är det vanligt att belastningsskador uppstår, då systemen belastas med mer människor och tuffare aktiviteter än vad det var tänkt från början. Det är vanligt vid uppstart av ett badhus, menar Brander, då folk vallfärdar dit och plötsligt är där mer människor än vad anläggningen klarar av. ”Sedan har vi ju gott om designfel, det har liksom inte haft en chans att funka från början.” säger Brander i intervjun.

Konvektionsskador är ytterligare ett vanligt problem i badhusmiljöer. Den stora skorstensverkan som uppstår med drifttemperaturen i kombination med fuktillskottet ger otroliga kondensmöjligheter om varm luft letar sig ut, säger Brander och menar att ingenting utom kompakta lösningar verkar ha haft någon chans att klara sig. Tyvärr kvarstår ändå kloridkorrosionen i de kompakta lösningarna, men Brander säger i intervjun att det krävs helkompakta lösningar, med foamglas eller liknande, om det ska finnas en tilltro till klimatskalet. En koppling kan göras till fryshus som är ett annat exempel på extrem driftmiljö. Fryshus ska vara helt lufttäta, helt ångtäta, väldigt bra isolerade och så måste köldbryggorna kontrolleras, säger Brander. Det syns tydligt att skadorna blir värre ju högre upp man kommer i byggnaden.

Brander berättar att det är ett problem att ventilationsteknikerna inte har tillräcklig kontroll på tryckbilderna i huset, om det är övertryck eller undertryck mot klimatskärmen och hur mycket. Men Brander berättar att han även varit i flera simhallar där det har funnits personer som vet hur det funkade och kräver att det ska vara nolltryck vid tak. Då blir det ofta 15-20 Pascal undertryck nere vid golvnivå, är det då inte lufttäta så dras kall luft in längs med golven. Risken är då att driftteknikern ser till så det blir nolltryck, eller till och med övertryck, nere vid golv. Detta innebär ca 30 Pascal övertryck uppe vid tak och då krävs inte stora hål förrän det blir katastrof. Rättare sagt tål konstruktionen inga hål alls. Ibland strävas

efter täthet enligt passivhusstandard, berättar Brander, och det räcker ingenstans i en badhusmiljö.

En annan tydlig skadebild som Brander vill belysa är att akustiklösningar kan sabotera. Det blir en tuff ljudmiljö med klinker- och kakel och därför brukar ljuddämpning appliceras i dessa miljöer. När akustikerna tillför direktmonterad invändig ljuddämpning, gärna heltäckande med isolering, innebär det att isolering tillförs på varma sidan och plötsligt ligger väggen i en fuktig miljö, berättar Brander.

Enligt Brander beror många av skadefallen först och främst på brist på kunskap och kompetens. ”Man kan säga att okunskapen manifesterar sig på olika sätt men huvudproblemet är okunskapen”. Folk som bygger offentliga våtrum är inte alltid kompetenta byggare och nivån på okunskapen är gigantisk, berättar Brander. De flesta förstår inte korrosionsproblematiken och de flesta förstår inte vilken skillnad det blir om temperaturen inomhus höjs eller sänks, säger Brander, förståelsen för byggnadsfysiken är bristfällig.

Brander poängterar att det är så få tillfällen då en kommun ska bygga badhus eller simhall eftersom det är en enorm investering. Det innebär att nästa gång kommunen bygger ett badhus så finns kompetensen inte kvar, problemen från förra byggnationen har glömts bort och ordentlig erfarenhet saknas.

Det är inte ovanligt att misslyckas med ventilationen i dessa stora anläggningar, berättar Brander, vilket ger fel tryckbild i huset och försämrade termisk komfort vilket kan leda till direkta kemiska problem i luften. Under åren har han kommit fram till att det endast finns ett fåtal personer i Sverige som kan vattenreningsteknik i stora simhallar och att det nästan inte är någon kommun som faktiskt gör de mätningar som krävs för att hålla koll på kemikalierna i vattnet. ”Om inte mätsystemet är på plats, hur ska då styrsystemet kunna fungera?” undrar Brander. Kombinationen av ett reningssystem som inte fungerar och ett ventilationssystem som inte fungerar skapar en direkt ohälsosam miljö att vistas i, lite som en kemisk fabrik, säger Brander. De flesta i byggbranschen har aldrig byggt en kemisk fabrik, således blir slutsatsen givetvis att erfarenhetsbasen som går in i projekten inte är tillräckligt bra.

I frågan om att riva eller renovera berättar Brander att många diskussioner förs om just detta och att han ofta får höra att han är för negativt inställd. Många skador går inte att åtgärda och många åtgärder blir inte riktigt bra, ibland får det bli en kompromiss, berättar Brander.

### **8.3 Jens Erik Jörgensen, Skanska Sverige AB Teknik**

Jens Erik Jörgensen arbetar idag som gruppchef på Skanska Teknik i Malmö men har tidigare arbetat som skadeutredare. Intervjun genomfördes den 7 maj 2014 på Skanskas kontor i Malmö.

Jörgensen har varit inblandad i skadeutredningar kopplade till ett badhuskoncept som Skanska byggde under ett antal år. Konceptet innehöll om- och tillbyggnation av befintliga badanläggningar med syftet att höja attraktionsvärdet och öka antalet besökare. Ett syfte med konceptet var att standardisera badhusbyggandet för att få en bättre



erfarenhetsåterkoppling, en avgörande faktor för byggnation av komplexa byggnader. Badhuskonceptet var inte helt färdigutvecklat när det kom ut på marknaden vilket har medfört problem med skador på anläggningarna som följd.

På frågan om hur stor andel av Sveriges 500 befintliga badhus som kan ha fuktskador svarar Jörgensen ”Det finns inga friska hus, det finns bara de som inte är tillräckligt undersökta”.

Fuktskador är vanliga i badhus till följd av dåligt utförda detaljer där tätskikten inte är korrekt sammanfogade och överlappade, berättar Jörgensen. Korrosionsskador är vanligt förekommande i badhusmiljöer och Jörgensen berättar att han varit inblandad i skadeutredningar där korrosionsproblemen var så stora att infästningselementen för stomsystemet hade angripits. Så långt gångna skador är dock sällsynta då de vanligtvis upptäcks tidigare, till exempel genom att läckage kan skapa rinningar, säger Jörgensen.

Det är, enligt Jörgensen, viktigt att poängtera att en del av korrosionsproblemen beror på dagens användning av badanläggningarna. De badhus som byggdes på 70-talet är inte avsedda för vattenlek, utan för simning. Stänk från hoppstorn och höga vattentemperaturer påverkar konstruktionen på ett sätt som inte fanns med i beräkningen på 70-talet.

Släppta kakelplattor som en följd av urlakningar är ett vanligt sätt att upptäcka skador på, säger Jörgensen. Han berättar även att ytkondensation på ytor på grund av en köldbrygga är ett förekommande fenomen.

Jörgensen menar att det idag är få skador som åtgärdas på ett korrekt sätt, vilket gör att problemen inte blir lösta. Vissa åtgärder eller lagningar har en kortare livslängd än övriga konstruktionsdelar vilket gör att de måste ses över oftare, det kan till exempel leda till att skadorna återkommer med ett visst intervall.

En hel del av skadorna som uppkommer beror på inkörningssvårigheter med ventilationssystemet och vattenkemin, säger Jörgensen. Skadorna idag beror inte bara på en faktor utan olika faktorer som samspelar, exempelvis teknik, kunskap och budget. Jörgensen menar att kunskapsläget är bristfälligt eftersom badanläggningar endast byggs i perioder. Risken blir då att misstag från 60- och 70-talet upprepas eftersom inblandade personer inte längre är aktiva i branschen och koncepten från den tiden fungerar inte med dagens badvanor. Det är också ett problem, menar Jörgensen, att budgeten för badanläggningar ofta är för låg då investeringskostnaden prioriteras före kostnad för drift och förvaltning.

I frågan om att riva eller renovera tycker Jörgensen att alla badanläggningar måste bedömas från fall till fall. Exempelvis kan en byggnad som har tegelväggar torkas ut medan träkonstruktioner som har varit utsatta för fukt kanske måste bytas ut.

## 8.4 Intervjusammanställning

I intervjuerna syns vissa tydliga samband och gemensamma åsikter. Nedan presenteras den problematik som författarna anser vara viktigast att poängtera från intervjuerna.

### 1. Kunskap och erfarenhet

Brist på kunskap och brist på tillräcklig erfarenhet vid byggnation i de aktuella driftsmiljöerna har stora konsekvenser på anläggningens kvalitet. Erfarenhetsåterföringen är bristfällig och det finns få referenser som gäller vid nybyggnation. Förståelsen för byggnadernas och driftmiljöernas komplexitet är otillräcklig. Brist på kunskap i olika roller som berör planering, byggnation och drift av anläggningarna kan anses vara en av de största orsakerna som bidragit till anläggningarnas dåliga kondition.

### 2. Lufttäthet och konvektionsproblem

Betydelse av lufttäthet i de aktuella driftmiljöerna underskattas, vilket leder till fuktskador i klimatskärmen. Många anläggningar har dokumenterade konvektionsskador, vilket kan vara både kostsamt och svårt att åtgärda.

### 3. Ventilation och tryckbilden i huset

Anläggningarna kräver avancerade ventilationssystem som i sin tur kräver kompetens för att fungera tillfredsställande. Det är viktigt att ventilation- och driftteknikerna har kunskap om byggnadens tryckbild för att undvika övertryck längst upp i byggnaden.

### 4. Korrosion

Korrosion som orsakar hållfasthetsproblem är mycket allvarligt och kan innebära att anläggningen behöver stängas ner. Korrosionsskador kan vara en direkt fara för användarna och verksamheten. Trots kunskap om betongkvalitet och erforderlig betongtjocklek som krävs i aktuella miljöer görs fortfarande misstag som leder till stora skador på anläggningarna.

### 5. Termisk komfort

Det är tydligt att komforten för användarna av verksamheten går emot många av de viktiga förutsättningarna som finns för att anläggningen ska kunna fungera ur fuktsynpunkt. Driftteknikern bör därför ha erforderlig utbildning så att förutsättningar som exempelvis tryckbild, temperatur och vattenkemi fungerar som det är tänkt.

### 6. Åtgärder

Att åtgärda skador är inte lätt på dessa anläggningar, gedigen kunskap och erfarenhet krävs för att bedöma om en åtgärd är ekonomisk försvarbar. Ofta går det inte att reparera skadorna och då måste anläggningen rivas, i vissa fall långt innan den förväntade livslängden är nådd.



## 9 WUFI Pro 5.3 1D

Formelförteckning med referenser för alla ekvationer använda i detta kapitel finns i källhänvisningen.

WUFI står för Wärme und Feuchte Instationär och är ett beräkningsprogram för att bedöma fuktförhållanden i konstruktioner av sammansatta skikt. Programmet är utvecklat vid Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland (Fraunhofer IBP 1, 2013). Den svenska versionen är utvecklad i samarbete med FuktCentrum på avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola (Lunds Universitet 4, 2008).

WUFI Pro 5.3 1D (hädanefter kallad WUFI) utför icke-stationära, endimensionella beräkningar av kombinerad värme- och fukttransport i byggnadsdelar som utsätts för naturligt varierande klimatförhållanden (Fraunhofer IBP 1, 2013). Principen för en icke-stationär beräkning illustreras i Bild 8 nedan.

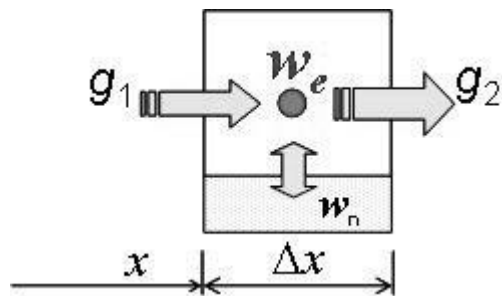


Bild 8. Principen för icke-stationär fukttransport (Lunds Universitet 5, 2008).

Skillnaden i fuktflödena  $[g_1]$  och  $[g_2]$  till en viss punkt, under en viss tid jämförs för att se skillnader i fukthalt  $[w_e]$  i den aktuella punkten. För att beräkna fuktflödet och fuktfördelningen i en konstruktionsdel delas den in i celler där varje cell fungerar som i Bild 8. Fukthaltändringen i punkten ges av EKV 9.1.

$$\Delta w_e(x, t) = -\frac{\Delta g(x)}{\Delta x} \cdot \Delta t \quad [9.1]$$

Med en finare celluppdelning fås bättre geometrisk upplösning vid simulering men beräkningstiden ökar eftersom fler fuktflödesberäkningar ska utföras. Ekvationen tar hänsyn till tiden genom att ett tidssteg väljs, fukthaltändringen beräknas så för varje valt tidssteg (Lunds Universitet 5, 2008). I EKV 9.2 kan maximalt tidssteg beräknas för en cell av ett material.

$$\Delta t \leq \frac{(\Delta x)^2 \cdot \left(\frac{\Delta w_e}{\Delta R F}\right)}{2 \cdot \delta \cdot v_s(T)} \quad [9.2]$$

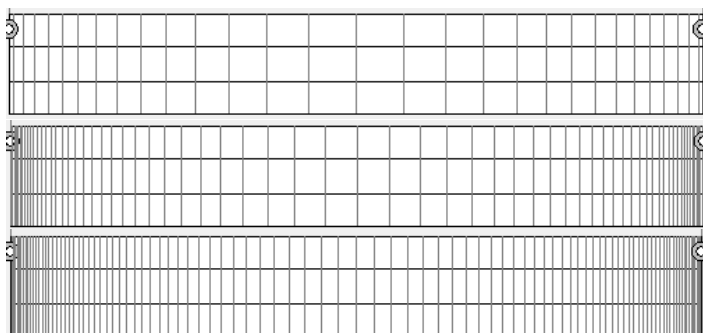
Tidssteget bör inte väljas för stort då det kan innebära ökad risk för numerisk instabilitet i beräkningarna när skillnaden i fukthalt mellan celler blir för stor, medan ett mindre tidssteg ökar beräkningstiden markant.

Då en konstruktionsdel ska simuleras i programmet måste en parameterstudie genomföras för att få tillförlitliga resultat. De viktigaste ingångsparametrarna till programmet beskrivs övergripande i följande avsnitt.

## 9.1 Uppbyggnad och Monitorplacering

Konstruktionen som ska simuleras byggs upp i programmet genom att ange materialskiktens egenskaper och tjocklekar. Material kan väljas ur en databas i programmet med typiska material som har typiska egenskaper. Vissa företag har även lagt in sina egna material för enkel användning av deras produkter vid simulering. I materialen som finns angivna i materialdatabasen kan även modifieringar göras genom att ”låsa upp” materialegenskaperna.

Gitteruppbyggnad (antal celler) ställs in automatiskt i WUFI då konstruktionen är uppbyggd, men kan även ändras manuellt genom att välja fin, medel eller grov indelning. Gittret används i värme- och fuktekvationerna som programmet baseras på.



**Figur 6.** Uppifrån och ned: Grovt gitter, medium gitter och fint gitter.

Gitterstorleken ska väljas tillräckligt fin så att beräkningarna av värme och fukttransport över materialskiktet kan lösas. Gittret är uppbyggt så att storleken på rutnätet minskar och blir finare i början och slutet av materialskikten. Detta för att få med alla förändringar som sker mellan materialskikt och mot valt klimat.

Total termisk prestanda i form av värmegenomgångsmotstånd och U-värde kan utläsas då konstruktionen är uppbyggd i programmet.

Värmekälla, fuktkälla eller källa för luftomsättning (värme + fukt) kan läggas in i konstruktionen eller i enskilt material respektive enskilda celler i material. Källa för luftomsättning är exempelvis aktuellt då konstruktionen innehåller en ventilerad luftspalt (WUFI Pro 5.3, 2013).

Omsättningen i en eventuell luftspalt är en svår parameter då det är svårt att mäta den verkliga luftomsättningen i en luftspalt och få tillförlitliga resultat. Undersökningar har dock gjorts som visar på att luftspalt bakom tegelskalmur har en luftomsättning på ca 12 oms/h med en spaltbredd på 50 mm och en sten borttagen per 1,2 m yttervägg (Sandin, 1991) enligt Bild 9 nedan.

TAB. 5:17. Medelvärden på luftomsättningen, oberoende av klimat.

|                             |       |                       |       |                        |                       |
|-----------------------------|-------|-----------------------|-------|------------------------|-----------------------|
| Spaltbredd (mm)             | 20    | 20                    | 50    | 50                     | 50                    |
| Ventilationsöppning         | ingen | öppen<br>stöt-<br>fog | ingen | galler<br>260x80<br>mm | sten<br>bort<br>tagen |
| Luftomsättning ( $h^{-1}$ ) | 2     | 4                     | 2     | 7                      | 12                    |

Bild 9. Luftomsättning i luftspalt bakom tegelskalmur (Sandin, 1991).

För luftspalt bakom skivfasad har en motsvarande undersökning gjord med resultatet att omsättningen är ca 230-310 oms/h bakom en skivfasad med stående regler (Falk och Sandin, 2012).

Huruvida bastuns eventuella invändiga luftspalt är ventilerad eller inte och hur mycket den ventileras finns det däremot inga tydliga underlag på. Antagandet som görs i detta fall är att det finns en mindre luftomsättning i spalten.

Utifrån dessa förutsättningar har följande initiala omsättningar valts i programmet som utgångspunkt:

- Luftspalt bakom tegelskalmur: 10 oms/h (ventilerad med utomhusluft)
- Luftspalt bakom skivfasad: 250 oms/h (ventilerad med utomhusluft)
- Invändig luftspalt i bastukonstruktion: 5 oms/h (ventilerad med bastuluft)

Monitorer kan placeras ut i valfritt materialskikt i konstruktionen för att få utdata från en exakt position, detta för att kunna utvärdera hur fukten vandrar i konstruktionen. Utdata som fås från monitorerna består av relativ fuktighet och temperatur över en viss tid.

## 9.2 Orientering/Lutning/Höjd

Väderstreck för simuleringen väljs beroende på hur den aktuella konstruktionen är orienterad. Lutning på konstruktionen väljs till  $90^\circ$  om elementet är en vertikal yttervägg.

Byggnadens höjd anges genom att välja mellan låg byggnad ( $\leq 10$  m), hög byggnad (10-20 m) eller hög byggnad ( $> 20$  m). Vid valet låg byggnad fås följande värden:

$$R1 = 0 [-]$$

$$R2 = 0,07 [s/m]$$

Utifrån R1 och R2 beräknas regnbelastningen enligt EKV 9.3.

$$\text{Regnbelastning} = \text{Regn} \cdot (R1 + R2 \cdot \text{Vindhastigheten}) \quad [9.3]$$

### 9.3 Ytövergångskoefficient

Om yta väljs i programmet till ”yttervägg” ges följande värden:

Värmemotstånd (yttre yta) = 0,0588 m<sup>2</sup>K/W

Värmemotstånd (inre yta) = 0,125 m<sup>2</sup>K/W

Långvågigt strålningsbidrag inkluderas = 6,5 W/m<sup>2</sup>K

Genom att definiera vilket material som befinner sig längst ut i konstruktionen (exempelvis tegel) anger programmet ett absorptionstal för kortvågig strålning, även emissionstal för långvågig strålning kan definieras. Hur mycket regnvatten det yttre materialskiktet absorberar ställs in genom att ange absorption mellan 0-100 %. Regnvattenabsorptionen kan vara svår att bestämma och spelar samtidigt en viktig roll i simuleringen, det är därför av intresse att hålla extra koll på denna parameter.

I de fall då det yttersta eller innersta materialskiktet i konstruktionen behöver anges som en ytövergångskoefficient istället för ett materialskikt kan detta anges genom att definiera skiktet som ett sd-värde. Redan förinställda materialskikt kan väljas, allt ifrån puts med sd-värde 0,2 m till metallfolie med sd-värde 1000 m, alternativt användardefinierat material.

### 9.4 Begynnelsevillkor

Initial fuktighet och temperatur för byggnadsdelen anges under indata för begynnelsevillkor. Byggfukten kan antingen anges som relativ fuktighet, som medelvärde över byggnadsdelen eller som begynnelsefukthalt (kg/m<sup>3</sup>) vatten i varje skikt. Initial temperatur i byggnadsdel anges i °C vid start av simulering. Begynnelsevillkoren kan även vara användardefinierade om resultat från mätningar används.

### 9.5 Beräkningsperiod och tidssteg

WUFI simulerar alltid över minst tre år, men startdatum och slutdatum kan även manuellt skrivas in i programmet. Om angiven klimatdata innehåller mindre värden än vald simuleringstid så kommer WUFI automatiskt att repetera klimatdata.

Tidssteget är en viktig parameter som ofta kräver itererade simuleringar, alternativt beräknas tidssteget enligt EKV 9.2.

Tidssteget bör inte vara större än intervallen för klimatdata som används till simuleringarna. Generellt ger ett för stort tidssteg felaktigheter i beräkningarna och ett för litet tidssteg ger för långa beräkningstider (Läs mer om detta i kap. 9.9).

Efter att simuleringen är färdig visas ett numeriskt kvalitetstest för att upplysa användaren om hur beräkningen har fortlöpt, se Figur 7. Det mest aktuella att kontrollera är att ”Balans 1” och ”Balans 2”, som beskriver förändringen i totalt vatteninnehåll och summan av ytflödena. Det är viktigt att balanserna inte skiljer sig för mycket, generellt kan en avvikelse mellan 0-15 % accepteras.

|  |                      |               |
|--|----------------------|---------------|
| Integrerat flöde, vänster sida (kl,dl) | [kg/m <sup>2</sup> ] | 101.46 -93.62 |
| Integrerat flöde, höger sida (kl,dl)   | [kg/m <sup>2</sup> ] | 0.0 0.35      |
| Balans 1                               | [kg/m <sup>2</sup> ] | -22.51        |
| Balans 2                               | [kg/m <sup>2</sup> ] | -22.87        |

Figur 7. En del av ett numeriskt kvalitetstest efter simulering i WUFI Pro 5.31 D som visar ca 2 % fel i balans.

Att balanserna skiljer sig kan exempelvis bero på att valt tidssteg är för stort eller att kondensutfällning sker någonstans i konstruktionen.

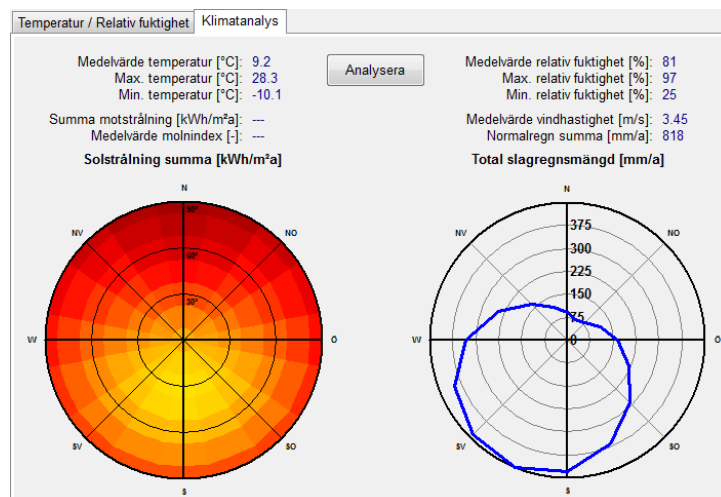
## 9.6 Inomhusklimat

Inomhusklimatet kan väljas på olika sätt. Antingen används standarderna EN 13788, EN 15026, ASHRAE 160 eller så beskrivs klimatet med sinuskurva. Det finns även möjlighet att använda egendefinierad fil på uppmätt inomhusklimat. Det är dock en fördel om data från utomhusklimat och inomhusklimat har samma tidsintervall då ett gemensamt tidssteg väljs för beräkningarna (WUFI Pro 5.3, 2013).

## 9.7 Utomhusklimat

I WUFI finns färdiga klimatfiler för orter över stora delar av världen, men även en möjlighet att använda brukardefinierad fil.

En klimatanalysfunktion kan användas för att utläsa max-, min- och medelvärden på temperatur och relativ fuktighet. Även summering av solstrålning och total slagregnmängd visas för den aktuella konstruktionen. Detta är av intresse då val av orientering ska göras och för att förstå konsekvenserna av valet.



Figur 8. Klimatanalys i WUFI Pro 5.3 ID.



## 9.8 Utdata

Utdata med varierande format och information kan fås från WUFI, där de mest aktuella parametrarna är temperatur, relativ fuktighet och vatteninnehåll från de monitorer som placerats ut i konstruktionsskikten. Beroende av vad som ska presenteras kan resultat fås i form av diagram, textfiler, filmer, eller biologisk växtlighet enligt WUFI Bio. Då ett externt analysverktyg används är det vanligt att utdata från WUFI tas i form av ASCII-filer som sedan kan importeras till andra analysprogram (WUFI Pro 5.3, 2013).

## 9.9 Begränsningar i WUFI Pro 5.3 1D

Konstruktionerna har beräknats endimensionellt i WUFI Pro 5.3 1D trots att verkligheten är tredimensionell, vilket innebär att simuleringarna är en modell av verkligheten och således approximativa. WUFI 2D har valts bort på grund av att resultaten inte förväntas bli bättre genom 2D-simulering för syftet i denna undersökning och för att programmet inte anses tillräckligt användarvänligt för principiell kunskapsåterföring.

Programmet har numeriska svårigheter att genomföra beräkningar på materiallager med liten fuktkapacitet och material med stor fuktkoefficient. Ett exempel på materiallager med liten fuktkapacitet är luft, orsaken till detta är att tidssteget måste minskas extremt mycket för dessa materiallager (Lunds Universitet 5, 2008).

I konstruktionen måste materiallager väljas även för luftspalt, och då är strävan att uppnå ett material som är så likt luft som möjligt. Materialsiktet som mest liknar luft heter ”Air layer 25 mm; without additional moisture capacity”, alltså luftlager utan extra kapacitet för fuktupptagning (porositet 0,001). Det finns även ett annat luftmaterial att tillgå, nämligen specialluften ”Air layer 25 mm”, som kan hantera mer fukt och till och med bli helt vattenfyllt (porositet 0,999). Då strävan med simuleringarna är att efterlikna verkligheten används luftmaterialet utan kapacitet till fuktupptagning i så stor utsträckning som möjligt, med specialluft i tunna skikt runt den vanliga luften för att beräkningarna ska gå följsammare. Tjockleken på specialluften har valts till det minsta som programmet tillåter att simulera (WUFI Pro 5.3, 2013).

Trots svårigheter att räkna på luftspalter i programmet har undersökningar genomförts som visar att det är möjligt att utföra tillfredsställande beräkningar på konstruktioner innehållande specialluft. Exempelvis har Olof Mundt-Petersen, doktorand vid LTH, gjort simuleringar på luftspalter i WUFI, som visade sig stämma bra med verkliga luftspalter. Resultaten visade en felmarginal på ca  $\pm 10-20\%$ <sup>4</sup>.

Mineralull är ett annat exempel på material med liten fuktkapacitet. För att hantera detta beskrivs materialet förenklat som ett fukt- och värmemotstånd av programmet. Detta innebär att fukt- och temperaturfördelningen genom mineralullen hanteras med stationära beräkningar i varje tidssteg (Lunds Universitet 5, 2008).

---

<sup>4</sup> Petter Wallentén, avdelningen för byggnadsfysik, LTH. 2014-03-26.

Efter simulering kan balansrapporten studeras bland annat för att upptäcka eventuella konvergensfel eller bristande numerisk balans. Om dessa fel upptäcks kan "Adaptive Time Step Control" aktiveras. Då funktionen är aktiverad kommer WUFI automatiskt att byta till mindre tidssteg när programmet träffar på numeriska problem, med finare tidsstegindelning bör konvergensfel och obalans minskas. Tidssteget kan även minskas manuellt om det visar sig att inställt tidssteg är för stort för att genomföra tillförlitliga beräkningar (WUFI Pro 5.3, 2013).

I materialdatabasen finns inte alla byggnadsmaterial att tillgå. Då det saknas ett material som ska användas vid uppbyggnad av en konstruktion kan ett annat materialskikt väljas som liknar verkligheten så mycket som möjligt. Det är även möjligt att ändra i ett befintligt material eller lägga in ett helt nytt material i WUFI om relevanta egenskaper är kända. De byggnadsmaterial som finns i databasen redovisas med "typiska" egenskaper, det vill säga att variationen som naturligt finns i vissa (speciellt inhomogena) material bortfaller och att en "typisk" situation simuleras (WUFI Pro 5.3, 2013).

Programmet och klimatfilerna tar inte hänsyn till skuggeffekter. Detta innebär att resultat från simuleringarna visar situationer då ingen skugga faller på konstruktionsdelen som beräknas. Detta kan dels ge resultat på säkra sidan om det finns problematik kring sommarkondens och även resultat på osäkra sidan om solen bidrar till uttorkning av väggen.

Då en ventilerad luftspalt ska simuleras i programmet väljs materialskikt och en källa för luftomsättning. Antal luftomsättningar per timme anges och även med vilket klimat luftspalten ska ventileras. Klimaten som kan väljas är antingen angiven utomhusluft eller angiven inomhusluft, vilket blir ett problem vid simulering i bastun. Det hade varit önskvärt att ventileras den invändiga luftspalten i bastukonstruktionen med normal inomhusluft, men då detta inte är möjligt väljs bastuluft.



## 10 Randvillkor för ytterväggar i WUFI Pro 5.3 1D

Nedan redovisas ytterväggarna med ingångsparametrar till WUFI. De två alternativa ytterväggskonstruktionerna med skivfasadssystem simuleras i robusthetsanalysen av de två ytterväggskonstruktionerna med tegelskalmur som en kontroll av fasadmaterialets påverkan. Tegelskalmuren har valts som utgångspunkt då den ses som ett värsta fall, eftersom den absorberar mer slagregn.

Ytterväggskonstruktionernas isolertjocklek anges i Skanskas rekommendationer i form av ett intervall. Då dagens krav på energianvändning ska uppfyllas byggs ytterväggarna i dagsläget med den största mängden isolering, alltså det största värdet i intervallet, detta såväl i småhus som i stora offentliga byggnader. I denna rapport utförs simuleringarna därför på den största isoleringstjockleken.

Då simuleringar utförs på respektive ytterväggskonstruktion antas att ingående tätskikt är opererande och skarvade på rätt sätt. Läckage genom skikt hanteras separat i efterföljande robusthetsanalyser.

### 10.1 Betongstomme med tegelskalmur

Ytterväggen byggs upp enligt Figur 9 och ingående material i väggen och materialval i WUFI presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 3. Materialdata och materialval i WUFI

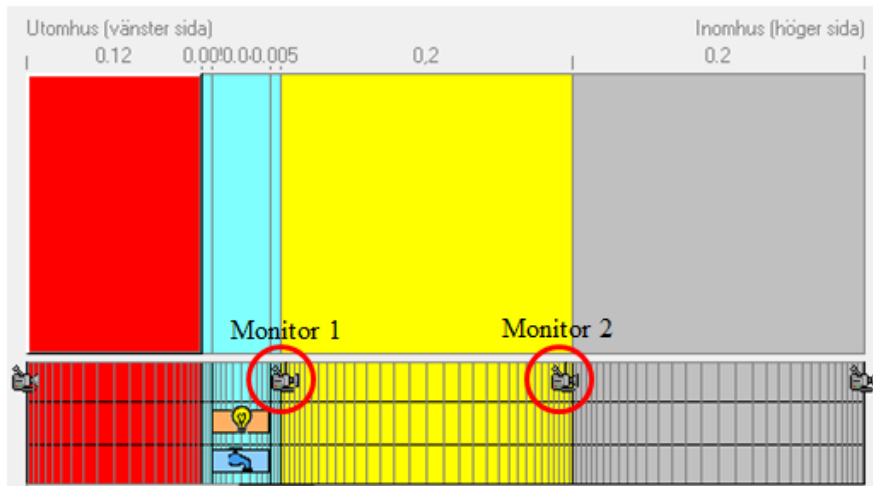
| Materialparametrar Skanska |               |                  | Materialparametrar WUFI                         |               |                  |                               |
|----------------------------|---------------|------------------|---|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialskikt              | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialskikt                                   | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Tegel                      | 120 (108)     | Inte angivet     | Solid Brick Masonry                             | 120           | 0,6              | 80                            |
| Luftspalt                  | 30-50         | -                | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
|                            |               |                  | Air Layer, without additional moisture capacity | 40            | -                | 0,01 (default)                |
|                            |               |                  | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
| Mineralull                 | 150-200       | 0,034            | Mineral wool                                    | 200           | 0,034            | 0,02                          |
| Betong                     | 100-200       | Inte angivet     | Betong VCT 0,5, välhydratiserad                 | 200           | 1,7              | 100 (default)                 |

Byggfukten i betongen antogs till det förinställda värdet i WUFI på 100 kg/m<sup>3</sup> för att underlätta upprepning av beräkningarna i rapporten. Värdet anses vara på säkra sidan jämfört med motsvarande värde från Fukthandbok: 85 kg/m<sup>3</sup> för betong med vattencementtal 0,5 (Nevander och Elmarsson, 2009). Byggfukten i betongen är en osäker parameter som kan variera med vattencementtal och tid för byggnationen.

Betongens vattencementtal valdes till 0,5 efter rådfrågning med Skanska Stomsystem AB<sup>5</sup>. Betongen som Skanska Stomsystem gjuter ska ligga på max vct 0,5 och exponeringsklass XC1. Observera att exponeringsklassen inte anger någon nedre gräns för hur lite cement som får användas, om detta inte avtalas eller säkerställs kan uttorkningen i betongen med andra ord bli mycket dålig.

<sup>5</sup> Peter Svenmar, Skanska Stomsystem. 2014-04-11.

I ytterväggskonstruktionen placeras två monitorer, en på var sida om isoleringen för att se hur fukten vandrar i ytterväggen, monitor 1 placeras längst ut mot luftspalten och monitor 2 längst in mot betongen.



**Figur 9.** Standardyttervägg med betongstomme och tegelskalmurs uppbyggnad i WUFI och dess monitorplacering.

Konstruktionen ”betongstomme med tegelskalmur” simuleras över nio år i referensfallet och bastufallet. Tidsteget en timme används i beräkningarna och tillförlitlig balans uppnås.

Med duschklimat simuleras den aktuella konstruktionen över tre år. Tidssteget 36 sekunder krävs för att uppnå en tillförlitlig balans. Observera att ackumulering av fukt i konstruktionen inte kan utläsas på samma sätt vid kortare simuleringsstid.

Då konstruktionen innehåller en tegelskalmur med bakomliggande luftspalt har följande inställningar gjorts i WUFI.

- Absorptionstal för kortvågig strålning: Tegel, rött (0,68)
- Absorptionstal för regnvatten: Beroende på komponentens lutning (0,7)
- Omsättningar i luftspalten: 10 oms/h

### 10.1.1 Alternativ uppbyggnad med skivfasad

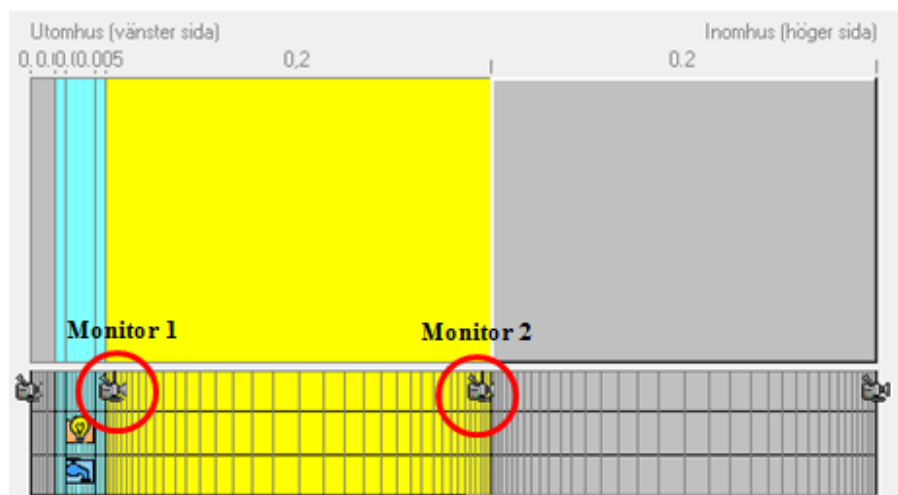
Ett alternativ till tegelskalmuren är ett skivfasadssystem med bakomliggande luftspalt. Detta alternativ används endast till robusthetsanalys av ytterväggen, eftersom tegelskalmuren ses som en sämre konstruktion ur fuktsynpunkt på grund av en högre absorptionsförmåga av regnvatten. Materialdata, materialval och skillnader i inställningar i WUFI beskrivs, övriga parametrar överensstämmer med ”betongstomme med tegelskalmur”.

Ytterväggen byggs upp enligt Figur 10 och ingående material i väggen och materialval i WUFI presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 4. Materialdata och materialval i WUFI.

| Materialparametrar Skanska |               |                  | Materialparametrar WUFI                         |               |                  |                               |
|----------------------------|---------------|------------------|---|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialsikt               | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialsikt                                    | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Skivfasadssystem           | 13            | Inte angivet     | Fibercementskiva                                | 13            | 0,13             | 95 (default)                  |
| Luftspalt                  | 25            | -                | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
|                            |               |                  | Air Layer, without additional moisture capacity | 15            | -                | 0,01 (default)                |
|                            |               |                  | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
| Mineralull                 | 150-200       | 0,034            | Mineral wool                                    | 200           | 0,034            | 0,02                          |
| Betong                     | 100-200       | Inte angivet     | Betong VCT 0,5, välhydratiserad                 | 200           | 1,7              | 100 (default)                 |

Konstruktionens monitorer placeras i isoleringsskiktet enligt ”betongstomme med tegelskalmur”. Monitor 1 placeras längst ut mot luftspalten och monitor 2 längst in mot betongen.



Figur 10. Standardyttervägg med betongstomme och skivfasads uppbyggnad i WUFI och dess monitorplaceringar.

Konstruktionen ”betongstomme med skivfasad” simuleras över nio år i bastufallet. Tidsteget en timme används i beräkningarna och tillförlitlig balans uppnås.

I duschfallet simuleras konstruktionen över tre år. Tidssteget 36 sekunder krävs för att uppnå en tillförlitlig balans. Observera att ackumulering av fukt i konstruktionen inte kan utläsas på samma sätt vid kortare simuleringstid.

Då konstruktionen innehåller en tegelskalmur med bakomliggande luftspalt har följande inställningar gjorts i WUFI.

- Absorptionstal för kortvågig strålning: Puts, vit (ny) (0,2)
- Absorptionstal för regnvatten: Ingen regnvattenabsorption (---)
- Omsättningar i luftspalten: 250 oms/h

## 10.2 Regelstomme med tegelskalmur

Ytterväggen byggs upp enligt Figur 11 och ingående material i väggen och materialval i WUFI presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 5. Materialdata och materialval i WUFI.

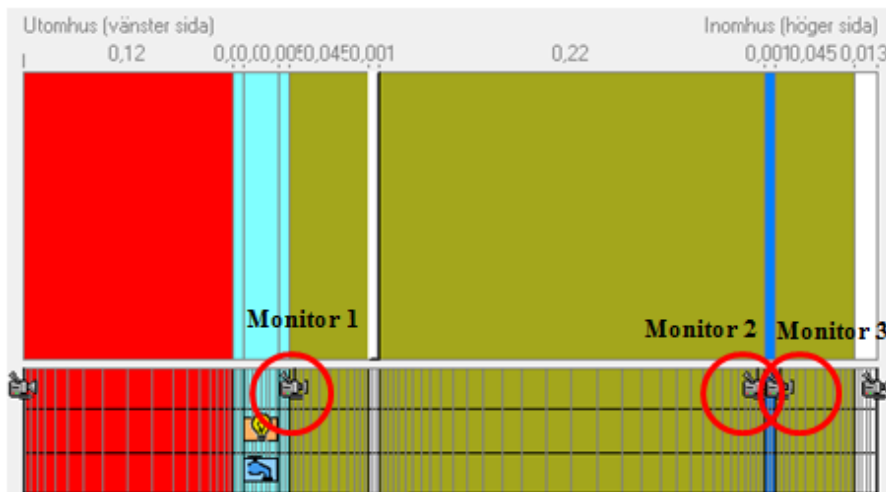
| Materialparametrar Skanska             |               |                  | Materialparametrar WUFI                         |               |                  |                               |
|--|---------------|------------------|---|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialsikt                           | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialsikt                                    | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Tegel                                  | 120           | Inte angivet     | Solid Brick Masonry                             | 120           | 0,6              | 80                            |
| Luftspalt                              | 25-30         | -                | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
|  |               |                  | Air Layer, without additional moisture capacity | 20            | -                | 0,01 (default)                |
|  |               |                  | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
| Stenull                                | 45            | 0,034            | Roxul RockBoard                                 | 45            | 0,034            | 0,02 (default)                |
| Vindskyddsskiva/<br>vindskydd på rulle | 13            | -                | Weather resistive barrier (sd=0,2m)             | 1             | -                | 0                             |
| Stenull med vertikala reglar           | 145-220       | 0,037            | Roxul RockBoard                                 | 220           | 0,037            | 0,02 (default)                |
| Plastfolie                             | 0,2           | -                | Vapour retarder (sd=100m)                       | 1             | -                | 0                             |
| Stenull med horisontella reglar        | 45            | 0,037            | Roxul RockBoard                                 | 45            | 0,037            | 0,02 (default)                |
| Gips                                   | 13            | -                | Invändig gipsskiva                              | 13            | -                | 0                             |

Regelkonstruktionen innehåller små mängder byggfukt i uppbyggnaden i WUFI. I ytterväggen är det endast tegel och träreglar som innehåller fukt och då träreglarna inte appliceras i simuleringarna finns inte mycket byggfukt att ta hänsyn till.

Vindskyddsskiva eller vindskydd på rulle är föreskrivet i Skanskas rekommendationer. I WUFI valdes en ”Weather resistive barrier” vilket anses motsvara det föreskrivna materialet.

Den invändiga gipsskivan är endast aktuell i referensfallet och används då utan ytbehandling.

I WUFI placeras tre monitorer ut i denna konstruktion. Monitor 1 placeras längst mot utsidan i den utvändiga isoleringen, monitor 2 placeras på den kalla sidan av plastfolien i det stora isoleringsskiktet och monitor 3 på den varma sidan av plastfolien i den invändiga isoleringen eller installations-skiktet. Dessa placeringar har valts för att kunna analysera uteklimatets och plastfoliens påverkan på konstruktionen och för att se hur fukten vandrar i konstruktionen.



**Figur 11.** Standardyttervägg med regelstomme och tegelskalmurs uppbyggnad i WUFI och dess monitorplacering.

Konstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” simuleras över nio år i referensfallet. Tidsteget en timme används i beräkningarna och tillförlitlig balans uppnås.

I bastufallet simuleras konstruktionen över tre år. Tidssteget 36 sekunder krävs för att uppnå en så tillförlitlig balans som är möjlig med avseende på simuleringstider och datorkapacitet.

I duschfallet simuleras konstruktionen över tre år. Tidssteget 30 minuter krävs för att uppnå en tillförlitlig balans.

Då konstruktionen innehåller en tegelskalmur med bakomliggande luftspalt har följande inställningar gjorts i WUFI.

- Absorptionstal för kortvågig strålning: Tegel, rött (0,68)
- Absorptionstal för regnvatten: Beroende på komponentens lutning (0,7)
- Omsättningar i luftspalten: 10 oms/h



### 10.2.1 Alternativ uppbyggnad med skivfasad

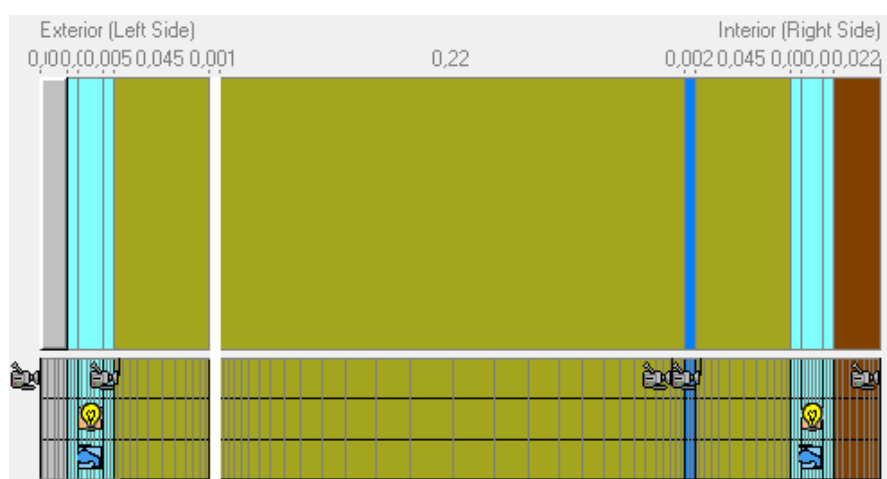
Ett alternativ till tegelskalmuren är ett skivfasadsystem med bakomliggande luftspalt. Detta alternativ används endast till robusthetsanalys av ytterväggen, eftersom tegelskalmuren ses som en sämre konstruktion ur fuktsynpunkt på grund av en högre absorptionsförmåga av regnvatten. Materialdata, materialval och skillnader i inställningar i WUFI beskrivs, övriga parametrar överensstämmer med ”regelstomme med tegelskalmur”.

Ytterväggen byggs upp enligt Figur 12 och ingående material i väggen och materialval i WUFI presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 6. Materialdata och materialval i WUFI.

| Materialparametrar från Skanska        |               |                  | Materialparametrar WUFI                         |               |                  |                               |
|--|---------------|------------------|---|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialsikt                           | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialsikt                                    | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Skivfasadsystem                        | 13            | Inte angivet     | Fibercementskiva                                | 13            | 0,13             | 95 (default)                  |
| Luftspalt                              | 25            | -                | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
|  |               |                  | Air Layer, without additional moisture capacity | 15            | -                | 0,01 (default)                |
|  |               |                  | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
| Stenull                                | 45            | 0,034            | Roxul RockBoard                                 | 45            | 0,034            | 0,02 (default)                |
| Vindskyddsskiva/<br>vindskydd på rulle | 13            | -                | Weather resistive barrier (sd=0,2m)             | 1             | -                | 0                             |
| Stenull med vertikala regler           | 145-220       | 0,037            | Roxul RockBoard                                 | 220           | 0,037            | 0,02 (default)                |
| Plastfolie                             | 0,2           | -                | Vapour retarder (sd=100m)                       | 1             | -                | 0                             |
| Stenull med horisontella regler        | 45            | 0,037            | Roxul RockBoard                                 | 45            | 0,037            | 0,02 (default)                |
| Gips                                   | 13            | -                | Invändig gipsskiva                              | 13            | -                | 0                             |

Konstruktionens monitorer placeras i isoleringsskiktet enligt ”regelstomme med tegelskalmur”. Monitor 1 placeras i isoleringen mot den utvändiga luftspalten och monitor 2 och 3 på var sida om plastfolien.



Figur 12. Standardyttervägg med skivfasad.

Konstruktionen ”regelstomme med skivfasad” simuleras över tre år i bastufallet. Tidsteget 36 sekunder används i beräkningarna för att uppnå en så tillförlitlig balans som är möjlig med avseende på simuleringstider och datorkapacitet.

I duschfallet simuleras konstruktionen över tre år. Tidsteget 30 minuter krävs för att uppnå en tillförlitlig balans.

Då konstruktionen har en skivfasad med bakomliggande luftspalt har följande inställningar gjorts i WUFI:

- Absorptionstal för kortvågig strålning: Puts, vit (ny) (0,2)
- Absorptionstal för regnvatten: Ingen regnvattenabsorption (---)
- Omsättningar i luftspalten: 250 oms/h

### 10.3 Betongstomme med puts på isolering

Ytterväggen byggs upp enligt Figur 13 och ingående material i väggen och materialval i WUFI presenteras i nedanstående tabell.

Tabell 7. Materialdata och materialval i WUFI

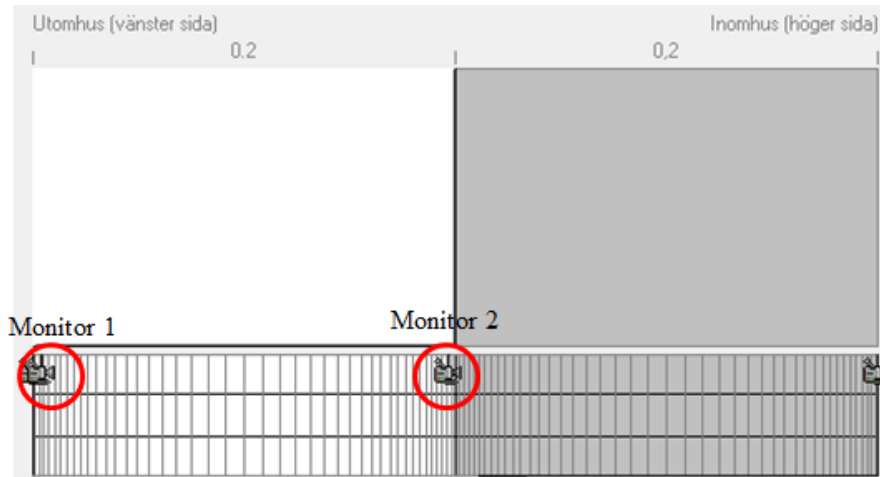
| Materialparameter Skanska |               |                  | Materialparametrar WUFI        |               |                  |                               |
|---------------------------|---------------|------------------|--------------------------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialsikt              | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialsikt                   | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Tunnputs                  | 6-10          | -                | -                              | -             | -                | -                             |
| Cellplast                 | 150-200       | 0,036            | Cellplast expanderad           | 200           | 0,036            | 0,18 (default)                |
| Betong                    | 100-200       | 1,7              | Betong VCT 0,5 välhydratiserad | 200           | 1,7              | 100 (default)                 |

Byggfukten i betongen antogs till det förinställda värdet i WUFI på 100 kg/m<sup>3</sup> för att underlätta upprepning av beräkningarna i rapporten. Värdet anses vara på säkra sidan jämfört med motsvarande värde från Fukthandbok: 85 kg/m<sup>3</sup> för betong med vattencementtal 0,5 (Nevander och Elmarsson, 2009). Byggfukten i betongen är en osäker parameter som kan variera med vattencementtal och tid för byggnationen.

Betongens vattencementtal valdes till 0,5 efter rådfrågning med Skanska Stomsystem AB<sup>6</sup>. Betongen som Skanska Stomsystem gjuter ska ligga på max vct 0,5 och exponeringsklass XC1. Observera att exponeringsklassen inte anger någon nedre gräns för hur lite cement som får användas, om detta inte avtalas eller säkerställs kan uttorkningen i betongen med andra ord bli mycket dålig.

<sup>6</sup> Peter Svenmar, Skanska Stomsystem. 2014-04-11.

I ytterväggskonstruktionen placeras två monitorer, en på var sida om isoleringen för att se hur fukten vandrar i ytterväggen, monitor 1 placeras längst ut mot luftspalten och monitor 2 längst in mot betongen.



**Figur 13.** Standardyttervägg med betongstomme och puts på isolerings uppbyggand i WUFI och dess monitorplacering.

Konstruktionen ”betongstomme med puts på isolering” simuleras över nio år i referensfallet och bastufallet. Tidsteget en timme används i beräkningarna och tillförlitlig balans uppnås.

I duschfallet kan inga simuleringar genomföras eftersom numerisk obalans uppstår i programmet. Obalansen uppstår med största sannolikhet på grund av svårigheter att beräkna över tätskiktet som ansluter till det extrema klimatet. Även byggfukten i betongen är svår att hantera på grund av ackumulering i konstruktionen.

Då konstruktionen har puts på isolering och ingen luftspalt har följande inställningar gjort i WUFI:

- Ytövergångskoefficient puts, min. (utan slagregn) sd-värde 0,2
- Absorptionstal för kortvågig strålning: Puts, vit (ny) (0,2)
- Absorptionstal för regnvatten: Ingen regnvattenabsorption (---

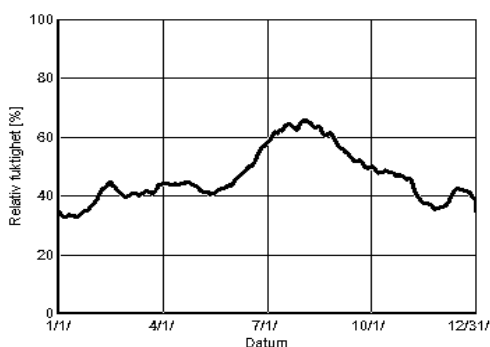
## 11 Klimat till WUFI Pro 5.3 1D

Till simuleringarna i WUFI ska inomhus- och utomhusklimat definieras som ingångsparametrar till beräkningarna. Som utomhusklimat används klimatdata från Lunds Universitet för orterna Lund och Luleå. Som inomhusklimat används dusch- och bastuklimat från loggarmätningar på badhuset Aq-va-kul i Malmö. Ett referensfall tas även fram för att kunna jämföra bastu- och duschresultaten med en normal driftmiljö. Referensen antas vara jämförbar med ett vanligt vardagsrum i en bostad.

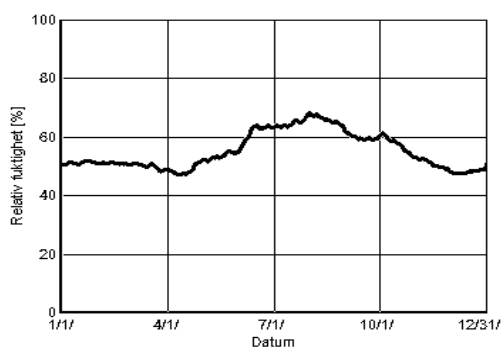
### 11.1 Referensfall (vardagsrum)

Referensfallet ska motsvara klimatet i en vanlig bostad för att kunna jämföra resultat från bastu- och duschklimaten med en normal driftsmiljö. Inomhusklimatet väljs till WUFI:s standardklimat EN 13788 och konstant inomhustemperatur väljs till 20 °C. Den relativa fuktigheten i inomhusklimatet styrs av utomhusklimatet och väljs som fuktklass 2 i programmet. Fuktklass 2 innebär ett fukttillskott på 4 g/m<sup>3</sup> vilket är på säkra sidan eftersom en normal bostad anses ha ett fukttillskott på ungefär 2-4 g/m<sup>3</sup> (Sandin, 2010).

I Figur 14 och 15 visas hur den relativa fuktigheten varierar inomhus beroende på utomhusklimatet i WUFI.

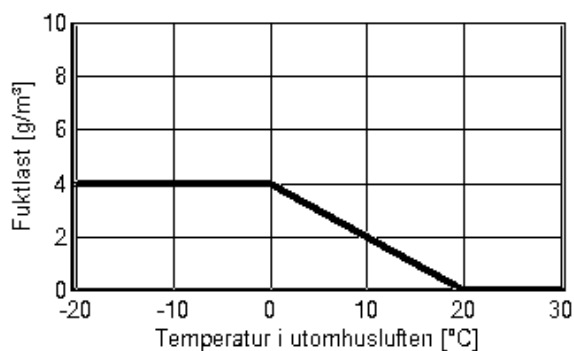


Figur 14. Relativ fuktighet inomhus i Luleå.



Figur 15. Relativ fuktighet inomhus i Lund.

I Figur 16 nedan visar fukttillskott på 4 g/m<sup>3</sup> under vinterhalvåret och varierande fukttillskott mellan 0-4 g/m<sup>3</sup> för temperaturer mellan 0-20 °C.



Figur 16. Fuktklass 2, diagram från WUFI som visar fuktlasten vid olika temperatur.

## 11.2 Inomhusklimat - dusch och bastu

Inomhusklimatet för bastu och duschrum har mätts upp i damernas omklädningsrum på badhuset Aq-va-kul i Malmö med hjälp av Testo 174H , en datalogger från Nordtec. Testo 174H är en 2-kanalsdatalogger som mäter temperatur och relativ fuktighet. Loggern sägs klara temperaturer mellan -20-70°C och relativa fuktigheter mellan 0-100 % (Nordtec, 2013).

Loggrarna mätte temperatur och relativ fuktighet var tionde minut i femton dagar i mars månad. Tidsintervallet valdes för att kunna studera snabba fukt- och temperaturvariationer. Det uppmätta klimatet medelvärdesbildas till timvärden för att kunna användas som indata till beräkningsprogrammet WUFI.

Drifftider för bastu i damernas omklädningsrum på badhuset Aq-va-kul i Malmö:

Måndag- Fredag 06.30-21.30

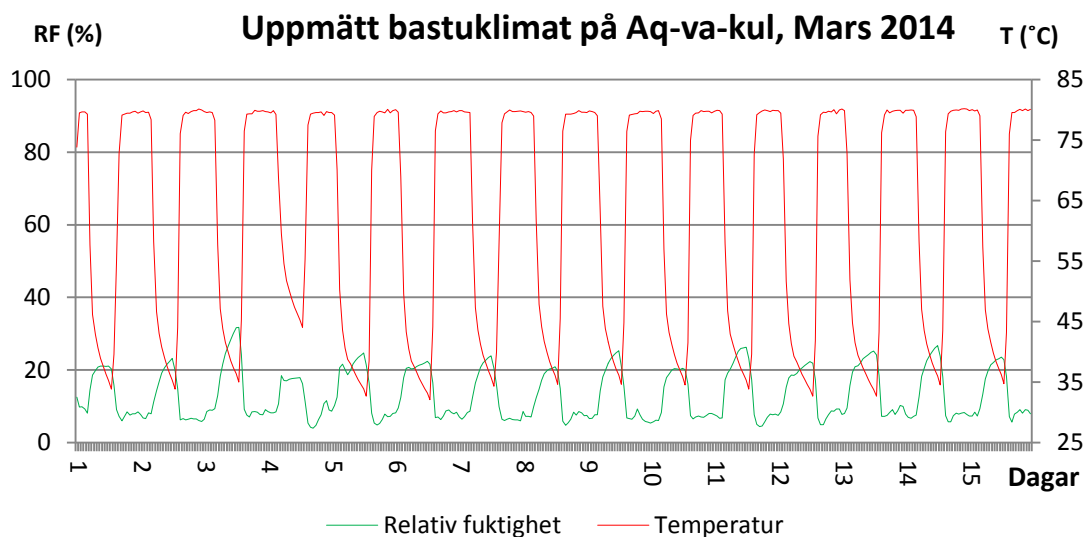
Lördag- Söndag 08.30-18.30

Drifftider för dusch i damernas omklädningsrum på badhuset Aq-va-kul i Malmö:

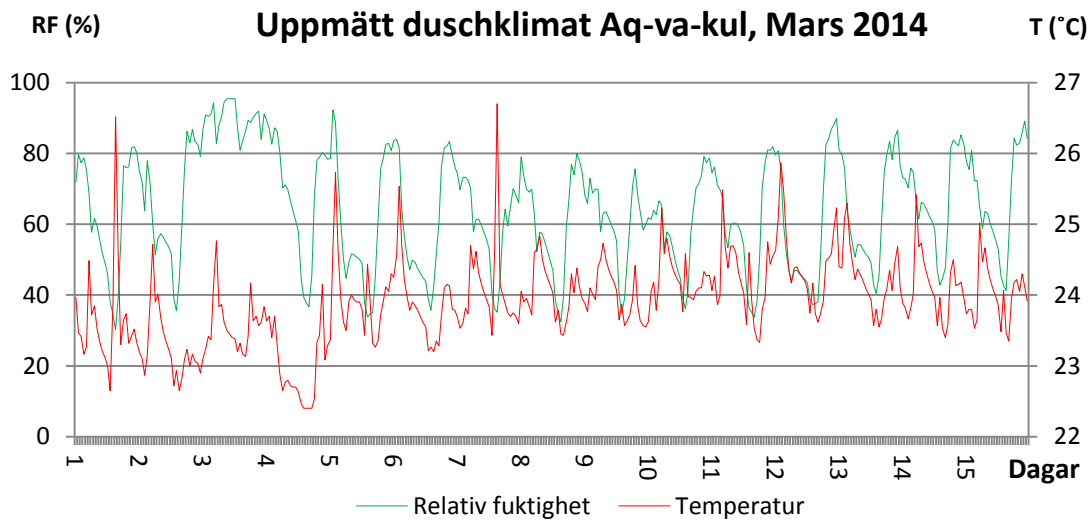
Måndag- Fredag 07.00-20.30

Lördag- Söndag 09.00-18.00

Två olika loggrar placeras på ca 2,5 m höjd i både dusch och bastu (se Bilaga 2 för placering av loggrar på Aq-va-kul). Endast mätdata från en av loggrarna i bastu respektive dusch används i rapporten, den andra loggern används för verifierande mätning. I Figur 17 och 18 nedan presenteras det uppmätta bastuklimatet och det uppmätta duschklimatet.



**Figur 17.** Resultat från loggermätning av bastuklimat i badhuset Aq-va-kul i Malmö.

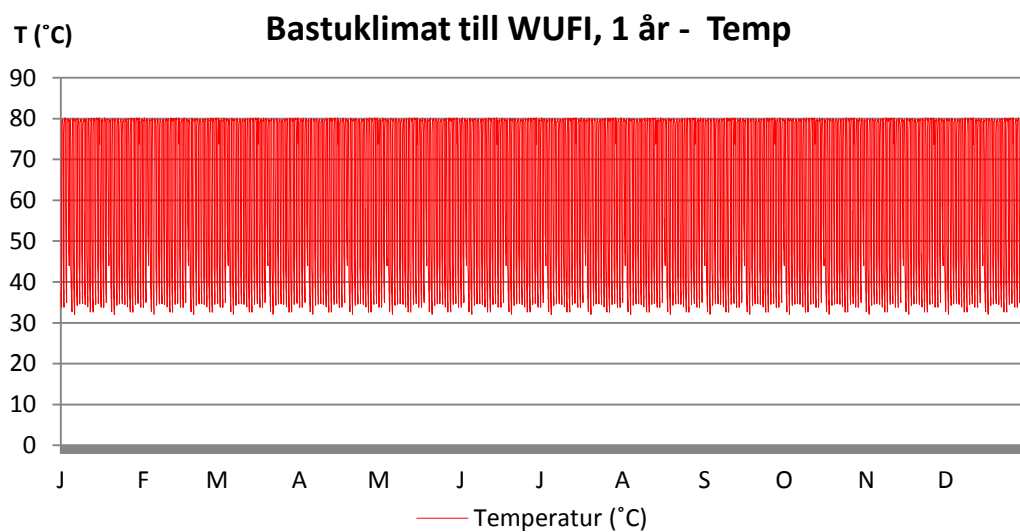


Figur 18. Resultat från loggarmätning av duschklimat i badhuset Aq-va-kul i Malmö.

I nästkommande avsnitt beskrivs hur bastu- och duschklimaten behandlas för att kunna användas som indata till WUFI. För att kunna jämföra bastu- och duschresultaten med en normal driftmiljö används referensfallet som antas vara jämförbart med ett vanligt vardagsrum i en bostad.

### 11.2.1 Bastu

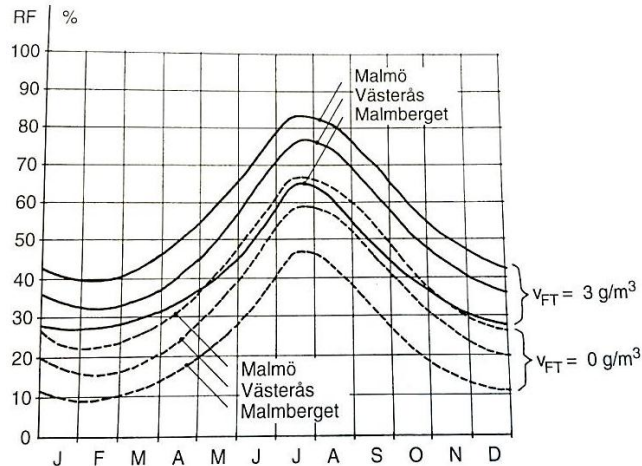
Det uppmätta bastuklimatet från badhuset Aq-va-kul i Malmö loggades under 15 dagar med tiominutersintervall, och måste därför omvandlas till timvärden. Medeltimvärden för temperaturen skapas och repeteras för att få ett års värden, vilket ger ett diagram enligt Figur 3 nedan.



Figur 19. Medelvärdesbildade timvärden av temperatur i bastun för ett år.

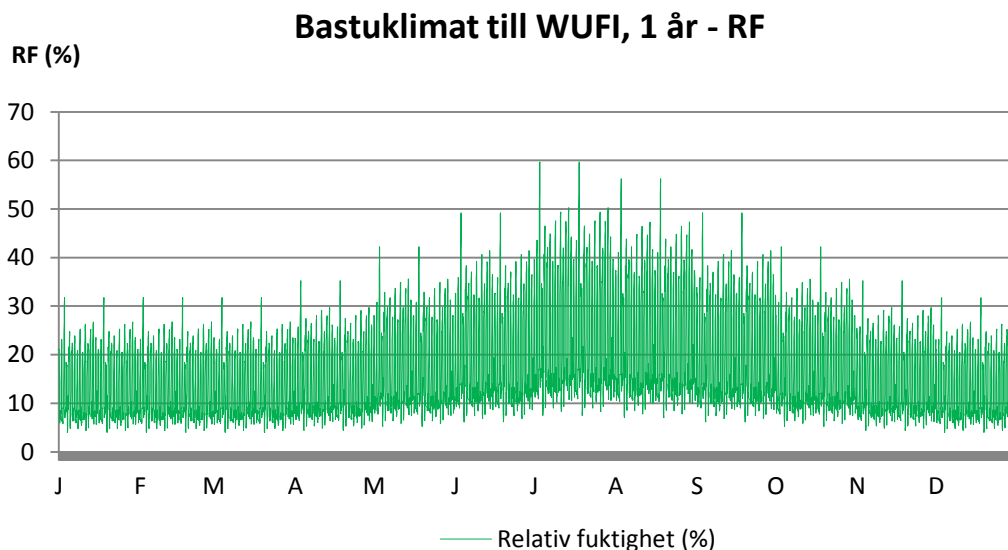
Den relativa fuktigheten från dataloggrarna görs om till timvärden genom att de omvandlas till ånghalter var tionde minut i programmet Converter (Lunds Universitet 6, 2014). Ånghalterna medelvärdesbildas till timvärden. Med hjälp av timvärden för ånghalt och temperatur beräknas sedan den relativa fuktigheten.

Då det uppmätta bastuklimatet från Aq-va-kul loggades under mars månad gället klimatet således för vinterhalvåret. För att justera för sommarförhållanden används förenklat ett diagram över hur relativ fuktighet varierar inomhus över året enligt Bild 10.



**Bild 10.** Relativ fuktighet inomhus för olika fuktillskott och orter (Nevander och Elmarsson, 2006).

Observera att diagrammet gäller för inomhustemperaturen 20°C och är därför inte jämförbart med bastuklimat med höga temperaturförhållanden. Däremot antas inbördes procentuella förhållanden stämma med bastuklimatet, således har en uträknad procentsats lagts på varje månad utom referensmånaden mars för att erhålla samma principiella utseende som diagrammet i Figur 20.

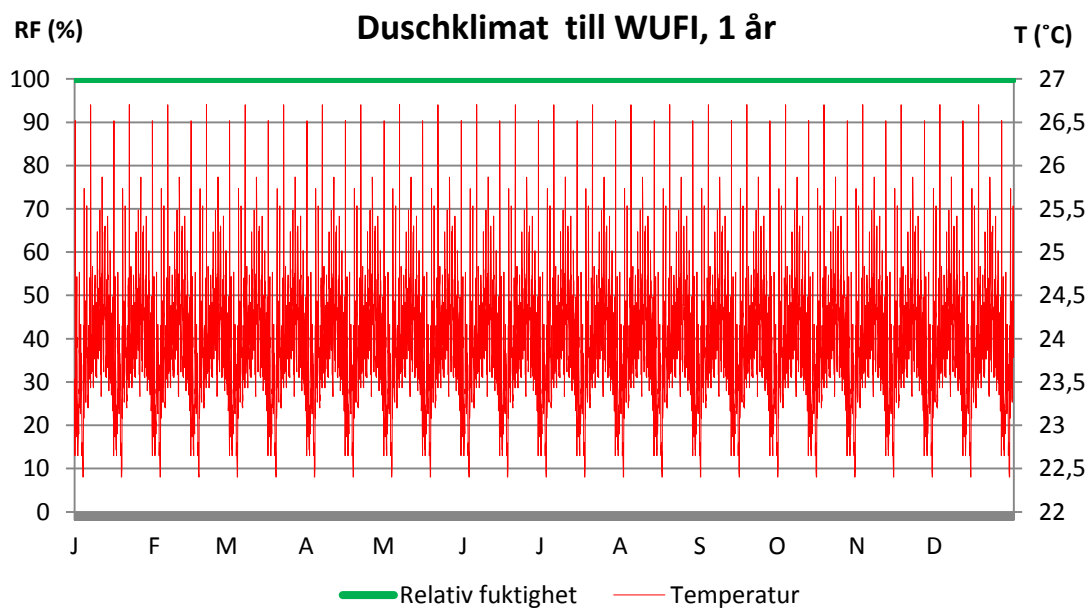


**Figur 20.** Medelvärdesbildade och korrigerade timvärden av relativa fuktigheten i bastun för ett år.

### 11.2.2 Dusch

Även det uppmätta duschklimatet från badhuset Aq-va-kul i Malmö loggades under 15 dagar i tiominutersintervall och måste därför medelvärdebildas till timvärden.

Duschrummet antas vara utfört med kakel och tätskikt på insida yttervägg, i beräkningsprogrammet WUFI förenklas detta utförande med ett tätskikt och konstant 100 % relativ fuktighet bakom kakelplattorna. Således används endast den loggade temperaturen från duschrummet som medelvärdesbildas till timvärden. Temperaturen tillsammans med timvärden på konstant 100 % relativ fuktighet används som inneklimat till duschrum i beräkningsprogrammet WUFI enligt Figur 21 nedan. Detta innebär att uttorkning mot duschrummet försummas.



Figur 21. Medelvärdesbildade timvärden av temperatur och konstant RF i duschen för ett år.

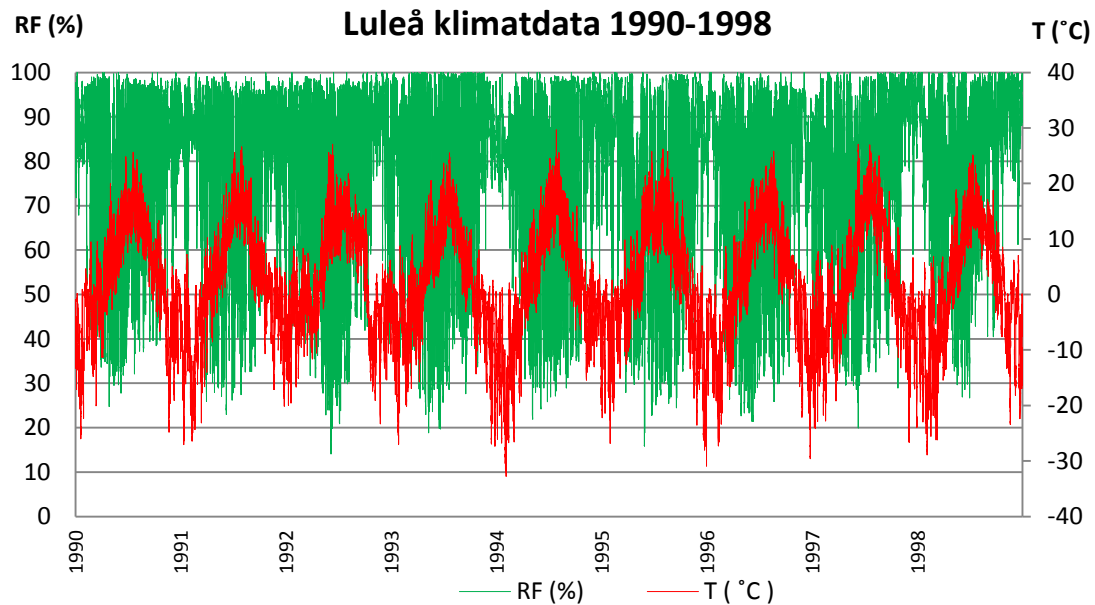


### 11.3 Utomhusklimat

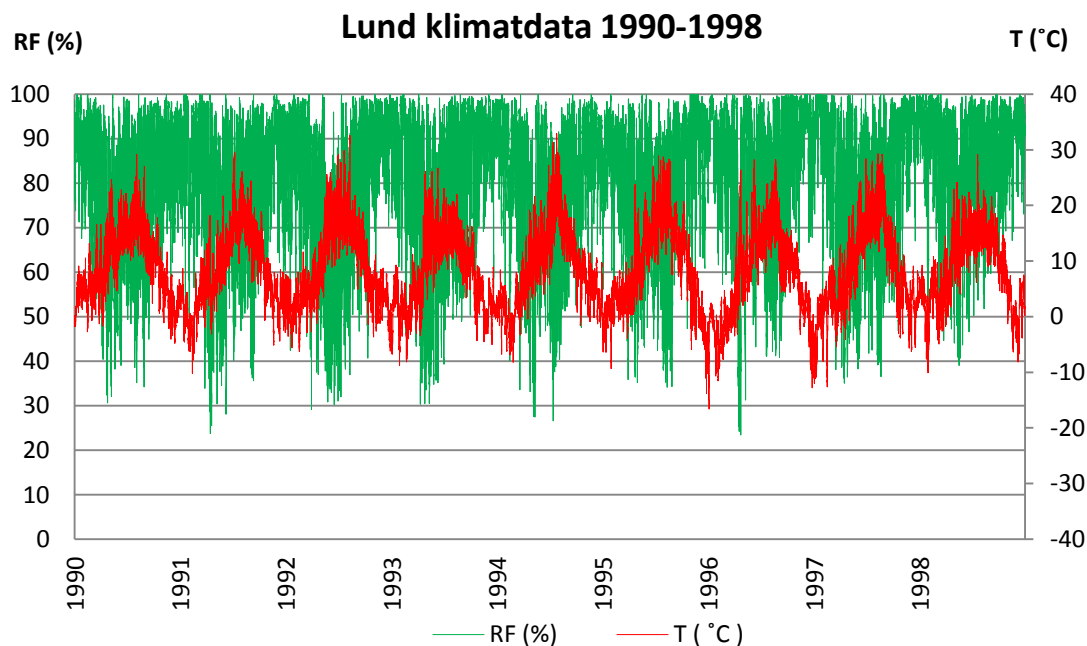
Data till utomhusklimat i Lund och Luleå innehåller nio år från åren 1990-1998 och har fått från Petter Wallentén vid avdelningen för byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola. Klimatdata är uppmätt med en timmes intervall. I filerna har inga värden korrigerats eller tagits bort, extremvärden finns kvar. Detta medför att filerna speglar verkligheten mer än WUFIs egna utomhusklimat, som har korrigerats genom att toppvärdena har kapats vilket innebär att den relativa fuktigheten aldrig uppnår 100 %.

Klimatfilerna innehåller bland annat följande information:

- Temperatur [°C]
- Relativ fuktighet [-]
- Nederbörds mängd [mm/h]
- Vindhastighet [m/s]
- Vindriktning [°]
- Global kortvågig strålning [W/m<sup>2</sup>]
- Diffus kortvågig strålning [W/m<sup>2</sup>]
- Atmosfärisk långvågig strålning [W/m<sup>2</sup>]

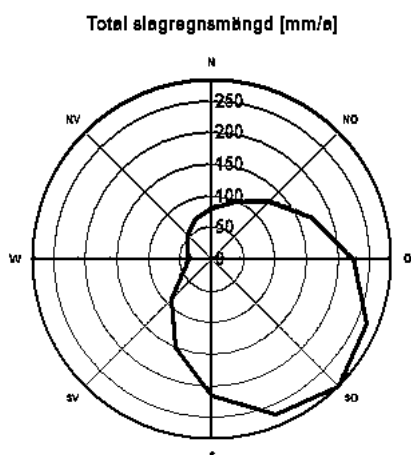


Figur 22. Diagram som visar klimatdata från Luleå 1990-1998.

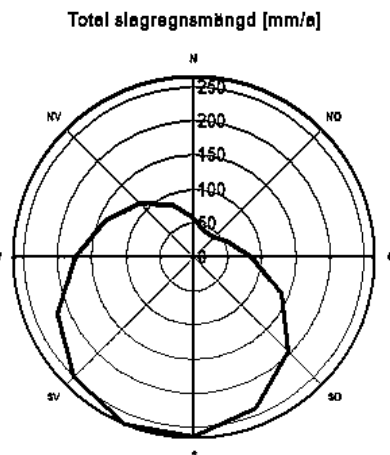


**Figur 23.** Diagram som visar klimatdata från Lund 1990-1998.

Efter att utomhusklimatet har lagts in i programmet från fil kan en klimatanalys göras på klimatet för att exempelvis få reda på max-, min- och medelvärde på relativa fuktigheten. En annan intressant parameter är slagregnsmängden och hur den fördelar sig på de olika orienteringarna. I Figur 24 och 25 nedan visas riktning på slagregnet för Lund och Luleå utifrån aktuell klimatdata.



**Figur 24.** Klimatanalys i WUFI, Luleå.



**Figur 25.** Klimatanalys i WUFI, Lund.

Utifrån analysen syns det tydligt att största delen av slagregnsmängden kommer i sydostlig riktning i Luleå och i sydvästlig riktning i Lund. Detta är ett rimligt resultat eftersom orterna har kust åt dessa riktningar.



## 12 M-modellen

M-modellen är ett analysverktyg framtaget av Skanska som används för att bedöma risken för mikrobiologisk påväxt på ett material. Modellen är främst framtagen som ett hjälpmedel vid fuktsäkerhetsprojektering. Dock bör andra steg utföras i fuktsäkerhetsprojekteringen innan en mögelriskbedömning med M-modellen genomförs, exempelvis teknisk granskning och beräkning av fukttillstånd. Även i konstruktioner som vid första anblick inte ser ut att ha fuktproblem kan mögeltillväxt ske och analysverktyget kan komma till användning (Berggren, 2010).

Modellen är uppbyggd kring utdata från WUFI och kan inte användas för utdata från annat beräkningsprogram då det ställs en rad krav på indata till modellen. Datum, tid, temperatur och relativ fuktighet önskas i modellen.

För att uppnå bästa resultat med M-modellen ska intervallen mellan mätvärden maximalt vara en timme. Det är viktigt att modellen som byggs upp har material och klimat som överensstämmer med verkligheten i så stor mån som möjligt. M-modellen utvärderar en konstruktion under förutsättningarna som valts i modellen. Det är därför svårt att generellt godkänna eller avfärda en konstruktion utifrån enstaka beräkningar (Bengtsson, 2011).

Analysverktyget använder sex olika varaktighetssamband som beskriver livsbetingelserna för mögelpåväxt som funktion av tiden. Att det finns sex olika samband beror på att det tar olika lång tid för mögelpåväxt att ske beroende på vilka livsbetingelser som uppfylls. Två av dessa varaktighetssamband överensstämmer med en statusrapport från WoodBuild i forskarprojektet för Branschforskningsprogrammet 2006-2012 för skog- och träindustrin där syftet är att utveckla trämaterial som klarar framtidens uthålliga byggnader (Nilsson, 2009). De andra fyra varaktighetssambanden överensstämmer med Hannu Viitanens avhandling från 1996 där observationer och mätresultat redovisas (Berggren, 2010).

M-modellen är idag endast beskriven för träslaget gran vilket innebär att andra material inte kan bedömas om inte varaktighetskurvorna byts ut eller parallellförflyttas med hjälp av en variabel, den så kallade sensitivitetsfaktorn. Sensitivitetsfaktorn ökar eller minskar tillväxttakten för riskperioden. Hannu Viitanen 2011 har analyserat mätningar och kommit fram till den här faktorn för olika material. Hyvlad gran får variabeln 1, ytved från furu variabeln 1,73, isoleringsmaterial och betong får variabeln 0,125. Mögel växer då alltså snabbare på ytved från furu än på hyvlad gran och åtta gånger långsammare på betong än på hyvlad gran. Sensitivitetsfaktorn multipliceras med en materialfaktor vilket gör att inga formler behöver ändras (Bengtsson, 2011). Idag fortsätter forskningen med att ta fram nya varaktighetssamband för andra byggnadsmaterial och för att säkerhetsställa sensitivitetsfaktorn.

M-modellen tar även hänsyn till när temperatur och relativa fuktighet förändras till ogynnsamma värden för mögeltillväxt. Mögeltillväxten avtar eller dör ut vid låga temperaturer och för att i M-modellen ta hänsyn till detta måste två faktorer beaktas, dels vid vilken temperatur mögelsporerna går i dvala och hur stark dvalan är mellan noll och ett. Om faktorn mellan noll och ett sätts till noll sker ingen tillväxt och sätts den till ett är det ingen påverkan av kylan. Varaktighetskurvorna har korrigerats så ingen tillväxt sker under 0°C.

När en mögelspor har utsatts för torka under långa perioder minskar dess tillväxt och den sätts i dvala (Bengtsson, 2011).

Den kritiska relativa fuktigheten beräknas för den aktuella temperaturen i sex tidsintervall, 1 dygn, 1, 2, 4, 8 och 12 veckor.

M-modellen beräknar en kvot,  $m$ , mellan den aktuella relativa fuktigheten vid en tidpunkt och den kritiska relativa fuktigheten för den aktuella temperaturen under den tidpunkten (Berggren, 2010). Den kritiska relativa fuktigheten multipliceras även med en säkerhetsfaktor,  $\gamma$ , som i allmänhet sätts till 0,98 (Bengtsson, 2011).

$$m = \frac{RF_{akt}(t)}{RF_{krit}(T(t)) \cdot \gamma} \quad [12.1]$$

Om kvoten är lika med eller överstiger ett betyder det att den kritiska relativa fuktigheten överskrids för gran.

Modellen beräknar sedan sex risktider, en för varje varaktighetssamband. Den ackumulerande risktiden fås genom att summera alla risktider då  $m$  är större eller lika med ett, alltså då det kritiska tillståndet överskrids. Om en risktid överstiger den kritiska varaktigheten för det aktuella varaktighetssambandet kan mögelpåväxt teoretiskt förekomma. I modellen beräknas alltså sex stycken risktider parallellt för att bedöma risken för mögeltillväxt.

Den beräknade ackumulerade risktiden jämförs sedan med den kritiska varaktigheten för de sex olika varaktighetsambanden. Den kritiska varaktighetskvoten, KVK, beräknas för att få ett jämförelse mått på konstruktionen.

$$KVK = \frac{\text{materialytans ackumulerade risktid } (t)}{\text{kritisk varaktighet } (t)} \quad [12.2]$$

För tolkning av resultaten och bedömning av mögeltillväxtrisken:

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| $KVK \geq 1$    | Hög risk  |
| $1 < KVK < 0,7$ | Viss risk |
| $KVK \leq 0,7$  | Låg risk  |

(Berggren, 2010)

Formelförteckning med referenser för alla ekvationer använda i detta kapitel finns i källhänvisningen.

## 12.1 Utdata från M-modellen

M-modellen används för att beskriva risken för mögelpåväxt i de aktuella konstruktionerna som simuleras i WUFI och utdata från M-modellen är KVK-värden som presenteras i resultatkapitlet i denna rapport.

|    | A                                      | B   | C        | D         | E         | F         | G          |
|----|--|---|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1  |  | >1 dygn   | >1 vecka | >2 veckor | >4 veckor | >8 veckor | >12 veckor |
| 2  | Max varaktighet (period M>1 [h])       | 0   | 0        | 0         | 0         | 0         | 0          |
| 3  | Riskbedömning                          | Låg Risk  | Låg Risk | Låg Risk  | Låg Risk  | Låg Risk  | Låg Risk   |
| 4  | Kritisk varaktighetskvot (max/kritisk) | 0.00  | 0.00     | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00       |
| 22 | Förklaring till riskbedömning          |   |          |           |           |           |            |
| 23 | "Låg Risk"                             | aktuell varaktighet kortare än 70% av kritisk varaktighet         |          |           |           |           |            |
| 24 | "Risk"                                 | aktuell varaktighet mellan än 70 och 100% av kritisk varaktighet  |          |           |           |           |            |
| 25 | "Hög Risk"                             | aktuell varaktighet längre eller lika 100% av kritisk varaktighet |          |           |           |           |            |
| 26 |  |   |          |           |           |           |            |

Figur 26. Utdata från M-modellen.

## 12.2 Begränsningar i M-modellen

Analysverktyget M-modellen behandlar bara relativ fuktighet, temperatur och tidsaspekten vid beräkningen av riskvärde för mögeltillväxt. Det finns dock fler faktorer som påverkar mögeltillväxten så som nattutstrålning, solinstrålning, vindförhållanden och nederbörds mängd. Dessa faktorer används vid simuleringen i WUFI men kan inte appliceras i M-modellen. M-modellen är en sortering av isopletdiagram från WUFI, som skapar en överskådlig bild av var, när och om kritiska riskvärden uppstår.

M-modellen är skapad för trämaterialen gran vilket gör att kurvor och varaktighetssambanden inte helt är överförbara till ett andra byggnadsmaterial. Det finns framtagna värden som kan appliceras men dess exakthet kan inte garanteras vilket gör att dessa inte används vid analys av simuleringarna i denna rapport.

## 12.3 Andra analysverktyg

Analys av mögeltillväxt kan ske i andra verktyg och mögelmodeller än M-modellen. Exempel på andra mögelanalysmodeller är Folos, MRD-modellen och WUFI bio.

Folos är framtagen av Olof Mundt-Petersen vid avdelningen för byggnadsfysik vid LTH. Mögelanalysverktyget analyserar utdata från WUFI men tar inte hänsyn till torrperioder. Vid analys i Folos adderas inte heller varaktigheterna. Resultatet presenteras i ett diagram där eventuell mögeltillväxt kan utläsas (Hållbart byggande, 2013).

MRD-modellen är en mögelpåväxtmodell som är utvecklad vid avdelningen för konstruktionsteknik, Lunds tekniska högskola. Modellen baseras på mätningar utförda av Hannu Vittanen och innehåller en mögelindexskala från 0-6, som beskriver risken för mögelpåväxt på materialet. För beräkning med MRD-modellen krävs relativ fuktighet och temperatur (Isaksson och Thelandersson, 2010).

WUFI bio är WUFIs egna mögelanalysverktyg som visar hur en mögelspor gror beroende på relativ fuktighet och temperatur. Verktöget tar hänsyn till torra perioder genom att mögeltillväxten avstannar. Mögeltillväxten beskrivs som "mould growth" i millimeter (Fraunhofer IBP 2, 2005).



## 13 Beräkning av luftläckage

För att simulera mer realistiska förhållanden i ytterväggskonstruktionerna läggs ett luftläckage in i ytterväggen. Läckaget ska motsvara ett fuktflöde ut i konstruktionen från den varma inomhusluften vid exempelvis otätheter i plastfolien för att undersöka om eventuella konvektionsproblem kan uppstå i ytterväggarna.

Det finns en funktion i WUFI ”Luftinfiltrationsmodell från IBP” där anges en byggnadsskalsinfiltration genom att välja lufttäthetsklass. Det finns även en funktion där andel av slagregn som tar sig in i konstruktionen kan väljas. Funktionerna har inte kunnat verifieras och därför beräknas luftläckaget för hand.

Beräkning med avseende på fuktkonvektion grundar sig i att ett luftflöde,  $R$ , tar med sig vattenångan från den varma inomhusluften och ger på så sätt upphov till ett fuktflöde,  $G$ , ut i konstruktionen (Nevander och Elmarsson, 2009).

Formelförteckning med referenser för alla ekvationer använda i detta kapitel finns i källhänvisningen.

### 13.1 Beräkning av håldiameter

Antagandet görs att tätheten på klimatskalet uppfyller passivhusstandard. Storleken på läckage genom tätskikt tillåts vara  $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$  vid  $50 \text{ Pa}$  tryckskillnad för att uppnå passivhusstandard enligt FEBY12. Utifrån antagandet beräknas en diameter på ett fiktivt cirkulärt hål fram enligt EKV 13.1. Hänsyn tas till friktionsförluster över hålöppningen.

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d^2} \cdot \left(\frac{R}{A}\right) + \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{R}{A}\right)^2 \quad [13.1]$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{R}{\Delta P \cdot \pi} \cdot \left(4 \cdot 32 \cdot \eta \cdot L + \frac{\xi \cdot \rho \cdot R \cdot 8}{\pi}\right)}$$

$\Delta P = 50 \text{ Pa}$  (hela tryckfallet antas ske över plastfolien)

$R = 0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$

$\eta = 18,1 \cdot 10^{-6}$  vid lufttemperatur  $20^\circ\text{C}$

$L = 0,001 \text{ m}$  (tjocklek på plastfolien)

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$\xi = 1,8$

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$



Detta ger håldiametern  $d = 0,00395 \text{ m}$ .

En byggnad med täthet enligt passivhusstandard kan alltså tillåtas ha ett cirkulärt hål med diametern 3,95 mm per kvadratmeter klimatskal vid en tryckskillnad på 50 Pa.

### 13.2 Drivkrafter för fuktkonvektion

För att fuktkonvektion ska ske förutsätter det att det finns skillnad i totaltryck. För att beräkna det totala tryckfallet över ytterväggen måste hänsyn tas till vind, termik och mekanisk ventilation enligt EKV 13.2. Observera att trycket över ytterväggen på grund av termik respektive vindkrafter i vissa fall kan ta ut varandra, men genom att anta att dessa samverkar har beräkningarna gjorts på säkra sidan.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{vind} + \Delta P_{termisk} + \Delta P_{mekanisk} \quad [13.2]$$

Tryckfall på grund av vind beräknas enligt EKV 13.3. Då uppgifter om exakt vindriktning inte kan tas fram beräknas vindtrycket en bit från fasaden enligt Bernoullis ekvation för fri luftströmning, således tas inte hänsyn till formfaktorernas inverkan på vindtrycket.

$$\Delta P_{vind} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad [13.3]$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \text{vindhastigheten [m/s]}$$

Vindhastigheten är loggad varje timme i utomhusklimatfilerna för Lund och Luleå, således fås ett värde för  $\Delta P_{vind}$  per timme och per ort.

Den termiska drivkraften beräknas enligt EKV 13.4, med hjälp av gasernas allmänna tillståndslag. Genom att multiplicera med halva byggnadshöjden antas jämnt fördelade otätheter på väggen.

$$\Delta P_{termisk} = \frac{T_{inne} - T_{ute}}{T_{inne} \cdot T_{ute}} \cdot 3462 \cdot \frac{h}{2} \quad [13.4]$$

$$T_{inne} = \text{inomhustemperatur [K]}$$

$$T_{ute} = \text{utomhustemperatur [K]}$$

$$h = 5 \text{ m (antagen byggnadshöjd)}$$

Utomhustemperaturerna är loggade varje timme i klimatfilerna för Lund och Luleå. Inomhustemperaturen fås från loggermätningar i bastu och dusch varje timme och för referensfallet antas inomhustemperaturen till 20°C konstant. Således fås ett värde för  $\Delta P_{termisk}$  per timme och per ort för de olika inomhusklimaten.

Den mekaniska drivkraften i en byggnad uppstår på grund av fläktarna i en byggnads ventilationssystem, drivkraften kan i vissa fall bli stor och ge både övertryck och undertryck inomhus. Då det inte finns uppgifter om hur ventilationssystemet kommer att vara utformat antas en balanserad injustering där den mekaniska drivkraften kan försummas.

$$\Delta P_{mekanisk} = 0 \text{ Pa}$$

Detta ger EKV 13.2 enligt nedan

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{vind} + \Delta P_{termisk} + 0$$

Det totala tryckfallet över ytterväggen fås genom att summera vindtrycket och det termiska trycket, förutsatt att turbulent flöde inte uppstår. Resultatet blir ett tryck per timme och per ort för dusch, bastu och referensfallet.

### 13.3 Luftflöde genom hålet

Luftflödet,  $R$ , genom det cirkulära hålet beräknas enligt EKV 13.1.

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot L}{d^2} \cdot \left(\frac{R}{A}\right) + \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{R}{A}\right)^2$$

Nu används det beräknade cirkulära hålet för diameter och area. Erhållna timvärden används för tryckskillnad över ytterväggen. Ur beräkningen fås en positiv och en negativ rot på luftflödet,  $R$ , vilka är identiska till värde. Det negativa flödet bortses ifrån då WUFI inte kan hantera negativa värden. Resultatet blir ett luftflöde per timme och per ort för dusch, bastu och referensfallet.

Observera att beräkningarna förutsätter laminärt flöde. Flödet är ofta laminärt inne i hålet men turbulent flöde kan uppstå vid hålets in- och utlopp (Nevander och Elmarsson, 2009).

### 13.4 Fuktflöde genom hålet

Slutligen beräknas fuktflödet,  $G$  [kg/h], som sker genom det cirkulära hålet vid rådande inomhus- och utomhusklimat enligt EKV 3.5.

$$G = (v_{inomhus} - v_{isolering}) \cdot R \quad [13.5]$$

$v_{inomhus}$  = ånghalten i inomhusluften [kg/m<sup>3</sup>]

$v_{isolering}$  = ånghalten i isoleringen, där fuktkällan läggs in [kg/m<sup>3</sup>]

$R$  = ånghalten i inomhusluften [m<sup>3</sup>/h]

Resultatet blir ett fuktflöde i kilo per timme och per ort för dusch, bastu och referensfallet. Fuktflödet läggs in som en fuktkälla från fil i isolerskiktet i WUFI. Fuktkällan placeras på kalla sidan av plastfolien som om plastfolien läckte genom ett cirkulärt hål med diametern 3,95 mm.



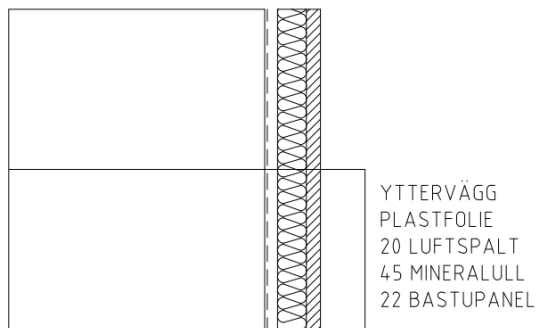
## 14 Definition av bastu- och duschuppbyggnad

Olika kombinationer av bastu- och duschuppbyggnader för ytterväggarna beskrivs i följande kapitel. Materialval i WUFI anges för respektive uppbyggnad.

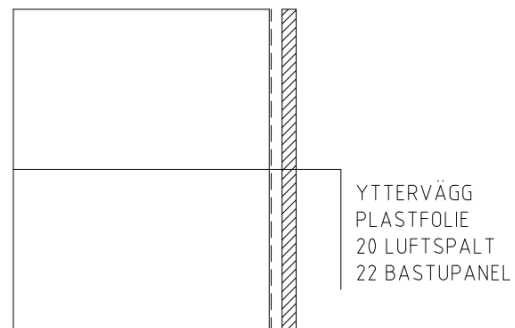
### 14.1 Uppbyggnad av bastuvägg

En bastuvägg kan byggas upp på olika sätt och med olika material. Utgångspunkten för uppbyggnad av bastuväggen har varit Isovers bastulösning för yttervägg (Isover 2, 2014), slutsatser från skadekarteringen och diskussion med handledare.

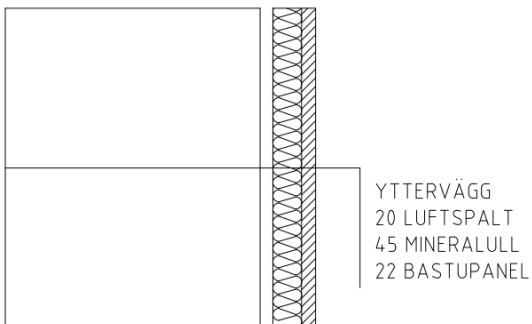
För att undersöka hur uppbyggnaden av väggen bör se ut utifrån fuktsynpunkt simuleras olika kombinationer av bastuväggen i WUFI. Uppbyggnaderna visas i Figur 27-34 nedan.



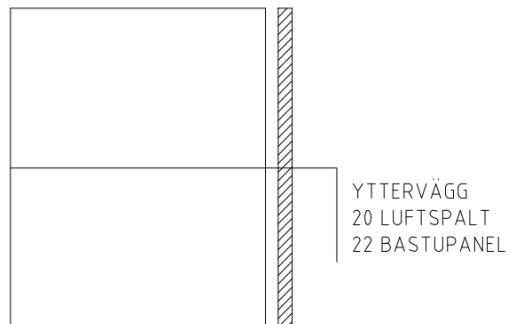
Figur 27. Bastuväggens totala uppbyggnad.



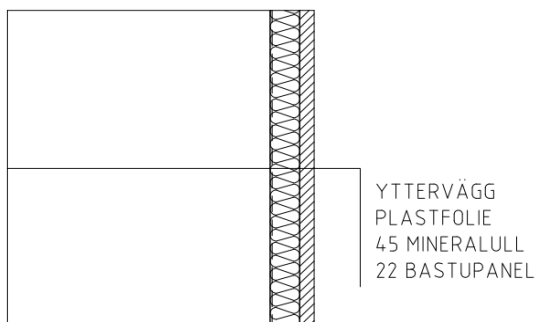
Figur 28. Bastuväggens uppbyggnad utan isolering.



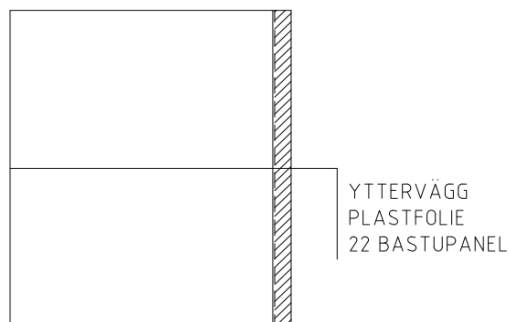
Figur 29. Bastuväggens uppbyggnad utan plastfolie.



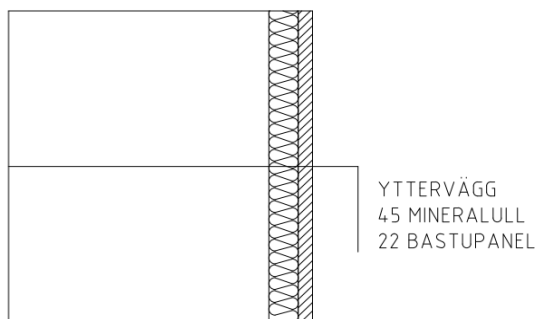
Figur 30. Bastuväggens uppbyggnad utan isolering och plastfolie.



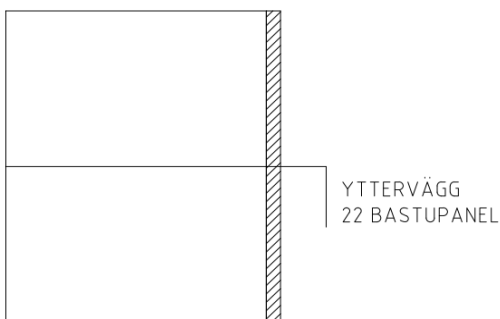
**Figur 31.** Bastuväggens uppbyggnad utan plastfolie och luftspalt.



**Figur 32.** Bastuväggens uppbyggnad utan isolering, plastfolie och luftspalt.



**Figur 33.** Bastuväggens uppbyggnad utan luftspalt.



**Figur 34.** Bastuväggens uppbyggnad utan isolering och luftspalt.

Bastuväggen byggs upp i WUFI med materialen i Tabell 8. Tabellen visar alla material som ingår i den totala bastuväggsuppbyggnaden. De övriga kombinationerna är olika varianter av den totala uppbyggnaden.

**Tabell 8.** Materialparametrar till WUFI.

| Materialparametrar |               |                  | Materialparametrar i WUFI                       |               |                  |                               |
|--------------------|---------------|------------------|---|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialsikt       | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialsikt                                    | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Plastfolie         | 1             | -                | Vapour retarder (sd=100m)                       | 1             | -                | 0                             |
| Luftspalt          | 20            | -                | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
|                    |               |                  | Air Layer, without additional moisture capacity | 10            | -                | 0,01 (default)                |
|                    |               |                  | Air Layer                                       | 5             | -                | 0                             |
| Mineralull         | 45            | 0,034            | Mineral wool (heat cond.: 0,04 W/mK)            | 45            | 0,034            | 0,02                          |
| Bastupanel         | 22            | -                | Gran, tangentiellt                              | 22            | -                | 40 (default)                  |

## 14.2 Uppbyggnad av duschvägg

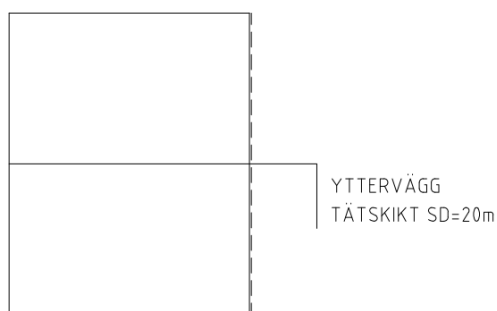
I ett offentligt duschrum finns vanligen kakel och klinker som ytbeklädnad på väggar och golv. Det finns dock inget kakel/klinkermaterial eller fogmassa i WUFIs databas.

För en våtrumsvägg med kakelbeklädnad kommer vatten snabbt att tränga sig igenom fogmassan in till fästmassan genom kapillärsugning. Enligt kap 6.3 bör det förutsättas att fritt vatten alltid finns i fästmassan bakom kaklet mot tätskiktet om duschen används normalt.

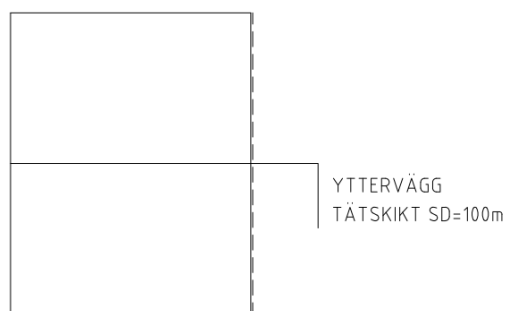
För att kunna simulera duschkonstruktionen och få rimliga resultat i WUFI byggs ytterväggen endast upp fram till tätskiktet bakom kakelplattorna, mot tätskiktet sätts konstant 100 % RF tillsammans med uppmätt duschtemperatur.

Vanligtvis finns även någon form av våtrumsskiva med i en duschupbyggnad. I simuleringarna har detta bortsetts ifrån eftersom det inte finns något applicerbart material i WUFI. Antagandet är på säkra sidan eftersom våtrumsskivan kan ha en fuktbufferande effekt.

Olika tätskikt undersöks i konstruktionerna genom att variera sd-värdet i programmet enligt Figur 35-36.



**Figur 35.** Duschväggs upbyggnad med plastfolie  $sd=1500m$  som tätskikt.



**Figur 36.** Duschväggs upbyggnad med plastfolie  $sd=100m$  som tätskikt.

Duschväggs upbyggnad samt materialval i WUFI visas i Tabell 9. Sd-värdet på tätskiktet finns beskrivet i respektive ritning. Konstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” har ytterligare fyra lösningar på duschväggsupbyggnaden, som visas i sin helhet i Bilaga 3.

**Tabell 9.** Materialparametrar till WUFI.

| Materialparametrar   |               |                  | Materialparametrar i WUFI             |               |                  |                               |
|----------------------|---------------|------------------|---------------------------------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| Materialsikt         | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Materialsikt                          | Tjocklek [mm] | $\lambda$ [W/mK] | Byggfukt [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Våtrumsskiva/plywood | 13            | -                | Vapour retarder (sd=enligt ritningar) | -             | -                | 0                             |
| Tätskikt             | 1             | -                |                                       |               |                  |                               |
| Fogmassa             | 2             | -                |                                       |               |                  |                               |
| Kakel                | 5             | -                |                                       |               |                  |                               |



## 15 Resultat och analys

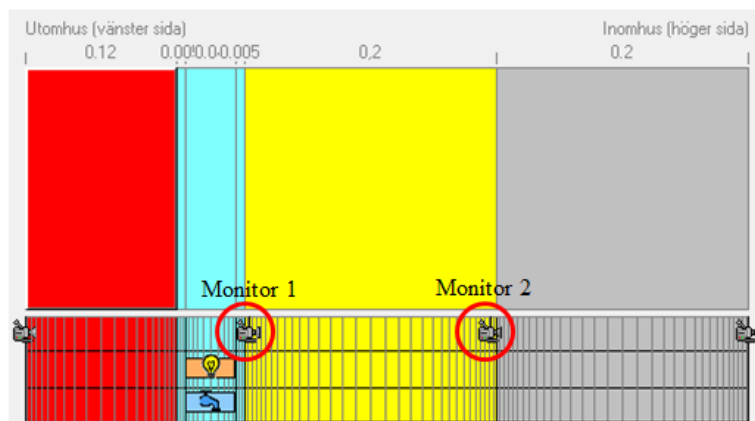
Nedan följer resultat från WUFI-simuleringar analyserade i verktyget M-modellen. Ytterväggskonstruktionerna har simulerats med tre olika inomhusklimat och olika kombinationer på invändiga uppbyggnader. Resultaten presenteras i tabeller som beskriver alla ingående parametrar som ligger till grund för simuleringarna och presenteras i ordningen referensfall, bastu och sist dusch med efterföljande robusthetsanalyser. Gällande bastu- och duschtabeller innehåller de alla olika kombinationer av den invändiga konstruktionen.

Alla tabeller presenteras i färgkod med nedanstående betydelse:

|                  |              |
|------------------|--------------|
| Rött = Hög risk  | ( $\geq 1$ ) |
| Gult = Risk      | (0,7-0,99)   |
| Grönt = Låg risk | (0-0,69)     |

Hög risk innebär att resultatet visar mycket trolig mögelpåväxt på trämaterialen gran, risk innebär att konstruktionen inte utan vidare kan accepteras utan att fler undersökningar görs då mögeltillväxt är möjligt. Låg risk innebär att konstruktionen kan godkännas ur fuktsynpunkt enligt de antaganden som ligger till underlag för simuleringarna och analysverktyget. Notera att gränsvärdena gäller för trämaterialen gran vilket inte normalt ska finnas i de nedanstående ytterväggskonstruktionerna men kan ändå ge en bra fingervisning på konstruktionernas tillstånd eftersom det kan finnas smuts eller organiskt material i konstruktionerna.

### 15.1 Betongstomme med tegelskalmur



Figur 37. Monitorernas placering i konstruktionen.



### 15.1.1 Referensfall (vardagsrum)

Först simuleras referensfallet genom att väggen får ett normalt inneklimat som ska motsvara ett vardagsrum i en bostad, resultatet presenteras enligt Tabell 10 och Tabell 11 nedan.

**Tabell 10.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Lund med normalt inomhusklimat för bostad.

| Analys i M-modellen | Lund |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|
|                     | N    | S    | Ö    | V    |
| Monitor 1           | 1,89 | 2,37 | 1,81 | 1,83 |
| Monitor 2           | 0,02 | 0,11 | 0,07 | 0,13 |

**Tabell 11.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Luleå med normalt inomhusklimat för bostad.

| Analys i M-modellen | Luleå |      |      |      |
|---------------------|-------|------|------|------|
|                     | N     | S    | Ö    | V    |
| Monitor 1           | 0,68  | 0,74 | 0,67 | 0,61 |
| Monitor 2           | 0,00  | 0,00 | 0,18 | 0,00 |

Resultaten visar att det finns stor risk för mögelpåväxt vid monitor 1 för eventuellt trämaterial i konstruktionen. Vid monitor 2 är däremot fuktförhållandena fullt acceptabla för trä.

Resultaten ser generellt lite sämre ut i Lund än i Luleå, detta beror på att klimatet i Luleå är lite kallare och lite torrare (se diagram av uteklimat kap 11.3). Notera även att resultaten ser olika ut för olika orienteringar, med söder som sämsta orientering utifrån fuktsynpunkt. Att söder är sämst orientering beror med största sannolikhet på att slagregnsintensiteten är som störst för yttervägg orienterad mot söder, det kan även bero på sommarkondensproblematik då konstruktionen har en tegelskalmur.

Vid monitor 2 ligger temperaturen relativt stabilt kring inomhustemperatur på 20°C medan vid monitor 1 fluktuerar temperaturen mellan ca 10-40 °C.

Vid analys av rådata visar programmet att fukten som ger upphov till problem vid monitor 1 i konstruktionen till viss del kommer från utomhusklimatet och till viss del från uttorkning av byggfukt i betongen. Tegelskalmuren suger åt sig av uteklimatets regn och fukt och under torrperioder torkar skalmuren dels utåt mot uteklimatet och dels inåt mot luftspalten och isoleringsskiktet. Vid närmare undersökning kan även sommarkondens ses i ytterväggen genom att studera vad som händer i den söderorienterade fasaden på sommaren efter att tegelskalmuren blivit extremt blöt och att solen sedan skiner på väggen. En omvänd fukttransport sker då från tegelskalmuren och in i isoleringsskiktet. Betongen bromsar dock de stora variationerna i konstruktionen och på grund av den ventilerade luftspalten bakom tegelskalmuren uppstår en fördröjning av fukttransporten, detta gör att sommarkondensen således är svårare att upptäcka.

För att göra konstruktionen acceptabel utifrån fuktsynpunkt även i Lund görs ett test på ökad luftomsättning i luftspalten. Ursprungsvärdet är 10 oms/h, detta värde höjs till 25 oms/h och 50 oms/h i Tabell 12 nedan.

**Tabell 12.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Lund med normalt inomhusklimat och olika mycket omsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund     |          |          |
|---------------------|----------|----------|----------|
|                     | Söder    |          |          |
|                     | 10 oms/h | 25 oms/h | 50 oms/h |
| Monitor 1           | 2,37     | 1,07     | 0,59     |
| Monitor 2           | 0,11     | 0,01     | 0,02     |

Resultatet visar att konstruktionen skulle behöva en högre luftomsättning i spalten för att kunna godkännas i Lund. En luftomsättning på 50 oms/h gör att risken för mögelpåväxt är låg vid både monitor 1 och monitor 2. Observera att 50 oms/h inte är så troligt bakom en tegelskalmur då undersökningar visar på väsentligt lägre luftomsättning enligt kapitel 9, Bild 9.

### 15.1.2 Bastu

För att undersöka hur ytterväggens insida bör se ut i bastufallet testas invändig luftspalt, plastfolie (bastufolie) och invändig isolering i olika kombinationer tillsammans med bastupanel enligt Tabell 13 och 14 nedan.

För simuleringar med bastu som inomhusklimat väljs endast orienteringarna norr och söder, då de ger högst värden i referensfallet. Vidare simuleras alla fyra orienteringarna sedan i en robusthetsanalys för aktuell yttervägg och uppbyggnad.

**Tabell 13.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Lund med bastuklimat.

| Analys i M-modellen | Lund                   |      |                         |      |                        |      |                         |      |                         |      |                         |      |                        |      |                         |      |
|---------------------|------------------------|------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|------|
|                     | Med invändig luftspalt |      |                         |      |                        |      |                         |      | Utan invändig luftspalt |      |                         |      |                        |      |                         |      |
|                     | Med plastfolie         |      |                         |      | Utan plastfolie        |      |                         |      | Med plastfolie          |      |                         |      | Utan plastfolie        |      |                         |      |
|                     | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering  |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      |
|                     | N                      | S    | N                       | S    | N                      | S    | N                       | S    | N                       | S    | N                       | S    | N                      | S    | N                       | S    |
| Monitor 1           | 0,75                   | 0,91 | 0,44                    | 0,44 | 0,82                   | 0,94 | 0,80                    | 0,93 | 0,58                    | 0,81 | 0,35                    | 0,37 | 0,76                   | 0,91 | 0,38                    | 0,38 |
| Monitor 2           | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |

**Tabell 14.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Luleå med bastuklimat.

| Analys i M-modellen | Luleå                  |      |                         |      |                        |      |                         |      |                         |      |                         |      |                        |      |                         |      |
|---------------------|------------------------|------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|------|
|                     | Med invändig luftspalt |      |                         |      |                        |      |                         |      | Utan invändig luftspalt |      |                         |      |                        |      |                         |      |
|                     | Med plastfolie         |      |                         |      | Utan plastfolie        |      |                         |      | Med plastfolie          |      |                         |      | Utan plastfolie        |      |                         |      |
|                     | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering  |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      |
|                     | N                      | S    | N                       | S    | N                      | S    | N                       | S    | N                       | S    | N                       | S    | N                      | S    | N                       | S    |
| Monitor 1           | 0,14                   | 0,15 | 0,14                    | 0,12 | 0,10                   | 0,12 | 0,16                    | 0,16 | 0,11                    | 0,14 | 0,05                    | 0,05 | 0,11                   | 0,14 | 2,79                    | 2,79 |
| Monitor 2           | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |

Det övergripande resultatet för bastu som inomhusklimat i aktuell yttervägg visar sig vara bättre än referensfallet. Detta beror på att bastuklimatet är varmare än ett vanligt vardagsrumsklimat, vilket gör att hela ytterväggen blir varmare och risken för kondensbildning i konstruktionen minskar.

I bastun observeras att tegelskalmurens fuktupptagning från slagregn spelar mindre roll än vad som syns i referensfallet. Även detta beror på den högre temperaturen i bastuväggen (där temperaturen ligger runt 80°C). I vardagsrum där temperaturen inomhus är 20°C konstant syns en mer tydlig temperatursänkning längre ut i konstruktionen och således spelar fuktupptagningen i teglet en mer betydande roll.

I enlighet med referensfallet visar resultaten att uteklimatet i Lund är något sämre än i Luleå utifrån fuktsynpunkt, precis som tidigare nämnts är detta på grund av att Lund är något blötare och varmare.

I samtliga fall visar det sig vara bättre utan isolering i bastukonstruktionen, detta är ett förväntat resultat då det innebär att hela ytterväggen blir varmare och således blir risken för kondens i väggen mindre.

Resultaten visar även att det är något bättre med plastfolie i bastukonstruktionen, vilket kan vara en följd av att folien hindrar fukten inifrån att ta sig ut i konstruktionens kallare delar. Plastfolien hindrar dock även byggfukten i betongen från att torka ut mot inomhusklimatet. Då plastfolien endast har en marginell betydelse för ytterväggskonstruktionen dras slutsatsen att byggfukten inte är en kritisk parameter. Orsaken till att byggfukten inte spelar så stor roll i ytterväggen är att fukten kan vandra genom mineralullsskiktet i en snabb process och sedan kan uttorkning av fukten ske genom att den ventileras bort mot luftspalten.

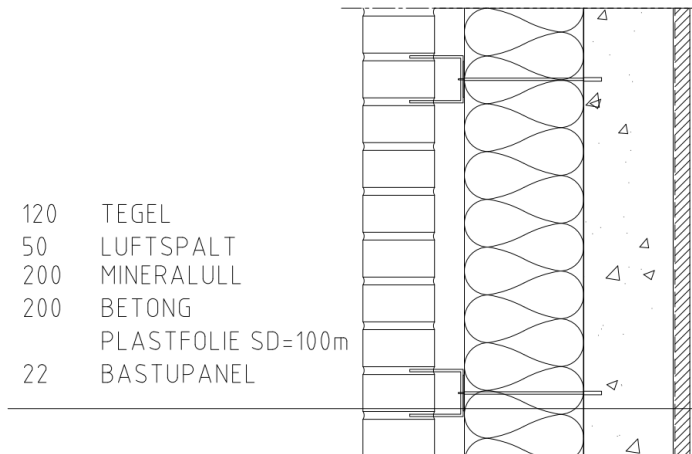
Det bästa resultatet utifrån fuktsynpunkt visar sig vara bastukonstruktionen utan luftspalt, med plastfolie och utan invändig mineralull, detta är således konstruktionen som väljs till vidare robusthetsanalys för att kontrollera känsligheten på konstruktionen.

Det ska dock observeras att det är relativt små skillnader mellan resultaten med eller utan invändig isolering och båda varianterna kan anses fungera bra ur fuktsynpunkt. Utifrån energisynpunkt bör bastun därför ändå isoleras.

Resultatet från bastukonstruktion utan luftspalt, utan plastfolie och utan mineralull i Luleå i monitor1 skiljer sig mycket från resten, då den visar oacceptabla fuktnivåer för trämaterial mot orienteringarna norr och söder. Detta indikerar på felaktiga simuleringsresultat varpå flera omsimuleringar och analyser har gjorts på fallet, detta till trots kvarstår de två avvikande resultaten. Beslutet har därför tagits att bortse från de två simuleringsresultaten som visas med lilafärg i Tabell 14.

### 15.1.3 Robusthetsanalys Bastu

En robusthetsanalys utförs på den, utifrån fuktsynpunkt, bästa konstruktionen med uppbyggnad enligt Figur 38. Syftet med robusthetsanalysen är att utvärdera den aktuella konstruktionen utifrån olika variabler för att kunna göra ett uttalande om hur konstruktionen ska byggas, utifrån simuleringar och beräkningar gjorda i denna rapport.



**Figur 38.** Uppbyggnad av vald bastuvägg med plastfolie och bastupanel mot yttervägg.

Konstruktionsuppbyggnaden kontrolleras i alla väderstreck och i båda monitorerna med resultat enligt Tabell 15 nedan.

**Tabell 15.** Resultat från simulering med aktuell bastukonstruktion i alla väderstreck.

| Analys i M-modellen | Lund                    |      |      |      |
|---------------------|-------------------------|------|------|------|
|                     | Utan invändig luftspalt |      |      |      |
|                     | Med plastfolie          |      |      |      |
|                     | Utan invändig isolering |      |      |      |
|                     | N                       | S    | Ö    | V    |
| Monitor 1           | 0,35                    | 0,37 | 0,34 | 0,35 |
| Monitor 2           | 0,00                    | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

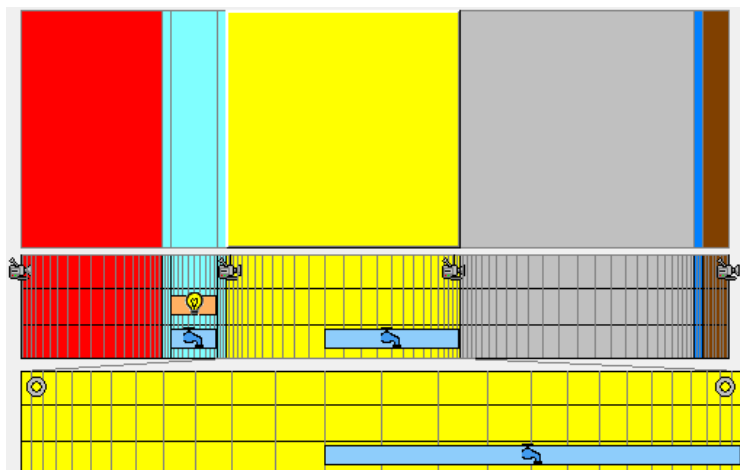
Dimensionerande orienteringar för aktuell bastukonstruktion är norr, söder och väster. Robusthetsanalysen görs endast på norr och söder för att vara konsekvent i simuleringssvalen.

Följande parametrar kontrolleras i analysen:

- Luftläckage inifrån genom plastfolien
- Byggfukt i betongen
- Luftomsättning i luftspalten
- Absorption av nederbörd i tegelskalmuren
- Skivfasad eller tegelskalmur

### 15.1.3.1 Luftläckage genom plastfolien

Konstruktionen testas med ett läckage i form av ett fuktkflöde som beräknas för aktuell konstruktion enligt kapitel 13. Läckaget är tänkt att motsvara en otäthet i konstruktionen som tar sig igenom både plastfolien och betongen vid en eventuell skarv. Fuktkflödet på grund av läckage läggs på kalla sidan av betongen i isoleringsskiktet enligt Figur 39.



Figur 39. Fuktälla i konstruktionen utbredd över halva isoleringsskiktet.

Fuktkällan breddas ut över halva isoleringstjockleken för att ta hänsyn till att fukten som tar sig in i konstruktionen inte stannar precis vid skarven.

Tabell 16. Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i bastu med olika luftläckage genom plastfolien.

| Analys i M-modellen | Lund                              |        |                                   |      |                                  |      |
|---------------------|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|------|----------------------------------|------|
|                     | läckage = 200 % passivhusstandard |        | läckage = 100 % passivhusstandard |      | läckage = 50 % passivhusstandard |      |
|                     | N                                 | S      | N                                 | S    | N                                | S    |
| Monitor 1           | 358,77                            | 282,37 | 1,96                              | 1,25 | 0,51                             | 0,56 |
| Monitor 2           | 0,00                              | 0,00   | 0,00                              | 0,00 | 0,00                             | 0,00 |

Resultaten visar att läckage större än passivhusstandard inte kan accepteras i konstruktionen då det innebär att fuktförhållandet i väggen blir kritiskt. Däremot kan läckage enligt 100 % av passivhuskravet i princip accepteras i konstruktionen. Trots att analys av simuleringarna visar hög risk för mögelpåväxt i monitor 1 så är siffervärdena relativt små och kan med stor sannolikhet godtas i konstruktionen utan trämaterial.

För att få helt godtagbara resultat med låg risk för mögelpåväxt i monitor 1 och 2, för trämaterial, kontrolleras en täthet på 50 % av passivhusstandard enligt FEBY12. Konstruktionen kan då godkännas och ett luftläckage mellan 50-100 % av täthetskravet för passivhus enligt FEBY12 är troligen acceptabelt.

### 15.1.3.2 Byggfukt i betongen

Konstruktionen testas med olika värden på byggfukt i betongen för att få reda på hur mycket byggfukt som kan tolereras för trämaterial vid monitor 1 och 2 i ytterväggen. Ursprungligt värde är  $100 \text{ kg/m}^3$ .

**Tabell 17.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i bastu med olika värden på byggfukt i betongen.

| Analys i M-modellen | Lund                  |      |                       |      |                       |      |                       |      |                       |      |
|---------------------|-----------------------|------|-----------------------|------|-----------------------|------|-----------------------|------|-----------------------|------|
|                     | 100 kg/m <sup>3</sup> |      | 110 kg/m <sup>3</sup> |      | 115 kg/m <sup>3</sup> |      | 120 kg/m <sup>3</sup> |      | 125 kg/m <sup>3</sup> |      |
|                     | N                     | S    | N                     | S    | N                     | S    | N                     | S    | N                     | S    |
| Monitor 1           | 0,35                  | 0,37 | 0,47                  | 0,53 | 1,75                  | 1,71 | 3,71                  | 3,71 | 5,25                  | 5,24 |
| Monitor 2           | 0,00                  | 0,00 | 0,00                  | 0,00 | 0,00                  | 0,00 | 0,00                  | 0,00 | 0,00                  | 0,00 |

Resultaten visar att konstruktionen inte tål mycket mer byggfukt än vad som är angett i ursprungsfallet. Vid  $110 \text{ kg/m}^3$  byggfukt i betongen föreligger låg risk för mögelpåväxt för trämaterial vid monitor 1, om byggfukten i betongen däremot höjs till  $115 \text{ kg/m}^3$  föreligger stor risk.

### 15.1.3.3 Luftomsättning i luftspalten

Enligt ursprungsfallet fungerar konstruktionen bra med 10 luftomsättningar per timme i den utvändiga luftspalten. För att få reda på en kritisk omsättning kontrolleras olika värden på luftomsättning i Tabell 18.

**Tabell 18.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i bastu med olika värden på luftomsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund     |      |         |      |         |      |               |      |
|---------------------|----------|------|---------|------|---------|------|---------------|------|
|                     | 10 oms/h |      | 5 oms/h |      | 2 oms/h |      | Ej ventilerad |      |
|                     | N        | S    | N       | S    | N       | S    | N             | S    |
| Monitor 1           | 0,35     | 0,37 | 0,43    | 0,43 | 0,68    | 1,40 | 1,86          | 2,57 |
| Monitor 2           | 0,00     | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00          | 0,00 |

Resultatet visar att luftomsättningen i spalten kan minskas något utan att kompromissa konstruktionen. Dock är det tydligt att en viss omsättning krävs för att kunna godkänna ytterväggen vid monitor 1 utifrån fuktsynpunkt och för trämaterial. Omsättningen i luftspalten bör vara högre än 2 oms/h.

### 15.1.3.4 Absorption av nederbörd i tegelskalmuren

En osäker parameter i simuleringarna är regnupptagningen i tegelskalmuren. Simuleringarna har gjorts med 70 % regnupptagning vilket innebär att 70 % av regnvattnet absorberas upp av tegelskalmuren och 30 % rinner bort. För att vara på säkra sidan kontrolleras även 90 % regnvattensabsorption i Tabell 19.

**Tabell 19.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i bastu med olika värden på regnabsorption i tegelskalmuren.

| Analys i M-modellen | Lund                     |      |                          |      |
|---------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|
|                     | 0,7 (70 % av slagregnet) |      | 0,9 (90 % av slagregnet) |      |
|                     | N                        | S    | N                        | S    |
| Monitor 1           | 0,35                     | 0,37 | 0,35                     | 0,38 |
| Monitor 2           | 0,00                     | 0,00 | 0,00                     | 0,00 |

Resultatet visar att regnabsorptionen inte spelar så stor roll då konstruktionen simuleras med bastuklimat. Absorption av nederbörd i teglet har en liten påverkan på konstruktionen. I monitor 1 kan endast små skillnader utläsas. Detta kan bero på att potentialen är maximal redan vid 70 % regnabsorption vad gäller fuktransport in i konstruktionen beroende på sommarkondens.

#### 15.1.3.5 Skivfasad eller tegelskalmur

För att studera inverkan av fasadsystemet ersätts tegelskalmuren och bakomliggande luftspalt med en skivfasad med något mindre bakomliggande luftspalt. Luftomsättningen bakom skivfasaden förväntas uppgå till ca 250 oms/h enligt kapitel 9.1.

**Matris 1.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) med tegelskalmur respektive skivfasad.

| Analys i M-modellen | Lund         |      |           |      |
|---------------------|--------------|------|-----------|------|
|                     | Tegelskalmur |      | Skivfasad |      |
|                     | N            | S    | N         | S    |
| Monitor 1           | 0,35         | 0,37 | 0,21      | 0,20 |
| Monitor 2           | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00 |

Skivfasaden uppvisar bättre resultat än tegelskalmuren utifrån fuktsynpunkt. Detta är ett förväntat resultat då skivan inte förväntas absorbera regnvatten och för att luftomsättningen bakom skivan är mycket större än bakom tegelskalmuren. Resultatet innebär att konstruktionen även kan rekommenderas med en annan typ av luftat fasadsystem.

#### 15.1.4 Dusch

I Tabell 20 och 21 visas resultat från simulering av ytterväggskonstruktionen med duschklimat. Sd-värdet på tätskiktet bakom kakelplattorna varierar mellan 20 m och 100 m.

**Tabell 20.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Lund och duschklimat.

| Analys i M-modellen | Lund     |      |          |      |
|---------------------|----------|------|----------|------|
|                     | sd= 20 m |      | sd=100 m |      |
|                     | N        | S    | N        | S    |
| Monitor 1           | 1,74     | 1,76 | 1,74     | 1,76 |
| Monitor 2           | 0,00     | 0,00 | 0,00     | 0,00 |

**Tabell 21.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i Luleå och duschklimat.

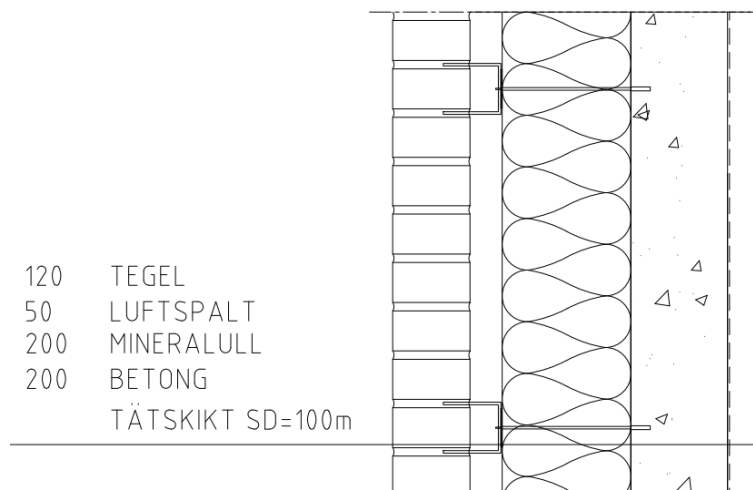
| Analys i M-modellen | Luleå    |      |          |      |
|---------------------|----------|------|----------|------|
|                     | sd= 20 m |      | sd=100 m |      |
|                     | N        | S    | N        | S    |
| Monitor 1           | 0,60     | 0,68 | 0,60     | 0,68 |
| Monitor 2           | 0,00     | 0,00 | 0,00     | 0,00 |

Resultaten visar att sd-värde 20 m eller 100 m på tätskiktet endast spelar en liten roll för de tre första simulerade åren. Den stora parametern visar sig vara utomhusklimatet. Konstruktionen uppvisar hög risk för mögelpåväxt på trämaterial vid monitor 1 i Lund medan Luleå fungerar bra vid både monitor 1 och monitor 2.

Det hade varit önskvärt att titta på hur fuktförhållandet i ytterväggen ser ut över en längre tid, exempelvis skulle en simulering över 30 år behöva göras. Tyvärr är det inte genomförbart då tidssteget måste hållas nere för att inte få balansproblem i beräkningarna. Utifrån erfarenheter som pekar på att tätheten är ytterst viktig över längre tidsperioder väljs ytterväggen med sd-värde 100 m och fördelarna med denna plastfolie antas visa sig vid längre simuleringstid.

### 15.1.5 Robusthetsanalys Dusch

En robusthetsanalys utförs på den, utifrån fuktsynpunkt, bästa konstruktionen med uppbyggnad enligt Figur 40 nedan.



Figur 40. Ytterväggskonstruktionens uppbyggnad för duschklimat.

Konstruktionsuppbyggnaden kontrolleras i alla väderstreck och i båda monitorerna med resultat enligt Tabell 22 nedan.

Tabell 22. Resultat från simulering med aktuell bastukonstruktion i alla väderstreck.

| Analys i M-modellen | Lund     |      |      |      |
|---------------------|----------|------|------|------|
|                     | sd=100 m |      |      |      |
|                     | N        | S    | Ö    | V    |
| Monitor 1           | 1,74     | 1,76 | 1,68 | 1,71 |
| Monitor 2           | 0,00     | 0,00 | 0,00 | 0,00 |



Utifrån simuleringarna med alla väderstreck väljs de orienteringarna som uppvisar högst riskvärden, därför utförs robusthetsanalysen på orienteringarna norr och söder.

Följande parametrar kontrolleras i analysen:

- Luftomsättning i luftspalten
- Byggfukt i betongen
- Absorption av nederbörd i tegelskalmuren
- Skivfasad eller tegelskalmur

#### 15.1.5.1 Luftomsättning i luftspalten

Enligt ursprungsfallet är det risk för mögelpåväxt på trämaterial vid monitor 1 om den utvändiga luftspalten ventileras med 10 oms/h. För att få reda på en kritisk omsättning kontrolleras högre värden på luftomsättning i Tabell 23.

**Tabell 23.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i dusch med olika värden på luftomsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund     |      |          |      |          |      |
|---------------------|----------|------|----------|------|----------|------|
|                     | 10 oms/h |      | 30 oms/h |      | 50 oms/h |      |
|                     | N        | S    | N        | S    | N        | S    |
| Monitor 1           | 1,74     | 1,76 | 0,85     | 0,78 | 0,54     | 0,54 |
| Monitor 2           | 0,00     | 0,00 | 0,00     | 0,00 | 0,00     | 0,00 |

Resultatet visar att luftomsättningen är en mycket känslig parameter som har betydelse framför allt vid monitor 1, närmast luftspalten. Med realistisk luftomsättning i luftspalten är det hög risk för mögelpåväxt vid monitor 1. Då omsättningen höjs till 30 oms/h är det fortfarande risk för mögelpåväxt men ej längre hög risk. Vid 50 oms/h föreligger låg risk för mögelpåväxt i trämaterial i isoleringsskiktet. En luftomsättning på 50 oms/h är dock inte rimlig enligt kapitel 9, Bild 9.

#### 15.1.5.2 Byggfukt i betongen

Konstruktionen testas med olika värden på byggfukt i betongen för att få reda på hur mycket byggfukten måste minskas för att kunna tolerera resultatet för trämaterial vid monitor 1 och 2 i ytterväggen. Ursprungligt värde är 100 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabell 24.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i dusch med olika värden på byggfukt i betongen.

| Analys i M-modellen | Lund                  |      |                      |      |                      |      |                      |      |
|---------------------|-----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|
|                     | 100 kg/m <sup>3</sup> |      | 80 kg/m <sup>3</sup> |      | 50 kg/m <sup>3</sup> |      | 25 kg/m <sup>3</sup> |      |
|                     | N                     | S    | N                    | S    | N                    | S    | N                    | S    |
| Monitor 1           | 1,74                  | 1,76 | 1,43                 | 1,57 | 1,17                 | 1,15 | 0,94                 | 0,96 |
| Monitor 2           | 0,00                  | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 |

Resultaten visar att byggfuktens storlek har betydelse för fuktillståndet i monitor 1. Det är dock nödvändigt att minska byggfukten avsevärt för att kunna se en förbättring i monitor 1. Då det initiala fuktinnehållet är en fjärdedel av det ursprungliga värdet är monitor 1 fortfarande i risk.

### 15.1.5.3 Absorption av nederbörd i tegelskalmuren

Ursprungsvärde för fuktupptagning i tegelskalmuren är 70 % av regnvattnet. För att vara på säkra sidan kontrolleras även 90 % regnvattensabsorption i Tabell 25.

**Tabell 25.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i dusch med olika värden på regnabsorption i tegelskalmuren.

| Analys i M-modellen | Lund                     |      |                          |      |
|---------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|
|                     | 0,7 (70 % av slagregnet) |      | 0,9 (90 % av slagregnet) |      |
|                     | N                        | S    | N                        | S    |
| Monitor 1           | 1,74                     | 1,76 | 1,75                     | 1,87 |
| Monitor 2           | 0,00                     | 0,00 | 0,00                     | 0,00 |

Resultatet visar att regnabsorptionen inte spelar så stor roll då konstruktionen simuleras med duschklimat. Söderfasaden uppvisar en liten märkbar försämring då tegelskalmuren absorberar 90 % regnvatten.

### 15.1.5.4 Skivfasad eller tegelfasad

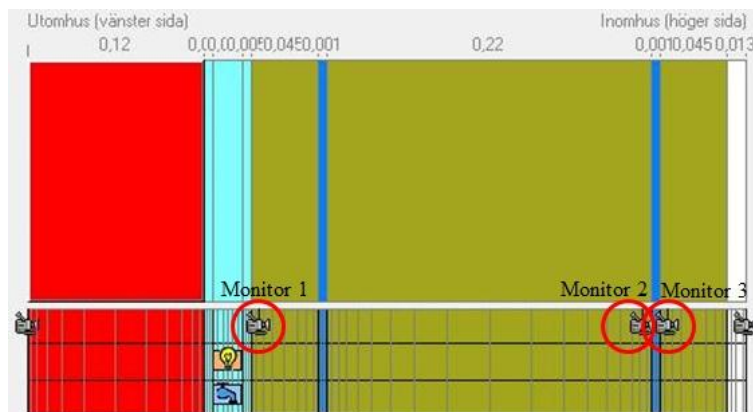
För att studera inverkan av fasadsystemet ersätts tegelskalmuren med ett skivfasadsystem med indata enligt kapitel 10.1.1. Luftomsättningen bakom skivfasaden sätts till 250 oms/h.

**Tabell 26.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med tegelskalmur) i dusch med tegelskalmur respektive skivfasad.

| Analys i M-modellen | Lund         |      |           |      |
|---------------------|--------------|------|-----------|------|
|                     | Tegelskalmur |      | Skivfasad |      |
|                     | N            | S    | N         | S    |
| Monitor 1           | 1,74         | 1,76 | 0,44      | 0,36 |
| Monitor 2           | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00 |

Resultaten visar att skivfasadsystemet är bättre än tegelskalmuren utifrån fuktsynpunkt. I enlighet med bastufallet är detta ett förväntat resultat då skivan inte förväntas absorbera regnvatten och för att luftomsättningen bakom skivan är mycket större än bakom tegelskalmuren. Resultatet innebär att konstruktionen även kan rekommenderas med en annan typ av luftat fasadsystem.

## 15.2 Regelstomme med tegelskalmur



Figur 41. Monitoreernas placering i konstruktionen.

### 15.2.1 Referensfall (vardagsrum)

Ytterväggskonstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” simuleras och analyseras för referensfallet genom att väggen får ett normalt inneklimate som ska motsvara ett vardagsrum i en bostad, resultatet presenteras enligt Tabell 27 och 28 nedan.

Tabell 27. Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) i Lund med normalt inomhusklimat för bostad.

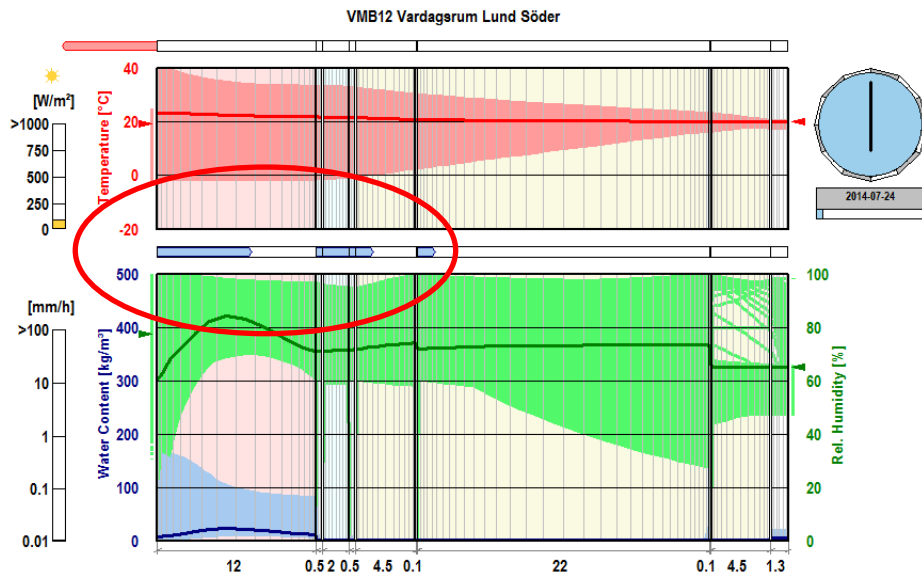
| Analys i M-modellen | Lund |       |      |       |
|---------------------|------|-------|------|-------|
|                     | N    | S     | Ö    | V     |
| Monitor 1           | 2,17 | 4,38  | 2,02 | 1,64  |
| Monitor 2           | 3,46 | 26,75 | 9,28 | 14,32 |
| Monitor 3           | 0,38 | 0,38  | 0,38 | 0,38  |

Tabell 28. Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) i Luleå med normalt inomhusklimat för bostad.

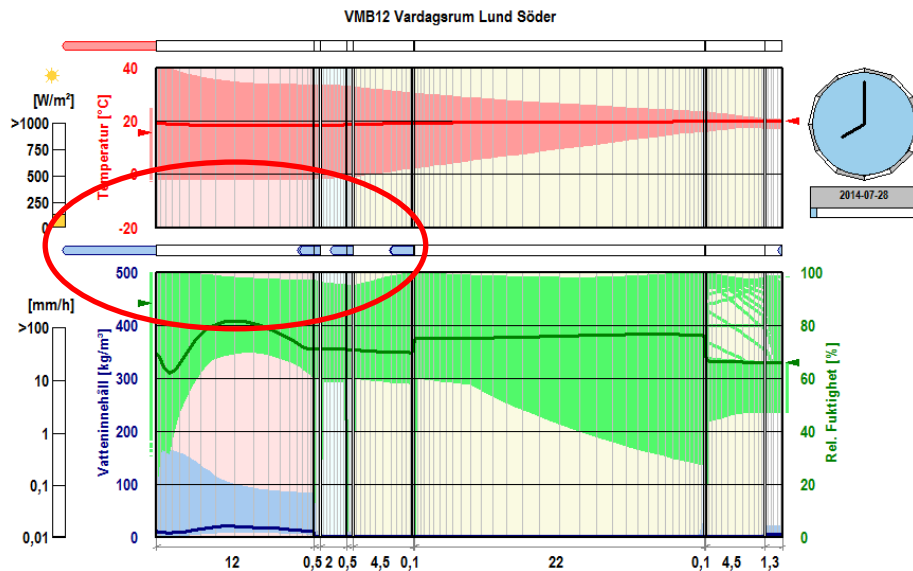
| Analys i M-modellen | Luleå |      |       |      |
|---------------------|-------|------|-------|------|
|                     | N     | S    | Ö     | V    |
| Monitor 1           | 0,93  | 0,98 | 1,4   | 0,79 |
| Monitor 2           | 0,26  | 1,01 | 23,71 | 1,01 |
| Monitor 3           | 0,21  | 0,21 | 0,21  | 0,21 |

Resultaten för aktuell yttervägg visar att väggen inte kan rekommenderas i referensfallet, konstruktionen löper stor risk för mögeltillväxt i monitor 1 och 2 om trämaterial finns i dessa positioner i konstruktionen vid valda förutsättningar. Just i den här väggen är det möjligt att ha trämaterial i form av träreglar vid monitor 2 och 3, vilket gör att höga riskvärden från M-modellen i dessa monitorer inte är acceptabla.

Vid analys av rådata från programmet kan utläsas att risken för mögeltillväxt till stor del beror på sommarkondens. Tegelskalmuren suger upp fukt och regn i utomhusluften under blöta perioder och när solen sedan skiner på tegelskalmuren vandrar fukten in i väggen, med en viss förskjutning på grund av luftspalten. Förskjutningen är på ett par timmar vilket gör att den största fukttransporten in i väggen är under tidig kväll. I Figur 42 och 43 visas fuktvandringen in och ut i konstruktionen.



Figur 42. Fuktvandring in i väggen på grund av sommarkondens. Datum 24 juli 2014 klockan 18.



Figur 43. Fuktvandring ut ur väggen på grund av sommarkondens. Datum 26 juli 2014 klockan 8.

Utifrån resultaten kan även utläsas att det finns stora skillnader mellan Lund och Luleå, i Luleå löper konstruktionen mindre risk att drabbas av mögel. Detta beror på att klimatet i Luleå är kallare och torrare vilket bland annat medför att konstruktionen löper mindre risk att drabbas av sommarkondens.

För att analysera hur stor påverkan omsättningen i luftspalten har för problematiken med sommarkondens och för att skapa en acceptabel referens-konstruktion kontrolleras olika luftomsättningar för det värsta fallet av Tabell 27 och 28, Lund i söder. Ursprungsvärdet på omsättningen är på 10 oms/h och detta värde höjs stegvis. Resultatet redovisas i Tabell 29.

**Tabell 29.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika värden på luftomsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund     |          |          |          |           |           |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
|                     | Söder    |          |          |          |           |           |
|                     | 10 oms/h | 25 oms/h | 50 oms/h | 75 oms/h | 100 oms/h | 250 oms/h |
| Monitor 1           | 4,38     | 2,36     | 1,10     | 0,77     | 0,67      | 0,92      |
| Monitor 2           | 26,75    | 1,86     | 0,28     | 0,32     | 0,31      | 0,20      |
| Monitor 3           | 0,38     | 0,50     | 0,67     | 0,54     | 0,42      | 0,49      |

Resultatet visar att när luftomsättningen i luftspalten ökar minskar sommarkondensen i konstruktionen, detta medför att risken för mögeltillväxt i monitor 1 och 2 minskar.

Vid analys av rådata från programmet kan det utläsas att temperaturen sjunker i konstruktionen när luftomsättningen ökas vilket gör att vid en viss luftomsättning kan luften inte föra bort mer fukt utan den då endast kyler ner konstruktionen ytterligare. Detta medför att risken för mögel ökar igen då mätnadsånghalten minskar.

Den luftomsättning som i referensfallet skulle rekommenderas är 100 oms/h. Dock finns det idag inga mätningar bakom tegelskalmur som tyder på att en sådan hög luftomsättning är möjlig enligt kapitel 9, Bild 9.

Resultaten av referensfallet visar även vilka väderstreck som löper störst risk att drabbas av mögeltillväxt på trä i den här konstruktionen. I Lund finns det hög risk för mögeltillväxt i alla väderstreck men störst risk finns i söder. I Luleå är det söder och öst som har störst risk. Trots detta resultat sker vidare simuleringar i bastu- och duschfallet i söder och norr för att vara konsekvent i simuleringsvalen. Vidare simuleras alla fyra orienteringarna i en robusthetsanalys för aktuell yttervägg och uppbyggnad.

### 15.2.2 Bastu

Ytterväggskonstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” är en lätt konstruktion som i bastufallet har snabba fuktrörelser. På grund av dessa snabba fuktrörelser har tidsteget i beräkningarna dragits ner till 36 sekunder i 3 år, dock räcker inte detta för att skapa en acceptabel balans. Procentuellt hamnar balansen mellan 0-30%. Resultaten analyseras och redovisas trots detta men dess exakthet kan ifrågasättas.

För att undersöka hur ytterväggens insida bör se ut i bastufallet testas invändig luftspalt, plastfolie (bastufolie) och invändig isolering i olika kombinationer tillsammans med bastupanel enligt Tabell 30 och 31 nedan. Ytterväggskonstruktionen simuleras och analyseras för att undersöka vilka av dessa skikt som påverkar väggen positivt och negativt.

Den här ytterväggskonstruktionen simuleras i vissa fall med dubbla tätskikt då det redan finns ett tätskikt i standardytterväggsuppbyggnaden. Ett sådant scenario är inte omöjligt då bastun och bastuväggarna kan byggas till efter ytterväggarnas uppförande.

**Tabell 30. Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) i Lund med bastuklimat.**

| Analys i M-modellen | Lund                      |      |                         |      |  |      |                         |      |                           |      |                         |      |  |      |                         |      |
|---------------------|---------------------------|------|-------------------------|------|--|------|-------------------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|--|------|-------------------------|------|
|                     | Med invändig luftspalt    |      |                         |      |  |      |                         |      | Utan invändig luftspalt   |      |                         |      |  |      |                         |      |
|                     | Plastfolie befintlig vägg |      |                         |      | Plastfolie befintlig vägg + plastfolie bastuvägg |      |                         |      | Plastfolie befintlig vägg |      |                         |      | Plastfolie befintlig vägg + plastfolie bastuvägg |      |                         |      |
|                     | Med invändig isolering    |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering                           |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering    |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering                           |      | Utan invändig isolering |      |
|                     | N                         | S    | N                       | S    | N  | S    | N                       | S    | N                         | S    | N                       | S    | N  | S    | N                       | S    |
| Monitor 1           | 0,53                      | 0,74 | 0,32                    | 0,56 | 0,48   | 0,68 | 0,31                    | 0,56 | 0,50                      | 0,71 | 0,68                    | 0,86 | 0,49   | 0,70 | 0,30                    | 0,54 |
| Monitor 2           | 0,00                      | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                      | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,01                      | 0,01 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                      | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |

**Tabell 31. Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) i Luleå med bastuklimat.**

| Analys i M-modellen | Luleå                     |      |                         |      |  |      |                         |      |                           |      |                         |      |  |      |                         |      |
|---------------------|---------------------------|------|-------------------------|------|--|------|-------------------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|--|------|-------------------------|------|
|                     | Med invändig luftspalt    |      |                         |      |  |      |                         |      | Utan invändig luftspalt   |      |                         |      |  |      |                         |      |
|                     | Plastfolie befintlig vägg |      |                         |      | Plastfolie befintlig vägg + plastfolie bastuvägg |      |                         |      | Plastfolie befintlig vägg |      |                         |      | Plastfolie befintlig vägg + plastfolie bastuvägg |      |                         |      |
|                     | Med invändig isolering    |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering                           |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering    |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering                           |      | Utan invändig isolering |      |
|                     | N                         | S    | N                       | S    | N  | S    | N                       | S    | N                         | S    | N                       | S    | N  | S    | N                       | S    |
| Monitor 1           | 0,11                      | 0,26 | 0,05                    | 0,18 | 0,09   | 0,23 | 0,05                    | 0,18 | 0,10                      | 0,24 | 0,05                    | 0,16 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |
| Monitor 2           | 0,00                      | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                      | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,01                      | 0,01 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,21                      | 0,21 | 0,00                    | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |

Resultaten visar tydliga skillnader mot referensfallet vilket var väntat då temperaturen i bastun är betydligt högre än i referensfallet. Skillnader mellan Lund och Luleå syns också tydligt. Konstruktionerna i Lund får risk för mögeltillväxt medan konstruktionerna i Luleå endast får låg risk.

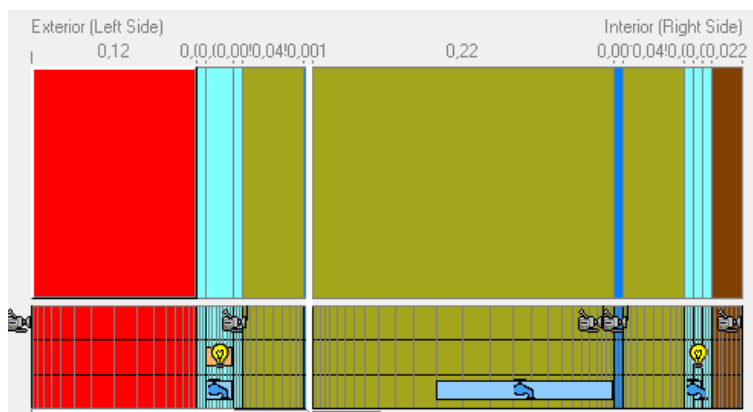
I tabellen för Lund kan utläsas att den invändiga luftspalten har betydelse och en konstruktion med invändig luftspalt löper mindre risk för mögeltillväxt. Det går även att utläsa att plastfolien påverkar och förbättrar den helt täta konstruktionen. Ytterväggen simuleras dock i dessa fall med dubbla tätskikt vilket bör undersökas lite närmare innan dessa väljs och godkänns.

Den extra invändiga isoleringen ger en konstruktion med större risk för mögelangrepp med avseende på fukt. Så när endast fuktaspekten kontrolleras väljs en konstruktion utan den invändiga isoleringen för vidare analyser. Skulle energibehovet värderas in i valet hade troligen en konstruktion med den invändiga isoleringen valts, dock är detta inget som kontrolleras i denna rapport.

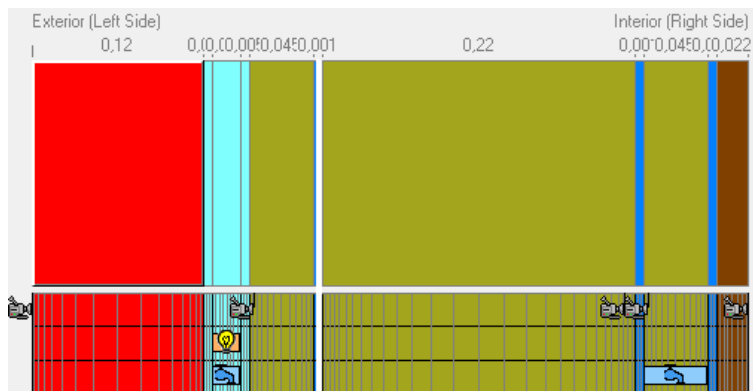
Då det finns konstruktioner med dubbla tätskikt i de här tabellerna väljs två konstruktioner, den säkraste konstruktionen med dubbla tätskikt och den säkraste konstruktionen utan dubbla tätskikt, för vidare analyser.

- Ett tätskikt – med invändig luftspalt, plastfolie befintlig vägg, utan invändig isolering
- Dubbla tätskikt – utan invändig luftspalt, plastfolie befintlig vägg + plastfolie bastuvägg, utan invändig isolering

Dessa två konstruktioner simuleras och analyseras ytterligare för att komma fram till en vilken av konstruktionerna som är bäst utifrån fuktsynpunkt. Konstruktionerna simuleras med ett luftläckage i det innersta tätskiktet. Detta placeras som en fuktkälla på den kalla sidan av den innersta plastfolien enligt Figur 44 och 45. Luftläckaget är beräknat enligt kapitel 13.



**Figur 44.** Bild från WUFI som visar luftläckaget genom plastfoliens placering i väggen med ett tätskikt.



**Figur 45.** Bild från WUFI som visar luftläckaget genom plastfoliens placering i väggen med dubbla tätskikt.

Då isoleringsskiktens tjocklek varierar bakom den innersta plastfolien i dessa två konstruktioner har 50 % av isoleringstjockleken valt i konstruktionen med ett tätskikt medan 100 % av isoleringstjockleken har valts i konstruktionen med dubbla tätskikt. 50 % har valts för att illustrera att fukten sprids ut i isoleringsskiktet och inte stannar precis vid skarven. I konstruktionen med dubbla tätskikt valdes 100 % då det är en tunn isolering som vid luftläckage kommer att bli helt fuktig.

**Tabell 32.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med 100 % av passivhuskravet på  $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$  som luftläckage genom plastfolien.

| Analys i M-modellen | Lund         |                 |
|---------------------|--------------|-----------------|
|                     | Söder        |                 |
|                     | Ett tätskikt | Dubbla tätskikt |
| Monitor 1           | 17,57        | 0,62            |
| Monitor 2           | 8,79         | 0,00            |
| Monitor 3           | 0,00         | 1 087,52        |

I väggen med ett tätskikt, invändig luftspalt, plastfolie i befintlig vägg men utan invändig isolering, är risken hög för mögeltillväxt vid monitor 1 och 2 medan det i väggen med dubbla tätskikt, ej luftspalt, plastfolie i bastuvägg och befintlig vägg men utan invändig isolering, är en mycket hög risk vid monitor tre. Att risken blir större i konstruktionen med två täta skikt beror på att fukten stängs in mellan skikten och inte kan förflytta sig i konstruktionen. I den andra konstruktionen kan fukten vandra ut i konstruktionen och ventileras eller dräneras bort av luftspalten.

För att kontrollera hur stor påverkan luftomsättningen i den utvändiga luftspalten har på konstruktionen simuleras de två ytterväggskonstruktionerna med fuktkälla med en luftomsättning på 100 oms/h istället för ursprungsfallet på 10 oms/h.

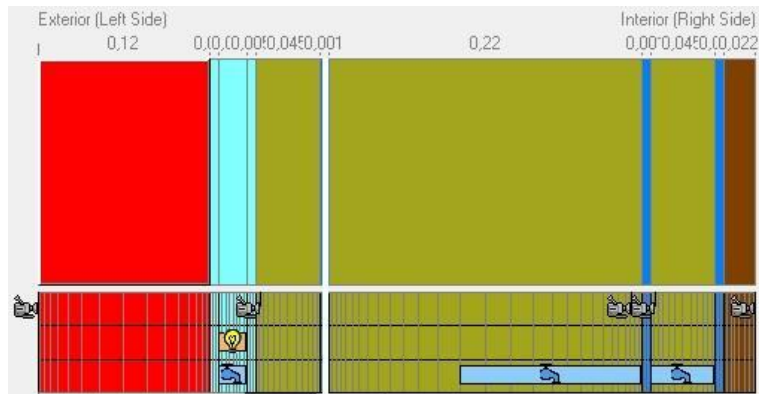
**Tabell 33.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med fuktkälla och olika värden på luftomsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund         |                 |              |                 |
|---------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
|                     | Söder        |                 |              |                 |
|                     | 10 oms/h     |                 | 100 oms/h    |                 |
|                     | Ett tätskikt | Dubbla tätskikt | Ett tätskikt | Dubbla tätskikt |
| Monitor 1           | 17,57        | 0,62            | 1,05         | 0,03            |
| Monitor 2           | 8,79         | 0,00            | 6,09         | 0,00            |
| Monitor 3           | 0,00         | 1087,52         | 0,00         | 1087,48         |

När luftomsättningen i luftspalten ökas till 100 oms/h, samma omsättning som gjorde referensväggen helt grön, kan skillnader utläsas. Väggen med dubbla tätskikt har en mindre förändring än väggen med endast ett tätskikt. Det beror på att luftomsättningen i luftspalten påverkar konstruktionen hela vägen in till yttersta tätskiktet. I konstruktionen med ett tätskikt är det yttersta tätskiktet med fuktkällan vilket gör att fukten som läcker igenom tätskiktet ventileras bort. I konstruktionen med dubbla tätskikt kan inte omsättningarna i luftspalten påverka bortförsl av fukt mellan tätskikten.

För att välja den bästa av dessa två konstruktioner ur fuktsynpunkt genomförs en kontroll till. Konstruktionen med dubbla tätskikt simuleras och analysers med läckage genom båda tätskikten, enligt Figur 46.





Figur 46. Bild från WUFI som visar placeringen av luftläckage genom båda plastfolierna.

Den andra fuktkällan placeras då på samma sätt som fuktkällan i konstruktionen med ett tätskikt, 50 % av isoleringsskiktet.

Tabell 34. Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika luftläckage genom plastfolien i förhållande till passivhuskravet på  $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ .

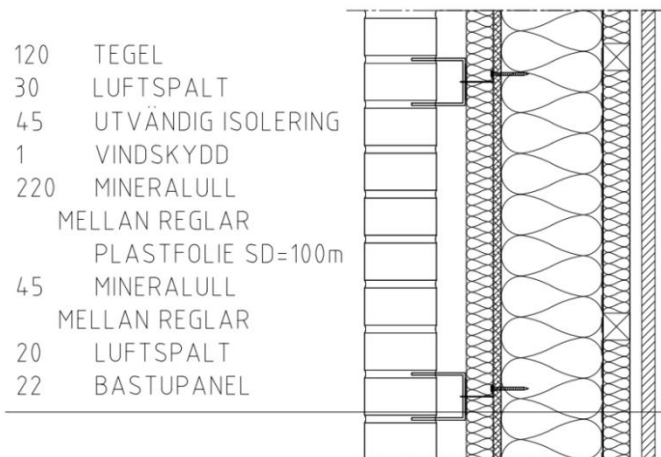
| Analys i M-modellen | Lund            |                             |                               |
|---------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                     | Söder           |                             |                               |
|                     | Enkelt tätskikt | Dubbla tätskikt             |                               |
|                     | Ett läckage     | Ett luftläckage plastfolien | Två luftläckage plastfolierna |
| Monitor 1           | 17,57           | 0,62                        | 17,69                         |
| Monitor 2           | 8,79            | 0,00                        | 8,93                          |
| Monitor 3           | 0,00            | 1 087,52                    | 1088,06                       |

Det framgår då tydligt att konstruktionen med dubbla tätskikt är en känsligare konstruktion då tätskikten hindrar fukten från att torka ut. Skulle en helt tät konstruktion kunna garanteras så är det ett sätt att bygga men kan läckage uppkomma, vilket det alltid kan, kan konstruktionen inte rekommenderas.

Utifrån dessa analyser kan slutsatsen dras att väggen med invändig luftspalt, plastfolie endast i befintlig vägg men utan invändig isolering är den bästa konstruktionen utifrån fuktsynpunkt och dess robusthet kontrolleras vidare.

### 15.2.3 Robusthetsanalys - Bastu

En robusthetsanalys utförs på den, utifrån fuktsynpunkt, bästa konstruktionen med uppbyggnad enligt Figur 47. Syftet med robusthetsanalysen är att utvärdera den aktuella konstruktionen utifrån olika variabler för att kunna göra ett uttalande om hur konstruktionen ska byggas, utifrån simuleringar och beräkningar gjorda i denna rapport.



**Figur 47.** Den bästa ytterväggskonstruktionens uppbyggnad utifrån fuktsynpunkt och tidigare analyser.

Konstruktionsuppbyggnad kontrolleras i alla väderstreck och i båda monitorerna med resultat enligt Tabell 35 nedan.

**Tabell 35.** Resultat från simulering med aktuell bastukonstruktion i alla väderstreck i Lund.

| Analys i M-modellen | Lund                      |      |      |      |
|---------------------|---------------------------|------|------|------|
|                     | Med invändig luftspalt    |      |      |      |
|                     | Plastfolie befintlig vägg |      |      |      |
|                     | Utan invändig isolering   |      |      |      |
|                     | N                         | S    | Ö    | V    |
| Monitor 1           | 0,32                      | 0,56 | 0,40 | 0,38 |
| Monitor 2           | 0,00                      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00                      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Robustanalysen görs endast för söder och öster, då dessa orienteringar är dimensionerande i bastufallet.

Följande parametrar kontrolleras i analysen:

- Luftläckage inifrån genom plastfolien
- Luftomsättning i utvändiga luftspalten
- Luftomsättning i invändiga luftspalten
- Absorption av nederbörd i tegelskalmuren
- Skivfasad eller tegelskalmur
- Nedbruten plastfolie
- Plastfolie placering

### 15.2.3.1 Luftläckage genom plastfolien

Konstruktionens känslighet mot luftläckage har i viss mån redan kontrollerats då konstruktionen analyserades i jämförelse med ytterväggskonstruktionen med dubbla tätskikt. Konstruktionens robusthet kontrolleras trots detta ytterligare genom att undersöka hur stort luftläckage konstruktionen skulle klara för att endast få låg risk att drabbas av mögel i någon monitor. Luftläckaget är även här i form av ett fuktflöde som beräknas för aktuell konstruktion enligt kapitel 13 och placeras på den kalla sidan av isoleringsskiktet precis som tidigare i Figur 44.

**Tabell 36.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika luftläckage genom plastfolien i förhållande till passivhuskravet på  $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ .

| Analys i M-modellen | Lund                              |       |                                   |       |                                  |      |
|---------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|------|
|                     | läckage = 200 % passivhusstandard |       | läckage = 100 % passivhusstandard |       | läckage = 50 % passivhusstandard |      |
|                     | S                                 | Ö     | S                                 | Ö     | S                                | Ö    |
| Monitor 1           | 17,57                             | 12,55 | 11,80                             | 10,75 | 0,99                             | 0,88 |
| Monitor 2           | 8,79                              | 10,07 | 0,00                              | 0,00  | 0,00                             | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00                              | 0,00  | 0,00                              | 0,00  | 0,00                             | 0,00 |

Resultat visar att läckage större än passivhusstandard inte kan accepteras i konstruktionen då det innebär att fuktförhållandet i väggen blir kritiskt. Läckage enligt 100 % av passivhuskravet blir bättre och i monitor 2 är det där ingen risk för mögeltillväxt.

För att få helt godtagbara resultat med låg risk för mögelpåväxt i monitor 1 och 2, för trämaterial, måste konstruktionen utformas helt tät eller i stort sätt helt tät då inte ens halva lufttäthetskravet för passivhus fungerar.

### 15.2.3.2 Luftomsättning i utvändiga luftspalten

I ursprungsfallet simuleras den här konstruktionen med en luftomsättning på 10 oms/h men då luftomsättningen i luftspalten är svår att förutse minskas luftomsättningen för att undersöka den kritiska omsättningen för just den här konstruktionen i Tabell 37.

**Tabell 37.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika värden på luftomsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund     |      |         |      |         |      |
|---------------------|----------|------|---------|------|---------|------|
|                     | 10 oms/h |      | 5 oms/h |      | 0 oms/h |      |
|                     | S        | Ö    | S       | Ö    | S       | Ö    |
| Monitor 1           | 0,56     | 0,40 | 0,93    | 0,70 | 2,13    | 1,58 |
| Monitor 2           | 0,00     | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00    | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00     | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00    | 0,00 |

Bastukonstruktionen får risk för mögeltillväxt när luftomsättningen minskas till 5 oms/h. Då ventilationen bakom tegelskalmuren är svår att fastställa kontrolleras även en ej ventilerad luftspalt. Ytterväggen får då hög risk för mögeltillväxt.

Utifrån dessa resultat kan konstateras att bastukonstruktionens luftomsättning bör vara 10 oms/h vilket kan vara svårt att garantera i en konstruktion med tegelskalmur enligt kapitel 9 Bild 9 om inte en spaltbredd på 50 mm erhålls.

### 15.2.3.3 Utan omsättning i den invändiga luftspalten

I ursprungsfallet ventileras den invändiga luftspalten med 5 oms/h men då luftomsättningen i luftspalten är svår att förutse simuleras även konstruktionen utan luftomsättning för att kontrollera dess påverkan.

**Tabell 38.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med och utan luftomsättning i den invändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund    |      |         |      |
|---------------------|---------|------|---------|------|
|                     | 5 oms/h |      | 0 oms/h |      |
|                     | S       | Ö    | S       | Ö    |
| Monitor 1           | 0,56    | 0,40 | 0,56    | 0,40 |
| Monitor 2           | 0,00    | 0,00 | 0,00    | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00    | 0,00 | 0,00    | 0,00 |

Resultatet från den här kontrollen visar att luftomsättningen i den invändiga luftspalten har en liten påverkan på konstruktionen. En situation med vardagsrumsluft i luftspalten kanske hade gjort saken bättre men undersöks inte närmare i denna rapport.

### 15.2.3.4 Absorption av nederbörd i tegelskalmuren

Tegel är ett material med en stor fuktupptagande förmåga vilket gör att parametern är osäker. Simuleringarna har utförts med 70 % fuktupptagning vilket innebär att 70 % av slagregnet absorberas av tegelskalmuren och 30 % rinner bort. För att vara på säkra sidan och för att undersöka hur stor påverkan fuktupptagningen har på konstruktionen simuleras konstruktionen även med 90 % regnvattenabsorption. Resultatet redovisas i Tabell 39.

**Tabell 39.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika värden på fuktupptagning i tegelskalmuren.

| Analys i M-modellen | Lund                     |      |                          |      |
|---------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|
|                     | 0,7 (70 % av slagregnet) |      | 0,9 (90 % av slagregnet) |      |
|                     | S                        | Ö    | S                        | Ö    |
| Monitor 1           | 0,56                     | 0,40 | 0,74                     | 0,41 |
| Monitor 2           | 0,00                     | 0,00 | 0,00                     | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00                     | 0,00 | 0,00                     | 0,00 |

Absorption av nederbörd i teglet har en liten påverkan på konstruktionen. I monitor 1 kan endast små skillnader utläsas. Detta kan bero på att potentialen är maximal redan vid 70 % regnabsorption vad gäller fukttransport in i konstruktionen beroende på sommarkondens.

### 15.2.3.5 Skivfasad eller tegelskalmur

Tegelskalmuren med bakomliggande luftspalt som fasadmateriale ger konstruktionen en stor fuktbelastning genom sin absorption av nederbörd. För att kontrollera hur stor påverkan fasadmaterialet har på konstruktionen undersöks skivfasad med en något mindre bakomliggande luftspalt istället. Luftomsättningen bakom skivfasaden förväntas uppgå till ca 250 oms/h till skillnad från tegelskalmurens 10 oms/h.

**Tabell 40.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med annat fasadmateriäl.

| Analys i M-modellen | Lund         |      |           |      |
|---------------------|--------------|------|-----------|------|
|                     | Tegelskalmur |      | Skivfasad |      |
|                     | S            | Ö    | S         | Ö    |
| Monitor 1           | 0,56         | 0,40 | 0,11      | 0,11 |
| Monitor 2           | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00 |

Resultaten visar att skivfasadssystemet är bättre än tegelskalmuren utifrån fuktsynpunkt. Detta är ett förväntat resultat då skivan inte förväntas absorbera regnvatten och för att luftomsättningen bakom skivan är mycket större än bakom tegelskalmuren. Resultatet innebär att konstruktionen även kan rekommenderas med en annan typ av luftat fasadsystem.

### 15.2.3.6 Nedbruten plastfolie

I en bastu är klimatet extra utsatt på grund av den höga temperaturen. Plastfolier som inte är speciellt framtagna för bastuklimat och som placeras mot insidan eller nära insidan skulle kunna påverkas så att dess funktion nedsätts. För att se hur konstruktionen står sig om detta skulle hända genomförs en kontroll utan plastfolie i den befintliga väggen.

**Tabell 41.** Resultat från simulering av ytterväggskonstruktionen utan plastfolie.

| Analys i M-modellen | Lund                      |      |                                   |      |
|---------------------|---------------------------|------|-----------------------------------|------|
|                     | Plastfolie befintlig vägg |      | Ingen plastfolie i konstruktionen |      |
|                     | S                         | Ö    | S                                 | Ö    |
| Monitor 1           | 0,56                      | 0,40 | 2,65                              | 1,55 |
| Monitor 2           | 0,00                      | 0,00 | 0,00                              | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00                      | 0,00 | 0,00                              | 0,00 |

I dessa simuleringar framgår tydligt att ett tätskikt i väggen är av största vikt. Den varma luften och fukten från bastun kan transporteras hela vägen ut i konstruktionen och kylas ner när den möter den kalla uteluften vilket är ett scenario som inte rekommenderas. Det är då viktigt att plastfolien som finns i väggen klarar av klimatets påfrestningar från insidan och inte får en nedsatt funktion över tid.

### 15.2.3.7 Plastfolie placering

Plastfolien är placerad en bit in i väggen i ursprungsfallet, innanför ett installationsskikt på 45 mm. Sedan kontrolleras om dess placering påverkar konstruktionen genom att placera plastfolien i bastuväggen istället, alltså på insidan om installationsskiktet.

**Tabell 42.** Resultat från simulering av ytterväggskonstruktionen med olika placering av plastfolien.

| Analys i M-modellen | Lund                       |      |                          |      |
|---------------------|----------------------------|------|--------------------------|------|
|                     | Plastfolie enligt tidigare |      | Plastfolie mot bastuvägg |      |
|                     | S                          | Ö    | S                        | Ö    |
| Monitor 1           | 0,56                       | 0,40 | 0,57                     | 0,41 |
| Monitor 2           | 0,00                       | 0,00 | 0,00                     | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,00                       | 0,00 | 0,00                     | 0,00 |

Utifrån dessa simuleirngar har plastfoliens placering, på varma respektive kalla sidan av installationsskiktet, en minimal betydelse. Plastfolien är i båda fallen placerad långt in i konstruktionen vilket minskar risken för kondens på insidan.

#### 15.2.4 Balansproblem i WUFI för bastuväggen

Konstruktionen ”Regelstommen med tegelskalmur” i bastun får så stora balansfel att konstruktionernas exakthet inte kan garanteras. För att konstatera vad felet beror på och hur problemet kan lösas har testsimuleringar genomförts. Parametrar som har kontrollerats är:

- Tidssteget
- Luftspalten
- Isoleringmängden

Tidsteget har varierats och kortats ner för att undersöka dess påverkan på balansen. En tydlig påverkan kan utläsas och tidsteget har därför satts till 36 sekunder, ett kort tidssteg som trots det skulle kunna minskas ytterligare om starka datorer erhålls som klarar filerna som skapas. Antalet år har kortats ner till tre men filstorlekarna hamnar ändå på ett par gigabyte styck och beräkningstiden är i genomsnitt 7 timmar vilket gör att kortare tidssteg inte är möjligt.

Luftspalten har konstruerats med specialluft och ”vanlig” luft för att WUFI ska klara beräkningarna bättre. Ytterligare kontroller genomförs för att undersöka om balansen i beräkningarna påverkas av fördelningen mellan specialluft och ”vanlig” luft vid uppbyggnaden i WUFI. Den kontrollen visade endast små skillnader i balansen då endast specialluft applicerades i luftspalten.

Isolering är ett svårt material i WUFI och för att undersöka om dess mängd påverkar balansen har isoleringsmängden halverats. Balansen blir då acceptabel vilket verifierar att det är numeriska problem att beräkna över isoleringsskiktet.

Det kan konstateras att tidsteget och isoleringsmängden har stor påverkan på balansen i beräkningen. Dock har avvägningar fått göras och en medelväg fått användas. För stora förändringar av isoleringsmängden påverkar konstruktionens funktion och för små tidssteg kräver kraftigare datorer.

#### 15.2.5 Dusch

Konstruktionen ”regelstommen med tegelskalmur” simuleras och analyseras för dusch i väderstrecken norr och söder för att undersöka vilken uppbyggnad av duschväggen som får minst risk att drabbas av mögeltillväxt.

Duschväggen simuleras med två olika tätskikt på insidan, dubbla tätskikt eller enkelt tätskikt i konstruktionen och olika tätskikt i den befintliga väggen. Dessa kombineras ihop i olika kombinationer och redovisas i Tabell 43 och 44. Det första angivna sd-värdet anger våtrumstätskiktet ånggenomgångsmotstånd och efter plustecknet anges plastfolien i den befintliga väggens ånggenomgångsmotstånd.

**Tabell 43.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) i Lund med duschklimat.

| Analys i M-modellen | Lund                 |       |                       |      |                                    |      |                                     |      |       |      |        |      |
|---------------------|----------------------|-------|-----------------------|------|------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------|------|--------|------|
|                     | sd 20<br>+<br>sd 100 |       | sd 100<br>+<br>sd 100 |      | sd 20<br>+<br>Variabel<br>ångbroms |      | sd 100<br>+<br>Variabel<br>ångbroms |      | sd 20 |      | sd 100 |      |
|                     | N                    | S     | N                     | S    | N                                  | S    | N                                   | S    | N     | S    | N      | S    |
| Monitor 1           | 1,85                 | 1,89  | 1,83                  | 1,89 | 1,96                               | 1,95 | 1,85                                | 1,88 | 1,97  | 2,00 | 1,85   | 1,91 |
| Monitor 2           | 0,07                 | 3,64  | 0,07                  | 4,54 | 0,08                               | 1,00 | 0,06                                | 0,73 | 0,09  | 4,94 | 0,07   | 2,71 |
| Monitor 3           | 816,60               | 69,48 | 1,27                  | 1,19 | 0,09                               | 1,75 | 0,07                                | 0,54 | 0,09  | 5,83 | 0,07   | 3,37 |

**Tabell 44.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) i Luleå med duschklimat.

| Analys i M-modellen | Luleå                |         |                       |      |                                    |      |                                     |      |       |      |        |      |
|---------------------|----------------------|---------|-----------------------|------|------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------|------|--------|------|
|                     | sd 20<br>+<br>sd 100 |         | sd 100<br>+<br>sd 100 |      | sd 20<br>+<br>Variabel<br>ångbroms |      | sd 100<br>+<br>Variabel<br>ångbroms |      | sd 20 |      | sd 100 |      |
|                     | N                    | S       | N                     | S    | N                                  | S    | N                                   | S    | N     | S    | N      | S    |
| Monitor 1           | 0,88                 | 0,92    | 0,86                  | 0,91 | 0,94                               | 0,98 | 0,88                                | 0,92 | 0,96  | 0,99 | 0,88   | 0,92 |
| Monitor 2           | 0,00                 | 1,04    | 0,00                  | 0,53 | 0,00                               | 0,12 | 0,00                                | 0,09 | 0,01  | 0,54 | 0,00   | 0,20 |
| Monitor 3           | 1085,08              | 1085,08 | 0,89                  | 0,61 | 0,00                               | 0,14 | 0,00                                | 0,10 | 0,01  | 1,02 | 0,00   | 0,42 |

Resultaten visar stora skillnader mellan Lund och Luleå även här. Lund har betydligt fuktigare klimat vilket bidrar till den höga risken för mögeltillväxt i monitor 1. Även sommarkondensen visar sig tydligt i Lund då den i söder tränger in till yttersta tätskiktet.

I monitor 3 i Lund med dubbla tätskikt, våtrumstätskikt och plastfolie med sd-värde 100 m finns hög risk för mögeltillväxt. Det beror på att det fuktiga duschklimatet tar sig genom plastfolien och fastnar där emellan.

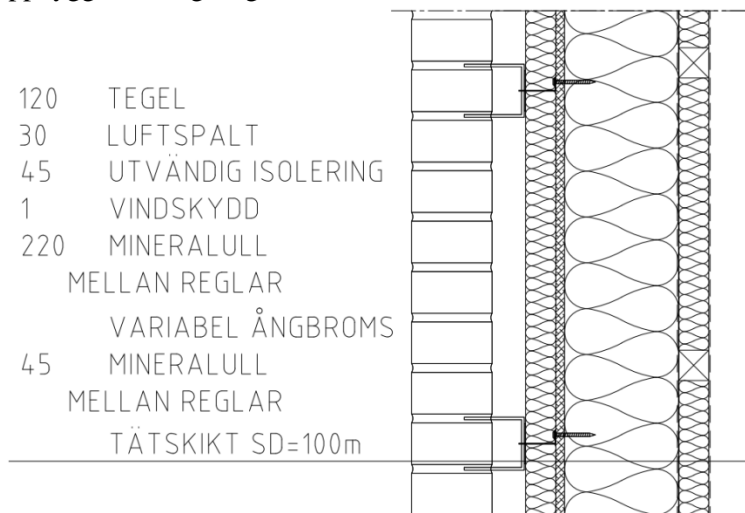
I fallen med endast ett tätskikt är det sommarkondensen som orsaker de röda monitorerna långt in i konstruktionen.

I tabellen för Lund kan tydligt utläsas vilken konstruktion som är den säkraste konstruktionen. Det kan konstateras att det är säkrare att ha ett våtrumstätskikt med sd-värde 100 mot inomhusklimatet och sen en variabel ångbroms på utsidan om installationsskiktet än att bara ha ett våtrumstätskikt med sd-värde 100 mot duschklimatet. Det beror på att den variabla ångbromsen släpper igenom fukt som tar sig dit från duschen men inte in sommarkondensen som kommer från utsidan.

Konstruktionen som väljs för vidare analyser är alltså sd-värde 100 + variabel ångbroms i Lund.

### 15.2.6 Robusthetanalys – Dusch

En robusthetsanalys utförs på den, utifrån fuktsynpunkt, bästa konstruktionen med uppbyggnad enligt Figur 48 nedan.



**Figur 48.** Den valda duschväggen uppbyggnad utifrån tidigare analyser.

Konstruktionsuppbyggnaden kontrolleras i alla väderstreck och i alla monitorerna med resultat enligt Tabell 45 nedan.

**Tabell 45.** Resultat från simulering med aktuell duschkonstruktion i alla väderstreck i Lund.

| Analys i M-modellen | Lund |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|
|                     | N    | S    | Ö    | V    |
| Monitor 1           | 1,82 | 1,86 | 1,72 | 1,77 |
| Monitor 2           | 0,06 | 0,75 | 0,16 | 0,54 |
| Monitor 3           | 0,06 | 0,29 | 0,15 | 0,83 |

Utifrån väderstrecksimuleringarna görs robustanalysen endast på söder och väster då dessa väderstreck ger den värsta konstruktionen i sin helhet och på så vis innebär störst risk för mögeltillväxt på trämaterial.

Följande parametrar kontrolleras i analysen:

- Absorption av nederbörd i tegelskalmuren
- Luftomsättning i luftspalten
- Skivfasad eller tegelskalmur



### 15.2.6.1 Absorption av nederbörd i tegelskalmuren

I alla grund fallen har tegelskalmuren en absorption av nederbörd på 70 % för att undersöka hur stor påverkan den faktorn har på konstruktionen då det är en osäker parameter kontrolleras även 90 %.

**Tabell 46.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika värden på fuktupptagning i tegelskalmuren.

| Analys i M-modellen | Lund                     |      |                          |      |
|---------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|
|                     | 0,7 (70 % av slagregnet) |      | 0,9 (90 % av slagregnet) |      |
|                     | S                        | V    | S                        | V    |
| Monitor 1           | 1,86                     | 1,77 | 2,73                     | 1,92 |
| Monitor 2           | 0,75                     | 0,54 | 2,87                     | 1,64 |
| Monitor 3           | 0,29                     | 0,83 | 6,43                     | 2,55 |

Sommarkondensen påverkar konstruktionen ytterligare om regnvattenabsorptionen ökas till 0,9. Det finns då mer fukt i konstruktionen som kan transporteras in i väggen när solen lyser på teglet. Regnvattenabsorptionen har på så vis en stor påverkan på den här konstruktionen.

Det är svårt att garantera hur mycket nederbörd som adsorberas av tegelskalmuren i en hel byggnad då det varierar mitt på en vägg och i hörn. Detta gör att både 70 % och 90 % är möjliga värden och konstruktionen kan få tydliga problem med mögel.

### 15.2.6.2 Luftomsättning i luftspalten

I ursprungsfallet simuleras konstruktionen med 10 oms/h men för att undersöka om mögeltillväxten i konstruktionen minskar med ökad luftomsättning kontrolleras även 25 oms/h och 50 oms/h.

**Tabell 47.** Resultat från simulering av yttervägg (regelstomme med tegelskalmur) med olika värden på luftomsättning i den utvändiga luftspalten.

| Analys i M-modellen | Lund     |      |          |      |          |      |
|---------------------|----------|------|----------|------|----------|------|
|                     | 10 oms/h |      | 25 oms/h |      | 50 oms/h |      |
|                     | S        | V    | S        | V    | S        | V    |
| Monitor 1           | 1,86     | 1,77 | 1,02     | 0,99 | 0,65     | 0,64 |
| Monitor 2           | 0,75     | 0,54 | 0,02     | 0,04 | 0,00     | 0,01 |
| Monitor 3           | 0,29     | 0,83 | 0,02     | 0,05 | 0,00     | 0,01 |

Ett tydligt samband mellan risken för mögeltillväxt och luftomsättningen i luftspalten kan konstateras. Skulle luftomsättningen i luftspalten kunna ökas till 50 omsättningar per timme blir konstruktionen acceptabel och kan rekommenderas. Det är dock inte möjligt att garantera en sådan luftomsättning bakom en tegelskalmur enligt tidigare studier.

### 15.2.6.3 Skivfasad eller tegelskalmur

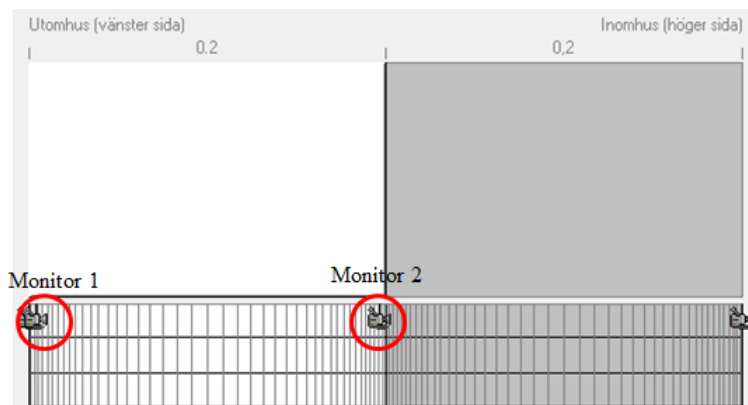
Fasadmateriallet byts ut mot skivfasad i en kontroll för att undersöka om ett sådant fasadsystem är till fördel för konstruktionen. Det är en skiva utan regnvattenabsorption och som har 250 omsättningar per timme i den bakomliggande luftspalten.

**Tabell 48.** Resultat från simulering av ytterväggskonstruktionen med annat fasadmaterial.

| Analys i M-modellen | Lund         |      |           |      |
|---------------------|--------------|------|-----------|------|
|                     | Tegelskalmur |      | Skivfasad |      |
|                     | S            | V    | S         | V    |
| Monitor 1           | 1,86         | 1,77 | 0,74      | 0,78 |
| Monitor 2           | 0,75         | 0,54 | 0,00      | 0,00 |
| Monitor 3           | 0,29         | 0,83 | 0,00      | 0,00 |

Skivfasaden visar bättre resultat, då det endast risk för mögeltillväxt i monitor 1 till skillnad från hög risk i monitor 1 vid tegelskalmuren. Resultatet innebär att konstruktionen även kan rekommenderas med en annan typ av luftat fasadsystem.

### 15.3 Betongstomme med puts på isolering



Figur 49. Monitorernas placering i konstruktionen.

#### 15.3.1 Referensfall (vardagsrum)

Först simuleras ”nollan” genom att väggen får ett normalt inneklimat som ska motsvara ett vardagsrum i en bostad, resultatet presenteras enligt Tabell 49 och 50 nedan.

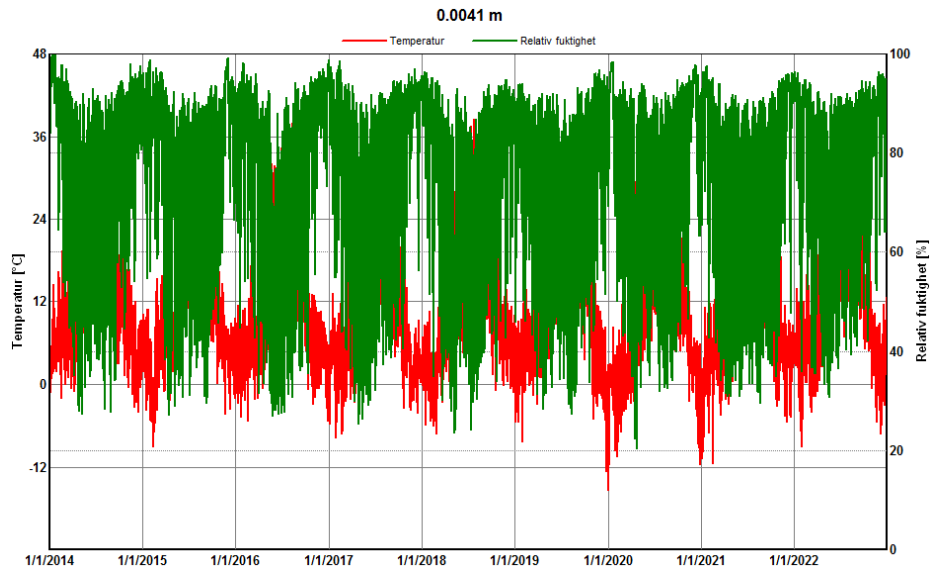
Tabell 49. Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) i Lund med normalt inomhusklimat för bostad.

| Analys i M-modellen | Lund  |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | N     | S     | Ö     | V     |
| Monitor 1           | 11,68 | 13,73 | 10,31 | 10,60 |
| Monitor 2           | 5,50  | 5,50  | 5,48  | 5,48  |

Tabell 50. Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) i Luleå med normalt inomhusklimat för bostad.

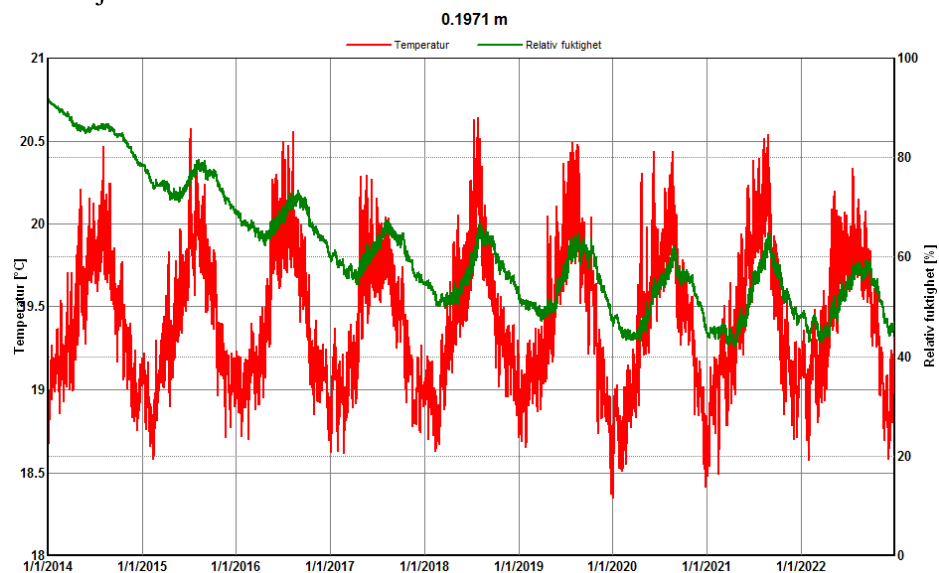
| Analys i M-modellen | Luleå |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | N     | S     | Ö     | V     |
| Monitor 1           | 26,62 | 23,67 | 26,72 | 24,80 |
| Monitor 2           | 5,10  | 5,07  | 5,08  | 5,04  |

Resultaten för aktuell yttervägg visar att det finns stor risk för mögelpåväxt vid både monitor 1 och monitor 2 för eventuellt trämaterial i konstruktionen. I samtliga fall ser fuktförhållandena bättre ut vid monitor 2 än vid monitor 1. Orsaken till att det är sämre längre ut i konstruktionen beror bland annat på att temperaturen är lägre närmre utomhusklimatet vilket innebär att cyklerna för den relativa fuktigheten vid monitor 1 ligger högre enligt Figur 50.



**Figur 50.** Utdata från WUFI Pro 5.3 1D. Betongstomme med puts på isolering och vardagsrumsklimat, i monitor 1.

Uttorkningstrenden i rådata ser bra ut vid monitor 2 för samtliga orienteringar för aktuell yttervägg med vardagsrumsklimat. Den värsta perioden är det första året då den relativa fuktigheten varierar mellan ca 80-90 %, sedan följer en nedåtgående trend. Detta indikerar att konstruktionen är känslig för byggfukten som finns i betongen eftersom uttorkningen verkar ta lång tid. I Figur 51 visas ett typiskt utseende för aktuell vägg med vardagsrumsklimat invändigt i monitor 2, det syns tydligt att RF inte överstiger 75 % efter det tredje året.



**Figur 51.** Utdata från WUFI Pro 5.3 1D. Betongstomme med puts på isolering och vardagsrumsklimat, i monitor 2.

Vid monitor 1 är Luleå generellt ett värre utomhusklimat än Lund, detta kan förklaras med att byggfukten från betongen torkar ut långsamt under de första 3-4 åren, uttorkningen sker

ut mot utsidan av cellplasten där temperaturen sjunker på grund av uteklimatet och RF stiger. Då Luleå är kallare än Lund blir det alltså värre längre ut i konstruktionen.

Vid monitor 2 är däremot Lund ett värre utomhusklimat på grund av att klimatet är fuktigare i Lund vilket gör att transport av fukten från insidan av cellplastskiktet inte sker lika snabbt då det inte finns lika stor potential.

Eftersom det höga riskvärdet i konstruktionen främst härstammar från de höga fuktförhållandena i både monitor 1 och 2 under de första tre åren kontrolleras byggfukten i betongens inverkan på simuleringsresultaten genom att ytterligare beräkningar görs där byggfukten i betongen halveras och även nollas. Då byggfukten nollas förväntas resultatet visa en ackumulering av fukt i konstruktionens betongskikt tills jämvikt erhålls med omgivande klimat, därför utförs ytterligare en simulering med noll byggfukt i betongen och beräkningstid 30 år. Endast de 10 sista åren analyseras då i M-modellen för att se om fuktförhållanden stabiliserar sig i konstruktionen. I kontrollen används den orientering och det utomhusklimat som gav högst riskvärden i monitor 2, det vill säga Lund i söder.

**Tabell 51.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) med olika värden på byggfukt i betongen.

| Analys i M-modellen | Lund                  |                      |                     |
|---------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
|                     | Söder                 |                      |                     |
|                     | 100 kg/m <sup>3</sup> | 50 kg/m <sup>3</sup> | 0 kg/m <sup>3</sup> |
| Monitor 1           | 13,73                 | 2,76                 | 2,47                |
| Monitor 2           | 5,50                  | 0,00                 | 0,00                |

Resultaten från kontrollsimuleringarna visar att byggfukten i betongen spelar en stor roll för fuktförhållandet i ytterväggen. Om byggfukten halveras föreligger inte längre någon risk för mögelpåväxt på trämaterial vid monitor 2. Dock kvarstår ett relativt högt riskvärde vid monitor 1. Resultaten mellan halverad byggfukt och ingen byggfukt alls visar relativt små skillnader, detta på grund av att ungefär hälften av byggfukten i betongen torkar inåt, och hälften utåt. Utdata från programmet visar i filmvisningsfunktionen att resterande del av problemet kommer från utomhusklimatet genom putsskiktet. Således testas även ett högt sd-värde på putsen och olika värden på byggfukt i betongen med resultat enligt Tabell 51.

**Tabell 52.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) med olika sd-värden på utvändig puts och byggfukt i betongen.

| Analys i M-modellen | Lund                           |                |                              |                |
|---------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|                     | Söder                          |                |                              |                |
|                     | Byggfukt 100 kg/m <sup>3</sup> |                | Byggfukt 0 kg/m <sup>3</sup> |                |
|                     | sd-värde 0,2 m                 | sd-värde 100 m | sd-värde 0,2 m               | sd-värde 100 m |
| Monitor 1           | 13,73                          | 1345,65        | 2,47                         | 0,00           |
| Monitor 2           | 5,50                           | 10,37          | 0,00                         | 0,00           |

Resultatet visar tydligt att en tätare puts är fördelaktigt endast om konstruktionen inte innehåller normal byggfukt. För att konstruktionen ska kunna godkännas helt utifrån fuktsynpunkt och erhålla låga riskvärden för både monitor 1 och monitor 2 krävs en tätare puts och obefintlig byggfukt i betongen. Om konstruktionen däremot innehåller byggfukt enligt antaganden i denna rapport är det bättre att använda en puts med lägre sd-värde, då en tätare puts kan vara förödande för konstruktionen.

### 15.3.2 Bastu

För att undersöka hur ytterväggens insida bör se ut i bastufallet testas invändig luftspalt, plastfolie (bastufolie) och invändig isolering i olika kombinationer tillsammans med bastupanel enligt Tabell 53 och 54 nedan.

För simuleringar med bastu som inomhusklimat väljs endast orienteringarna norr och söder, då de ger högst värden i Lund enligt referensfallet. Vidare simuleras alla fyra orienteringarna sedan i en robusthetsanalys för aktuell yttervägg och uppbyggnad.

**Tabell 53.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) i Lund och bastuklimat.

| Analys i M-modellen | Lund                   |        |                         |        |                        |        |                         |        |                         |        |                         |        |                        |        |                         |        |
|---------------------|------------------------|--------|-------------------------|--------|------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|------------------------|--------|-------------------------|--------|
|                     | Med invändig luftspalt |        |                         |        |                        |        |                         |        | Utan invändig luftspalt |        |                         |        |                        |        |                         |        |
|                     | Med platsfolie         |        |                         |        | Utan platsfolie        |        |                         |        | Med platsfolie          |        |                         |        | Utan platsfolie        |        |                         |        |
|                     | Med invändig isolering |        | Utan invändig isolering |        | Med invändig isolering |        | Utan invändig isolering |        | Med invändig isolering  |        | Utan invändig isolering |        | Med invändig isolering |        | Utan invändig isolering |        |
|                     | N                      | S      | N                       | S      | N                      | S      | N                       | S      | N                       | S      | N                       | S      | N                      | S      | N                       | S      |
| Monitor 1           | 208,59                 | 195,30 | 214,93                  | 196,90 | 198,59                 | 171,72 | 180,61                  | 121,86 | 212,69                  | 202,21 | 225,18                  | 201,84 | 191,55                 | 135,34 | 201,86                  | 153,20 |
| Monitor 2           | 0,52                   | 0,52   | 0,27                    | 0,27   | 0,52                   | 0,52   | 0,28                    | 0,28   | 0,45                    | 0,45   | 0,20                    | 0,20   | 0,46                   | 0,46   | 0,20                    | 0,20   |

**Tabell 54.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) i Luleå och bastuklimat.

| Analys i M-modellen | Luleå                  |       |                         |       |                        |       |                         |       |                         |       |                         |       |                        |       |                         |       |
|---------------------|------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|-------|
|                     | Med invändig luftspalt |       |                         |       |                        |       |                         |       | Utan invändig luftspalt |       |                         |       |                        |       |                         |       |
|                     | Med platsfolie         |       |                         |       | Utan platsfolie        |       |                         |       | Med platsfolie          |       |                         |       | Utan platsfolie        |       |                         |       |
|                     | Med invändig isolering |       | Utan invändig isolering |       | Med invändig isolering |       | Utan invändig isolering |       | Med invändig isolering  |       | Utan invändig isolering |       | Med invändig isolering |       | Utan invändig isolering |       |
|                     | N                      | S     | N                       | S     | N                      | S     | N                       | S     | N                       | S     | N                       | S     | N                      | S     | N                       | S     |
| Monitor 1           | 101,67                 | 79,15 | 128,23                  | 78,92 | 98,66                  | 62,94 | 118,73                  | 77,25 | 105,43                  | 75,47 | 120,09                  | 90,46 | 97,53                  | 70,19 | 117,22                  | 85,21 |
| Monitor 2           | 0,39                   | 0,39  | 0,24                    | 0,24  | 0,41                   | 0,41  | 0,25                    | 0,25  | 0,37                    | 0,37  | 0,17                    | 0,17  | 0,37                   | 0,37  | 0,17                    | 0,17  |

Resultatet visar att då bastuklimat används som inomhusklimat till simuleringarna så blir riskvärdet mindre vid monitor 2 än förut, men högre vid monitor 1. Bastuklimatet på insidan gör att fukten i betongen drivs ut mot de kallare delarna av konstruktionen där den relativa fuktigheten då stiger och orsakar risk för kondens och mögelpåväxt.

Någon tydlig bästa konstruktionsuppbyggnad utifrån fuktsynpunkt går inte att urskilja från resultattabellerna. Då byggfukten verkar spela stor roll i ytterväggen (se resultat från vardagsrum) görs en koll på hur lång tid det tar att torka ut betongen till ett jämviktsläge i konstruktionen. För att titta noggrannare på detta analyserades endast de 6 sista åren i M-modellen med resultat enligt Tabell 55 och 56.

**Tabell 55.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) i Lund och bastuklimat för år 3-9.

| Analys i M-modellen | Lund År 3-9            |      |                         |      |                        |      |                         |      |                         |      |                         |      |                        |      |                         |      |
|---------------------|------------------------|------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|------------------------|------|-------------------------|------|
|                     | Med invändig luftspalt |      |                         |      |                        |      |                         |      | Utan invändig luftspalt |      |                         |      |                        |      |                         |      |
|                     | Med plastfolie         |      |                         |      | Utan plastfolie        |      |                         |      | Med plastfolie          |      |                         |      | Utan plastfolie        |      |                         |      |
|                     | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering  |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      |
|                     | N                      | S    | N                       | S    | N                      | S    | N                       | S    | N                       | S    | N                       | S    | N                      | S    | N                       | S    |
| Monitor 1           | 1,52                   | 1,40 | 1,31                    | 1,08 | 1,03                   | 0,96 | 0,96                    | 0,90 | 1,51                    | 1,39 | 1,14                    | 1,04 | 1,06                   | 0,98 | 0,94                    | 0,88 |
| Monitor 2           | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |

**Tabell 56.** Resultat från simulering av yttervägg (betongstomme med puts på isolering) i Luleå och bastuklimat för år 3-9.

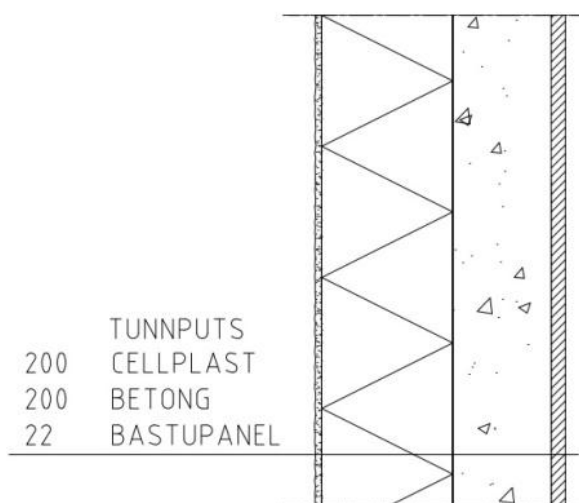
| Analys i M-modellen | Luleå År 3-9           |       |                         |       |                        |      |                         |      |                         |       |                         |       |                        |      |                         |      |
|---------------------|------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|------|-------------------------|------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|------|-------------------------|------|
|                     | Med invändig luftspalt |       |                         |       |                        |      |                         |      | Utan invändig luftspalt |       |                         |       |                        |      |                         |      |
|                     | Med plastfolie         |       |                         |       | Utan plastfolie        |      |                         |      | Med plastfolie          |       |                         |       | Utan plastfolie        |      |                         |      |
|                     | Med invändig isolering |       | Utan invändig isolering |       | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      | Med invändig isolering  |       | Utan invändig isolering |       | Med invändig isolering |      | Utan invändig isolering |      |
|                     | N                      | S     | N                       | S     | N                      | S    | N                       | S    | N                       | S     | N                       | S     | N                      | S    | N                       | S    |
| Monitor 1           | 59,54                  | 31,96 | 91,04                   | 24,52 | 0,47                   | 0,46 | 0,46                    | 0,44 | 65,01                   | 26,38 | 80,34                   | 43,49 | 0,48                   | 0,47 | 0,45                    | 0,44 |
| Monitor 2           | 0,00                   | 0,00  | 0,00                    | 0,00  | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 | 0,00                    | 0,00  | 0,00                    | 0,00  | 0,00                   | 0,00 | 0,00                    | 0,00 |

Kontrollen visar att det är bäst utifrån fuktsynpunkt att inte ha plastfolie i konstruktionen. Efter 3 år har betongen i princip stabiliserat sig, med något sämre resultat i Lund, och konstruktionen har inga ytterligare fuktproblem. Det går alltså snabbare att torka ut betongens byggfukt då det inte finns någon plastfolie på insidan eftersom betongen kan torka ut mot inomhusklimatet.

Det största problemet i konstruktionen föreligger således de tre första åren och beror på en långsam uttorkning av betongens byggfukt. Byggfukt är med andra ord en ytterst viktig parameter för ytterväggen tillsammans med regnvattenabsorption i den utvändiga putsen.

### 15.3.3 Robusthetsanalys Bastu

En robusthetsanalys utförs på den, utifrån fuktsynpunkt, säkraste konstruktionen med uppbyggnad enligt Figur 52. Syftet med robusthetsanalysen är att kontrollera den aktuella konstruktionen för att kunna göra uttalande om hur konstruktionen ska byggas utifrån simuleringar och beräkningar gjorda i denna rapport. I detta fall har redan byggfuktens och den utvändiga putsens inverkan kontrollerats och således ingår endast en kontroll på luftläckage genom eventuella otätheter i betongskiktet.



**Figur 52.** Den valda bastuväggens uppbyggnad utifrån tidigare analyser.

Först kontrolleras konstruktionen i alla väderstreck enligt Tabell 57.

**Tabell 57.** Resultat från simulering med aktuell bastukonstruktion i alla väderstreck.

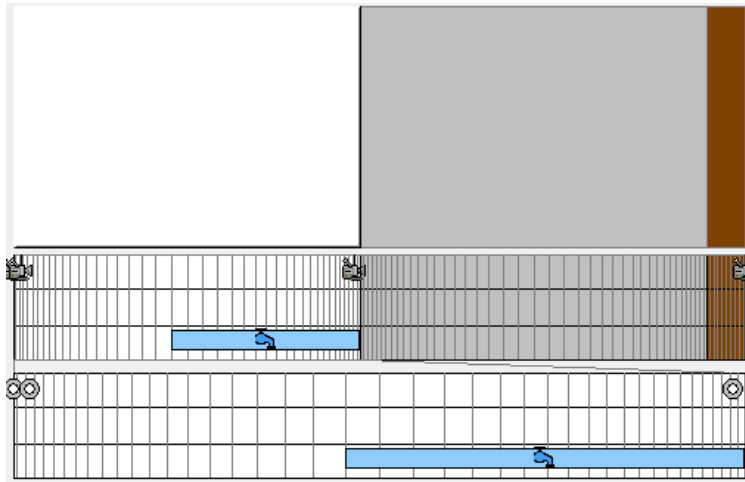
| Analys i M-modellen | Lund                    |        |        |        |
|---------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
|                     | Utan invändig luftspalt |        |        |        |
|                     | Utan plastfolie         |        |        |        |
|                     | Utan invändig isolering |        |        |        |
|                     | N                       | S      | Ö      | V      |
| Monitor 1           | 201,86                  | 153,20 | 157,86 | 142,10 |
| Monitor 2           | 0,20                    | 0,20   | 0,20   | 0,20   |

Resultaten från jämförelsen är likartade i alla väderstreck, med högsta riskvärde i norr. Robusthetsanalysen fortsätter således med orienteringarna norr och söder.

#### 15.3.3.1 Luftläckage genom betongen

Konstruktionen testas med ett läckage genom betongen i form av ett fuktflöde som beräknas för aktuell konstruktion enligt kapitel 13. Fuktflödet på grund av läckage läggs på kalla sidan av betongen i isoleringsskiktet och motsvarar täthetskravet i FEBYs specifikation på standard för passivhus.





**Figur 53.** Fuktkälla i konstruktionen utbredd över halva isoleringslagret.

Då konstruktionen simuleras med fuktkälla i isoleringsskiktet fås resultat enligt Tabell 58. Resultatet förväntas inte bli bra men simuleringen körs ändå för att få en uppfattning om hur stor påverkan ett eventuellt läckage har för ytterväggen.

**Tabell 58.** Resultat från simulering med fuktkälla i aktuell bastukonstruktion.

| Analys i M-modellen | Lund                              |        |
|---------------------|-----------------------------------|--------|
|                     | läckage = 100 % passivhusstandard |        |
|                     | N                                 | S      |
| Monitor 1           | 427,46                            | 412,49 |
| Monitor 2           | 140,59                            | 140,93 |

Resultatet visar att konstruktionen är extremt känslig för läckage och måste utföras helt tät för att kunna användas över huvud taget enligt simuleringar gjorda i denna rapport. Det är även viktigt att inte montera tätskikt på insidan av betongen eftersom det då innebär att fukten ackumuleras över tid i ytterväggskonstruktionen.

Observera att simuleringens kvalitetstest visar ett fel i balans på ca 30 %. Detta beror troligen på att det bildas kondens i konstruktionen och att fukt ackumuleras, därför bör siffrvärdena endast betraktas som riktvärden.

### 15.3.4 Dusch

Ytterväggskonstruktionen betongstomme med puts på isolering simuleras inte med duschklimat inomhus eftersom det inte är genomförbart i simuleringsprogrammet WUFI. Resultaten från simuleringarna anses inte kunna ligga till grund för analys eftersom kvaliteten på beräkningarna är ojämna och beräkningstiderna enormt långa.

Betongstomme med puts på isolering kan inte rekommenderas som ytterväggskonstruktion för användning till offentligt duschrum. Konstruktionen är extremt känslig för läckage och fukten ackumuleras kvickt i konstruktionen, detta gör att ytterväggskonstruktionen inte lämpar sig i denna typ av utsatt miljö.

## 16 Diskussion

### 16.1 Svårigheter att räkna på fukt

Beräkningsprogrammet WUFI gör att det är teoretiskt möjligt att utvärdera ytterväggskonstruktionerna utifrån fuktsynpunkt. Till skillnad från hållfasthetsberäkningar finns inga självklara dimensionerande lastfall för fuktberäkningar. Eftersom alla olika ingångsparametrar beror av varandra är det mycket svårt att veta vilken kombination som ger det dimensionerande fallet, exempelvis är många materialparametrar både temperatur- och fuktberoende. BBRs krav att räkna på det mest ogynnsamma fallet kan därför bli komplicerat då många ingående parametrar styr vilka val som i slutändan blir värst för konstruktionen. Samspelet mellan ingångsparametrar gör också att det blir svårt att förutspå konsekvenserna av ett specifikt val.

Många antaganden och förutsättningar ligger till grund för resultaten i denna rapport. Resultaten gäller således endast för de fall som presenteras i rapporten. Beräkningsprogrammet WUFI är ett användarvänligt program men resultaten är aldrig bättre än indata eller kunskapen hos användaren.

Redan definierade material finns att tillgå i WUFI när konstruktionerna ska byggas upp, i detta arbete används materialen och materialparametrarna som de är definierade i programmet. Ingångsdata för alla fördefinierade material finns i programmet av en anledning, materialen har testats, undersökts och verifierats bland annat i laboratoriet på Fraunhoferinstitutet. De verifierande beräkningarna som genomförts har visat sig stämma bra med verkligheten i de flesta fall. Exempelvis har Olof Mundt-Petersen, doktorand vid LTH, gjort simuleringar på luftspalter i WUFI, vilket är relativt svårt för programmet att räkna på. Beräkningarna i WUFI visade sig stämma bra med verkliga luftspalter, med en felmarginal på  $\pm 10$ -20%. Utgångspunkten i detta arbete är att det inte finns någon bra anledning att tvivla på de flesta materialskikt, förutsatt att användaren har kunskap och förståelse om vad som ska simuleras.

I vissa fall har vanliga beräkningstider inte räckt till för att kunna slutföra simuleringen eller för få resultat med acceptabla numeriska balanser. I dessa fall har tidssteget minskats tillräckligt för att få ett godtagbart resultat. För att simuleringstiden inte ska bli för lång i dessa fall har även totala beräkningstiden sänkts från nio år till tre år. Men ett tidssteg på mindre än en timme ställer även till det på andra sätt, eftersom M-modellen är utformad för timvärden. För de fall då tidssteget är något annat än en timme har därför ett Matlab-program skrivits för att medelvärdesbilda resultatet till timvärden för vidare användning i M-modellen.

Sannolikheten för mögelpåväxt beror inte bara på relativ fuktighet och temperatur över en viss tid. Även nederbörds mängd, nattutstrålning, vindförhållanden och solinstrålning avgör var, när och hur förutsättningarna är som mest gynnsamma för mögel. Alla dessa faktorer tas hänsyn till i simuleringarna i WUFI. Analys av resultat i M-modellen däremot är egentligen bara en sortering av isopletdiagram som fås som utdata i WUFI efter simulering. Detta innebär att analysen endast baseras på relativ fuktighet, temperatur och tidsaspekten.

M-modellens resultat visar om det finns risk för mögelpåväxt på trämaterial, mer specifikt träslaget gran. I konstruktionerna som undersöks i detta examensarbete ska trämaterial normalt inte finnas varför riskvärdena kan anses vara på säkra sidan. Det är dock inte bara träslaget gran som får mögelpåväxt vid de förhållanden som anges i M-modellen, även annat organiskt material eller smuts kan få mögelpåväxt vid motsvarande förhållanden. För att få ett bra referensvärde används således ändå resultaten för mögelpåväxt på trä utifrån M-modellen. Valet att använda M-modellen innebär att ytterväggskonstruktionerna kommer att visa hög risk för mögelpåväxt i delar av konstruktionen där det normalt inte kommer att ske någon påväxt eftersom det inte finns något trä att växa på, däremot skulle påväxt kunna ske på eventuellt smuts eller annat organiskt material. Det mest aktuella är således jämförelserna sinsemellan konstruktionslösningar beroende på vilka val som gjorts. Alltså är det endast den inbördes ordningen som ligger till grund för att en konstruktionslösning är bättre än en annan utifrån fuktsynpunkt.

## 16.2 Utomhusklimat och orientering

Resultaten visar generellt att Luleå är ett bättre klimat utifrån fuktsynpunkt än vad Lund är för ytterväggskonstruktionerna. Detta är ett förväntat resultat eftersom Luleå är ett kallare och torrare klimat och därmed inte lika gynnsamt för mögelpåväxt som klimatet i Lund.

Klimatdata från Lunds Tekniska Högskola för Lund och Luleå innehåller timvärden från åren 1990-1998. Data är verkligt loggad klimatdata och innehåller stora variationen från år till år. Resultaten kan därför variera beroende på vilket eller vilka år som använts i simuleringarna. I de flesta simuleringar har alla nio åren använts, men i några har endast tre år simulerats på grund av problem med numerisk obalans. Vid de kortare simuleringstiderna har de tre första åren från filerna använts.

Vid närmare studier av diagrammen för klimatdata i Lund och Luleå visas tydliga mönster. I Luleå syns att de första fyra åren är lite varmare och torrare än de nästkommande fem åren. I Lund är de fem första åren lite varmare och torrare än de resterande fyra åren. Således var det inte på säkra sidan att välja de tre första åren till simuleringarna som krävde ett mindre tidssteg.

Det finns även en möjlighet att använda fördefinierat utomhusklimat från WUFI, där Lund och Luleå ingår i standardvalet. Klimatdata i WUFI innehåller endast ett år som kan repeteras i det antal år som önskas. Klimatåret är en modifikation av olika år där extremvärdena kapats, vilket bland annat betyder att den relativa fuktigheten aldrig når 100 %. Med grund i detta dras slutsatsen att det ger mer realistiska resultat då äkta klimatdata används till simuleringarna.

Vilken orientering som visar högst riskvärde för ytterväggskonstruktionerna kan skilja mycket beroende på vilken del av konstruktionen som studeras, vilken uppbyggnad konstruktionen har och vilka ingångsparametrar som valts. Den värsta orienteringen för en yttervägg är inte nödvändigtvis den värsta orienteringen för ett tak eller någon annan byggnadsdel. Det är med andra ord inte helt självklart vilken orientering som blir dimensionerande för ytterväggarna, varför alla ytterväggskonstruktionerna simuleras i alla orienteringar varpå de två väderstrecken med högst riskvärde ansetts dimensionerande.

Bland orienteringarna med högst riskvärde finns ofta söderriktningen med. Att en yttervägg orienterad mot söder blir värst utifrån fuktsynpunkt kan bland annat bero på att slagregnmängden är stor i denna riktning. Stor slagregnmängd kan i sin tur ge problem med sommarkondens eftersom söderorienteringen har störst solbelastning.

### 16.3 Monitorplacering

Monitorerna placeras i isoleringsskiktet där det kan finnas risk för organiska material eller smuts. Placeringarna som kontrolleras är längst ut i isoleringen mot uteklimatet och längst in i isoleringen mot inneklimatet. Detta för att kunna utvärdera hur fukten vandrar i konstruktionen. I konstruktionen med regelstomme har tre monitorer placerats, två på var sin sida om tätskiktet i den befintliga ytterväggskonstruktionen för att kontrollera tätskiktets påverkan på fukttransporten genom konstruktionen, och en mot luftspalten i isoleringsskiktet.

Resultaten baseras endast på dessa två eller tre monitorer vilket innebär att övriga delar i konstruktionen inte har utvärderats.

### 16.4 Luftläckage

Det är svårt att hantera en fuktkälla i WUFI, beräkningarna genomförts på ett sådant sätt som motsvarar verkligheten i så stor mån som möjligt. Det är dock svårt att veta vilket sätt i WUFI som ger ett resultat på säkra sidan.

Det finns olika funktioner för att hantera en fuktkälla i WUFI, i ”Luftinfiltrationsmodell från IBP” kan en byggnadsskalsinfiltration anges genom att välja lufttäthetsklass. Det finns även en funktion där andel av slagregn som tar sig in i konstruktionen kan väljas. Funktionerna har inte kunnat verifieras och därför har luftläckaget beräknats förhand.

Luftläckaget som placeras i konstruktionen är täthetskravet enligt passivhusstandard, på 0,3 l/sm<sup>2</sup> vid en tryckskillnad på 50 Pa. Passivhuskravet beräknas om till en håldiameter i plastfolien, denna förenkling ger ett cirkulärt hål per kvadratmeter som placeras jämt över ytan. Sådana hål i plastfolien är inte troliga utan det är mer troligt att det finns ett utbrett läckage i skarvar och fogar. Förenklingen ger ett mer koncentrerat luftläckage än vad konstruktionen normalt utsätts för, vilket gör att simuleringarna blir på säkra sidan.

Luftläckaget placeras på kalla sidan av innersta tätskiktet i konstruktionen med regelstomme medan det i betongkonstruktionerna placeras på kalla sidan av betongen. Antagandet om placering av fuktflödet i betongkonstruktionen har gjorts med tanken att fukten transporteras genom skarvar i betongen in till isoleringsskiktet och där sprids ut i isoleringen. Fuktkällan sprids ut över halva isoleringstjockleken i ytterväggskonstruktionerna, med undantag för små isoleringsskikt på 45 mm i yttervägg med regelstomme där fuktkällan istället sprids över hela skiktet. Detta för att illustrera att fukten sprids ut i isoleringsskiktet och inte stannar precis vid skarven.

Beräkning av det totala trycket görs genom att summera vindtrycket, termisk drivkraft och mekanisk drivkraft. Vindtrycket beräknades en bit ifrån fasaden med Bernoullis ekvation för

fri luftströmning. Detta medför att formfaktorerna på grund av vindriktningen inte beaktas i beräkningen, en förenkling som ger en osäker parameter. Även vindhastigheterna som används är medelvärdesbildade timvärden vilket innebär att tillfälligt stora tryckskillnader inte är med, detta ger ett vindtryck på osäkra sidan.

Den termiska drivkraften har beräknats med gasernas allmänna tillståndslag. Den är baserad på klimatdata och är på så vis en relativt säker del av fuktflödet.

I beräkningarna har den mekaniska drivkraften antagits till noll trots att det inte är troligt på grund av ventilationens påverkan på konstruktionen. Drivkraften kan i vissa fall bli stor och ge både övertryck och undertryck inomhus. Då det i detta fall inte finns uppgifter om hur ventilationssystemet kommer att vara utformat antas en balanserad injustering där den mekaniska drivkraften kan försummas.

Drivkrafterna summeras och ett luftflöde beräknas under förutsättningen att flödet inte är turbulent. Luftflödet beräknas sedan om till ett fuktflöde som appliceras i programmet.

Under beräkningarnas gång har antaganden och förenklingar gjorts vilket medför att fuktflödet är en osäker parameter i simuleringarna. Handberäkningarna anses dock mer tillförlitliga än något annat alternativ, då antaganden är kända och presenterade.

## 16.5 Referensfall

För att kunna jämföra bastu- och duschresultaten med en normal driftmiljö används ett referensfall som antas vara jämförbart med ett vanligt vardagsrum i en bostad.

Inomhustemperaturen är konstant och väljs till 20°C, vilket är en relativt låg temperatur för ett vanligt vardagsrum. Den relativa fuktigheten i inomhusklimatet styrs av utomhusklimatet och väljs som fuktklass 2 i programmet. Fuktklass 2 innebär ett fukttillskott på 4 g/m<sup>3</sup> vilket är på säkra sidan eftersom en normal bostad anses ha ett fukttillskott på ungefär 2-4 g/m<sup>3</sup>.

Ytterväggskonstruktionerna visar höga riskvärden i referensfallet för samtliga konstruktioner, vilket är ett tråkigt resultat. Tester på hur konstruktionerna kan förbättras visar att skivfasadsystem är bättre än en tegelskalmur, förutsatt att luftomsättningarna i den ventilerade luftspalten är jämförbara med antagna värden. Om inomhustemperaturen höjs förbättras resultaten i ytterväggen då hela väggen blir lite varmare.

En parameter som verkar vara extra viktig är omsättningen i den utvändiga luftspalten för de tvåstegstätade konstruktionerna. Då luftomsättningen ökas blir resultaten för konstruktionerna avsevärt bättre. För konstruktionen ”betongstomme med tegelskalmur” visar resultaten att konstruktionen är acceptabel ur fuktsynpunkt först när luftomsättningen höjts till 50 oms/h (ursprungsvärde 10 oms/h), för konstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” krävs 100 oms/h för att ytterväggskonstruktionen ska kunna accepteras. Att öka luftomsättningarna till dessa värden är normalt inte genomförbart då luftomsättningen 10 oms/h motsvarar ungefär en borttagen sten per meter tegelskalmur.

Den kompakta konstruktionen ”betongstomme med puts på isolering” har ingen luftspalt och uppvisar sämst resultat av alla konstruktioner. För den kompakta konstruktionen är den

viktigaste parametern istället byggfukten i betongskiktet, då byggfukthalten sänks förbättras konstruktionen avsevärt. Det bästa resultatet som fås är om betongen inte innehåller någon byggfukt initialt och om putsen byts ut till en tätare puts med sd-värde 100 m (ursprungsvärde 0,2 m). Det är dock mycket tveksamt att bygga ytterväggen utifrån detta resultat eftersom konstruktionen uppvisar extremt höga riskvärden om en tätare puts används då betongen innehåller byggfukt.

Utifrån resultaten i referensfallet med antaganden gjorda i denna rapport är ”betongstomme med tegelskalmur” den bästa konstruktionen utifrån fuktsynpunkt. Den sämsta konstruktionen utifrån fuktsynpunkt är ”betongstomme med puts på isolering”.

## 16.6 Bastu

Det uppmätta bastuklimatet från Aq-va-kul mättes under mars månad vilket gav bastuklimatet under vintertid. Detta korrigeras för att få motsvarande värden under sommartid. Bastuklimatet får då en hög relativ fuktighet under sommarmånaderna då den kan nå upp till 60 %.

Faktorer som påverkar mängden fukt i bastuklimatet är exempelvis hur många personer som använder bastun, hur mycket vatten som tillförs bastuaggregatet och hur många personer som vill torka sina handdukar i bastun efter bad.

Klimatet som använts i simuleringarna är på säkra sidan då korrigeringen av sommarfallet är genomförd. Det är inte helt rimligt att den relativa fuktigheten når 60 % under sommartid, då den relativa fuktigheten i en våtbastu varierar mellan 5-15 % utan ytterligare vattentillförsel. Det kan tänkas att kurvan för den relativa fuktigheten skulle byta form genom att höja vintermånaderna och sänka sommarmånaderna. Eftersom klimatet används i alla simuleringarna för bastu kan jämförelser mellan ytterväggskonstruktionerna ändå genomföras.

Offentliga bastuanläggningar utsätts för stora påfrestningar på grund av höga temperaturer, höga fukthalter och stor användning, den omslutande konstruktionen ska därför vara moståndskraftig mot det extrema klimatet. För att skapa en konstruktion som klarar detta extrema klimat kontrolleras många olika konstruktioner och lösningar.

I resultatet för alla väggar framgår det att bastuklimatet är ett mer fördelaktigt klimat än referensfallet då det är ett varmare klimat. Två av tre väggar klarar bastumiljön mycket bra medan väggen ”betongstomme med puts på isolering” fortfarande visar höga riskvärden. Problemet med byggfukt i den konstruktionen kvarstår även med bastuklimat.

Det framgår tydligt i simuleringarna för alla väggar att luftläckaget genom plastfolien har stor påverkan på konstruktionerna då potentialskillnaderna mellan utomhus och inomhus är stora. Det största luftläckaget som används är 200 % av passivhuskravet från FEBY12 på  $0,3 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$  vid en tryckskillnad på 50 Pa, då passivhuskravet är ett relativt hårt krav. I intervjuerna i skadepreventionen framgår att lufttätheten är A och O i badhusmiljöer vilket simuleringarna och analyserna kan intyga. Konstruktionen som klarar störst luftläckage är ”betongstomme med tegelskalmur” på halva passivhuskravet medan de övriga två konstruktionerna behöver vara helt lufttäta för att få låga riskvärden.

Sommarkondensfenomenet är i fallet med bastu inte alls lika påtagligt i konstruktionerna då de blir varmare och mätnadsånghalten i ytterväggen ökar. Störst skillnad ses i konstruktionen med mest sommarkondens i referensfallet ”regelstomme med tegelskalmur”. Denna konstruktion får endast enstaka gula riskvärden i Lund vilket i sin tur gör att luftomsättningen i luftspalten har en mindre påverkan på den konstruktionen.

Tegelskalmuren absorberar en andel av slagregnet och i bastuväggarna har andelen av slagregnet som absorberas en liten betydelse. I ”regelstomme med tegelskalmur” försämras konstruktionen lite i söder, på grund av en ökad mängd sommarkondens, men i övrigt ligger värdena relativt konstant.

Resultaten från simuleringar med skivfasad visar att val av fasadmateriäl kan förbättra en konstruktion. Sommarkondensfenomenet som uppstår i tegelskalmuren gör att dessa konstruktioner uppvisar högre riskvärde än skivfasadssystemet, som inte absorberar något slagregn. Därmed kan konstruktionen även rekommenderas med en annan typ av luftat fasadssystem, exempelvis med skiva eller träpanel.

Den invändiga luftspalten har simulerats med 5 oms/h med bastuluft. En förenkling som har gjorts på grund av begränsningar i WUFI. Det hade varit fördelaktigt att kunna använda normal inomhusluft i luftspalten, dock ses bastuluft i luftspalten som ett antagande på säkra sidan då normal inomhusluft är torrare.

Resultaten från simuleringarna visar att olika väggar kräver olika bastuuppbyggnader. Det finns inte ett generellt svar på hur bastuväggen ska byggas ur fuktsynpunkt. ”Betongstomme med tegelskalmur” bör byggas med plastfolie och bastupanel, ”regelstomme med tegelskalmur” bör byggas med luftspalt och bastupanel och ”betongstomme med puts på isolering” bör endast kompletteras med bastupanel med avseende på fukt under valda förutsättningar. Att uppbyggnaderna blir olika för ytterväggarna anses rimligt då de har olika förutsättningar och möjligheter. Faktorer som byggfukt påverkar inte ”regelstomme med tegelskalmur” nämnvärt medan det är en avgörande faktor i ”betongstomme med puts på isolering”.

Den invändiga mineralullen var inte aktuell i någon av konstruktionerna då den gör att konstruktionens utsida blir kallare vilket är negativt ur fuktsynpunkt. En temperaturskillnad på 1°C ger en skillnad i relativ fuktighet på 5 %.

Utifrån resultaten med bastuklimat och med antagande gjorda i denna rapport är ”betongstomme med tegelskalmur” och ”regelstomme med tegelskalmur” jämförbara med marginella skillnader. Regelkonstruktionen visar något mindre riskvärde men betongkonstruktionen är en robustare konstruktion utifrån analyser. Den sämsta konstruktionen utifrån fuktsynpunkt är ”betongstomme med puts på isolering”.

## 16.7 Dusch

Temperaturen från duschklimatet som mättes upp i badhuset Aq-va-kul i Malmö används i simuleringarna, medan den relativa fuktigheten sätts till 100 % konstant. Orsaken till att den uppmätta relativa fuktigheten inte används i WUFI är att ytterväggen byggs upp fram till

tätskiktet i duschen, där antas RF vara 100 % konstant bakom kakelplattorna. Antagandet gör att beräkningarna är på säkra sidan.

Duschklimat kunde endast simuleras i två av tre ytterväggskonstruktioner, ”betongstomme med tegelskalmur” och ”regelstomme med tegelskalmur”. För den kompakta konstruktionen ”betongstomme med puts på isolering” blir de numeriska balansproblemen så påtagliga att de få resultat som går att få fram inte anses tillförlitliga. Orsaken är förmodligen att det blir så stora fuktbelastningar på ytterväggen att det inte går att räkna på. Detta tolkas som att den kompakta ytterväggen inte bör rekommenderas i duschutrymmen utifrån resultaten i denna rapport.

I ytterväggskonstruktionerna med duschklimat kontrolleras inte effekten av ett läckage i väggen, detta på grund av att det finns tydliga regler och krav på tätheten i duschutrymmen och att det redan är välkänt att läckage i dessa driftmiljöer inte kan accepteras.

Ytterväggskonstruktionerna uppvisar ett något bättre resultat jämfört med referensfallet, detta beror sannolikt på att temperaturen i duschen är högre än temperaturen i vardagsrummet för referensfallet. Detta gör att hela ytterväggen blir lite varmare vilket sänker den relativa fuktigheten i väggen. För båda konstruktionerna är Lund det värsta utomhusklimatet utifrån fuksynpunkt.

För konstruktionen ”betongstomme med tegelskalmur” är byggfukten i betongen en viktig parameter, för att få ned den höga risken vid monitor 1 krävs att byggfukten minskas från  $100 \text{ kg/m}^3$  till  $25 \text{ kg/m}^3$ , dock kvarstår en risk för mögelpåväxt på trämaterial vid monitorn. Huruvida det är rimligt att byggfukten kan minskas till dessa värden kan diskuteras. För konstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” finns inga större byggfuktshalter att spela med i simuleringarna eftersom träreglar inte normalt ska användas i konstruktionen, detta har därför inte kontrollerats djupare.

Båda de undersökta ytterväggskonstruktionerna har en utvändigt luftspalt som ventileras med 10 luftomsättningar per timme. För att konstruktionerna ska bli riskfria måste luftomsättningarna i luftspalterna ökas till 50 oms/h, vilket är mycket svårt att uppnå i verkligheten.

Gällande ”betongstomme med tegelskalmur” verkar sd-värdet på tätskiktet spela mindre roll, sd-värde 20 m eller 100 m uppvisar inga större skillnader. Det samma gäller för regnvattenabsorption i tegelskalmuren, 70 % eller 90 % absorption uppvisar inga större skillnader för konstruktionen utifrån fuksynpunkt.

För konstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” spelar det däremot en stor roll vilket sd-värde tätskikten i konstruktionen har. Simuleringarna utförda i detta examensarbete visar att för att få bäst resultat utifrån fuksynpunkt bör dubbla tätskikt användas i denna konstruktion, vilket är något kontroversiellt. Resultaten visar dock att det är mycket viktigt att den befintliga plastfolien i väggen då måste vara en diffusionsöppen variant och att plastfolien mot duschklimatet måste vara mycket tät (sd-värde 100 m). Det beror på att den variabla ångspärren kan släppa igenom fukt som tar sig igenom från duschklimatet men stoppar sommarkondensen från utsidan. Gällande regnvattenabsorption i tegelskalmuren



visar resultaten att 90 % regnvattenabsorption inte kan accepteras i konstruktionen, risken för mögelpåväxt blir då hög vid alla monitorer.

Resultaten i detta examensarbete visar således att ”betongstomme med tegelskalmur” är en mer robust konstruktion än ”regelstomme med tegelskalmur” i det aktuella fallet med angivna förutsättningar och antaganden.

Vid byte av tegelskalmuren till ett skivfasadsystem blir resultaten bättre i båda konstruktionsfallen. För betongkonstruktionen innebär bytet att konstruktionen kan accepteras utifrån fuktsynpunkt vid båda monitorerna medan regelkonstruktionen fortfarande visar risk längst ut i monitor 1. Även i detta fall visar sig alltså betongkonstruktion vara mer robust. Därmed kan konstruktionen även rekommenderas med en annan typ av luftat fasadsystem, exempelvis med skiva eller träpanel

Utifrån resultaten med duschklimat och med antaganden gjorda i denna rapport är ”betongstomme med tegelskalmur” den bästa konstruktionen utifrån fuktsynpunkt, ”regelstomme med tegelskalmur” uppvisar endast marginella skillnader och kan anses likvärdig. Den sämsta konstruktionen utifrån fuktsynpunkt torde vara ”betongstomme med puts på isolering” som inte gick att simulera med duschklimat.

## 16.8 Skadekarteringen

Skadekarteringen ger en bild av hur dagens badhus ser ut och vilka problem som finns. Det kan konstateras att det finns vissa gemensamma nämnare i intervjuerna så som lufttätethet, ventilationens påverkan, korrosionsproblem och vattenkemin.

De intervjuade poängterade att kunskapen och bristen på erfarenhet är stor i branschen vad gäller byggnation av badanläggningar. Simuleringar i rapporten kan verifiera att utformningen av konstruktionsuppbyggnaden är komplicerad.

I intervjuerna framkommer även att bristen på kunskap och förståelse för det extrema klimatet är en viktig aspekt för att utföra byggnationen på ett korrekt sätt. Simuleringarna verifierar att lufttätetheten är en känslig parameter för ytterväggskonstruktionerna, vilka måste utföras med noggrannhet för att undvika skador.

Det är både lättare och billigare att bygga rätt från början än att rätta till problem som uppkommer efter ett antal år. Att åtgärda skador som uppkommer under brukstiden är inte lätt på dessa anläggningar. Ofta går det inte att åtgärda skadorna och då måste anläggningen rivs, i vissa fall långt innan den tekniska livslängden anses vara nådd. På grund av detta ger denna rapport en fingervisning om anläggningarnas komplexitet och behov av vidare undersökningar.

I skadekarteringen har tre intervjuer genomförts med tre skadeutredare. För att kunna dra fler paralleller och se tydliga samband hade fler intervjuer behövt genomföras i skadekarteringen. Det har dock varit svårt att få tag i personer som har tid och möjlighet att svara på våra frågor vilket har gjort att skadekarteringen har fått ta en mindre del i rapporten.

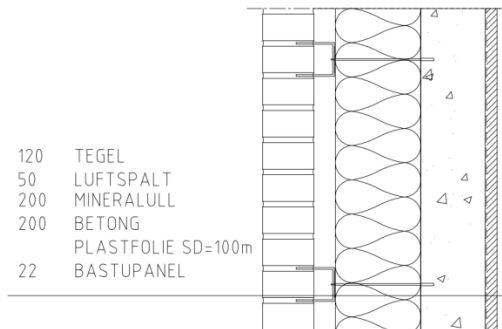
## 17 Slutsatser

Följande övergripande slutsatser kan dras utifrån redovisade antagande och förutsättningar i detta examensarbete.

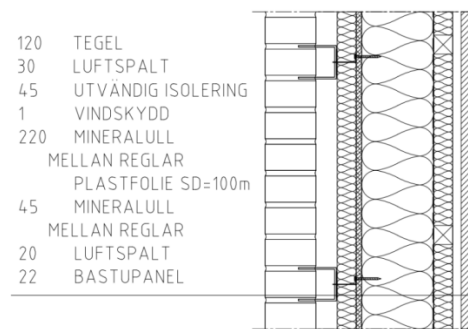
- Extrema driftmiljöer kräver erfarenhet och kunskap om dessa. Brist på kunskap och erfarenhet är troligtvis en av de största bidragande faktorerna till varför anläggningar med extrem driftmiljö är i så dålig kondition i dagsläget. Erfarenhetsåterföringen måste förbättras så att det finns klara referenser vid nybyggnation.
- Extrema klimat kräver robusta konstruktioner. Till skillnad från hållfasthetsberäkningar finns inga självklara dimensionerande lastfall för fuktberäkningar, alla olika ingångsparametrar beror av varandra och det är svårt att veta vilken kombination som ger det dimensionerande fallet. Följaktligen är det viktigt att beräkningarna är gjorda på säkra sidan och att konstruktionen tillåter en viss marginal.
- Bäst utifrån fuksynpunkt är inte nödvändigtvis bäst utifrån andra aspekter. Exempelvis kan invändig isolering inte rekommenderas i bastuväggarna. Utan isolering erhålls en varmare konstruktion och således fuktmässigt säkrare, utifrån energisynpunkt är däremot en oisolerad bastukonstruktion tveksam.
- Betongstomme mer robust än regelstomme. Utifrån fuksynpunkt visade det sig att ”betongstomme med tegelskalmur” var mer robust än ”regelstomme med tegelskalmur”. Den konstruktion som fungerade sämst ur fuksynpunkt var ”betongstomme med puts på isolering”.
- Bygg med luftat fasadsystem. I samtliga fall visade sig att ett luftat fasadsystem ger en bättre konstruktion utifrån fuksynpunkt. I robusthetsanalysen visade sig skivfasadsystemet vara bättre än tegelskalmur utifrån fuksynpunkt.
- Ytterväggarna tål endast minimalt luftläckage. Ytterväggskonstruktionerna visade sig inte tåla något nämnvärt läckage, lufttätheten är således väsentlig i byggnationen av ytterväggskonstruktioner.
- Byggfukten en viktig faktor vid nybyggnation. Effekten av byggfukt i betong och tegelskalmur kan inte försummas då ytterväggskonstruktionerna utvärderas ur fuksynpunkt. För långa uttorkningstider kan innebära ohållbara fuktillstånd i ytterväggarna.

Utifrån redovisade antagande och förutsättningar i detta examensarbete presenteras rekommenderade lösningar på de aktuella ytterväggskonstruktionerna i anslutning till bastu- och duschmiljö.

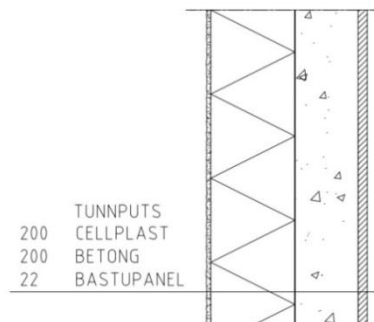
Rekommenderade bastuuppbyggnader utifrån fuksynpunkt för respektive yttervägg.



**Figur 54.** Betongstomme med luftat fasadsystem med exempelvis tegelskalmur, skivfasad eller träpanel.

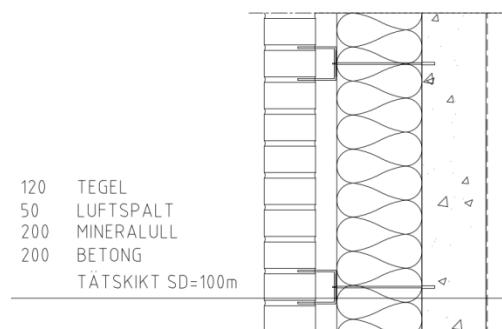


**Figur 55.** Regelstomme med luftat fasadsystem med exempelvis tegelskalmur, skivfasad eller träpanel.

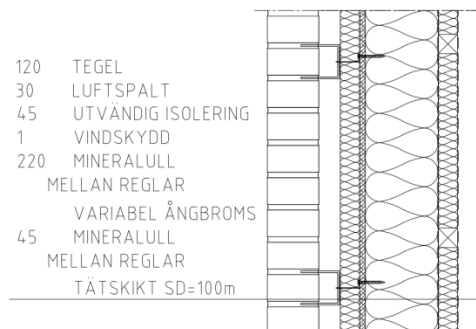


**Figur 56.** Betongstomme med puts på isolering.

Rekommenderade duschuppbyggnader utifrån fuksynpunkt för respektive yttervägg.



**Figur 57.** Betongstomme med luftat fasadsystem med exempelvis tegelskalmur, skivfasad eller träpanel.



**Figur 58.** Regelstomme med luftat fasadsystem med exempelvis tegelskalmur, skivfasad eller träpanel.

Den kompakt konstruktionen ”betongstomme med puts på isolering” kan inte rekommenderas i duschmiljö då den inte går att simulera i WUFI.

## 18 Förslag på fortsatta studier

Verifiering av beräkningsresultaten genom att mäta på aktuella ytterväggskonstruktioner i färdigställd byggnad med relevant driftmiljö.

Djupare undersökning på ytterväggskonstruktionen ”regelstomme med tegelskalmur” och analys av de numeriska obalanser som uppstår vid simulering i WUFI.

Vidare analys av bastuklimat med högre temperatur eller fuktbelastning än vad mätningarna på badhuset Aq-va-kul visade. Det hade varit önskvärt att logga klimatet i en bastu med känd användarbelastning.

Mer omfattande skadekartering innehållande fler intervjuer och platsbesök för att kunna kartlägga problem och lösningar och därefter dra mer generella slutsatser.

Andra analysverktyg än M-modellen för att analysera simuleringsresultaten utifrån detta examensarbete och även jämföra de olika verktygen sinsemellan.

Kontrollera andra ytterväggskonstruktioner än de presenterade konstruktionerna i detta examensarbete för att utvärdera om resultaten kan appliceras på ytterväggar generellt.

Vidare studier på byggfuktens påverkan på ytterväggskonstruktionerna genom att mäta byggfukten och beräkna med hjälpmedlet Torka S.



## 19 Källförteckning

### 19.1 Litteraturförteckning

Abel, Enno och Elmroth, Arne (2008). *Byggnaden som system*. Upplaga 2. ISBN 9789154060207. Stockholm: Formas.

Adalberth, Karin (1998). *God Lufttätthet – En guide för arkitekter, projektörer och entreprenörer*. ISBN 9154058090. Stockholm: Byggeforskningsrådet.

Anticimex (2014). *Faktablad – Våtrum*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.anticimex.com/Documents/Boende\\_inomhusmiljo/Faktablad\\_v%C3%A5trum.pdf?epslanguage=sv](http://www.anticimex.com/Documents/Boende_inomhusmiljo/Faktablad_v%C3%A5trum.pdf?epslanguage=sv)> Hämtad: 2014-05-11.

Arena Skövde (2014). *Vattenkvalitet och hygien vid bad*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.arenaskovde.se/bad/viktigt-om-hygien-och-vattenkvalitet/>>. Hämtad: 2014-04-22.

Aquademica (2014). *Mögel i hus*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.aquademica.se/mogel/>>. Hämtad: 2014-02-11.

Bastubutiken (2014). *Bastubadanvisningar*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.bastubutiken.se/infosidor/Bastubadanvisningar\\_9](http://www.bastubutiken.se/infosidor/Bastubadanvisningar_9)>. Hämtad: 2014-03-19.

Bengtsson, Bengt (2011). *Manual för verktyget "m-modellen", en riskvärdering av mögeltillväxt – interndokument*. Skanska Teknik AB Malmö.

Berggren, Björn et al. (2010). Fuktssäkerhet och isolering i välisolerade hus – Hur kan takkonstruktionerna optimeras? *Bygg & Teknik* Nr.4, s.23-28.

Borås stad 2014. *Tömning av vatten från poolen*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.boras.se/download/18.46ec9ed213f5b5e876f80009144/1390355473859/T%C3%B6mning+av+vatten+fr%C3%A5n+poolen.pdf>>. Hämtad: 2014-04-22.

Brander, Peter (2004). *Badhus – Interndokument*. Skanska Teknik Malmö.

Bøhlerengen, Trond et al. (2004). *Håndbok 52: Bade- og svømmeanlegg*. Upplaga 1. ISBN 8253608020. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Dagens Nyheter (2012). *Badhus i förfall kostar miljarder*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.dn.se/nyheter/sverige/badhus-i-forfall-kostar-miljarder/>>. Hämtad: 2014-02-07.

Dahlén, Agneta (2010). *Konferensrapport: Riva – Renovera – Bygga nytt*. Konferens 2010-06-07 Stockholm. [Pdf] Ansvarig utgivare: Roger Johansson, Kompetenscentrum för Idrottsmiljöer.

Energi & miljö (2010). *Ökad badaktivitet ger mer korrosion*. [www]. Tillgänglig:

<<http://www.energi-miljo.se/2010/02/okad-badaktivitet-ger-mer-korrision/>>. Hämtad: 2014-04-22.

Ewing, Annika och Wannberg, Maria (2003). *Liten bok om mögel*. Upplaga 1. ISBN 9197459704. Stockholm: Skansen Byggnadsvård.

Falk, Jörgen och Sandin, Kenneth (2012). *Ventilated rainscreen cladding: Measurements of cavity air velocities, estimation of air change rates and evaluating of driving forces*. Lund: Elsevier.

Fraunhofer IBP 1 (2013). *Fraunhofer IBP, Introduction*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.wufi.de/index\\_e.html](http://www.wufi.de/index_e.html)>. Hämtad: 2014-01-29.

Fraunhofer IBP 2 (2005). *Assessing the Risk of Mould Growth*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufibioinfo\\_e.html](http://www.hoki.ibp.fraunhofer.de/wufi/wufibioinfo_e.html)>. Hämtad: 2014-05-22.

Fuktsäkra byggnader 1 (2014). *Fuktkällor och lösningar*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.fuktsakerhet.se/sv/delar/vagggar/massiva/fukttekn/Sidor/default.aspx#betongv%c3%a4gg>>. Hämtad: 2014-05-08.

Fuktsäkra byggnader 2 (2014). *Olika typer av fasadbeklädnad*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.fuktsakerhet.se/sv/delar/vagggar/utfackning/fukttekn/fasadbekl/Sidor/default.aspx>>. Hämtad: 2014-05-08.

Hållbart byggande (2013). Kurs vid LTH: VBFN01 Hållbart byggande. *WUFI och Folos*. Föreläsare: Olof Mundt-Petersen.

Hägerhed, Linda (2006). *Indoor Environmental Factors and its Associations with Asthma and Allergy Among Swedish Pre-School Children*. Doktorsavhandling. ISBN 918872235X. Lund: Lunds Universitet.

Icopal (2014). *Produkter – Ångspärrar*. [www]. Tillgänglig: <[http://byggkatalogen.byggjtjanst.se/icopal\\_ab/plastfolie/icopal\\_bastufolie\\_angsparr/i166347/](http://byggkatalogen.byggjtjanst.se/icopal_ab/plastfolie/icopal_bastufolie_angsparr/i166347/)>. Hämtad: 2014-03-05.

Isaksson, Tord och Thelandersson, Sven (2010). *Critical conditions for onset of mould growth under varying climate conditions*. Elsevier: Lund.

Isover 1 (2009). *System för lufttätthet och fuktsäkerhet*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.isover.se/files/Isover\\_SE/Om\\_Isover/Kontakta\\_oss/Broschyrer\\_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf](http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf)>. Hämtad: 2014-03-05.

Isover 2 (2014). *Så får du bastun att fungera perfekt*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.isover.se/till%C3%A4ggsisolering+och+sm%C3%A5hus/tips+till+hus%C3%A4gare/bastu>>. Hämtad 2014-05-21.

Jansson, Anders (2006). *Tätskikt bakom kakel i våtrumsvägg*. SP Rapport 2006:46. ISBN: 9185533343. Borås: SP Sverige tekniska forskningsinstitut.

Jansson, Anders och Samuelson, Ingemar (2009). *Putsade regelväggar*. SP Rapport 2009:16. ISBN 9789186319007. Borås: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

LFS 1 (2014). *Mögel relaterat ämnen som hus forskning hälsa*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.lfs-web.se/mogel.htm>>. Hämtad: 2014-02-11.

LFS 2 (2014). *Hussvamp och rötsvamp- sprids som mögel*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.lfs-web.se/hussvamp.htm>>. Hämtad: 2014-02-11.

Lunds Universitet 1 (2010). *FuktCentrum – Omräkning av enheter*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/materialegenskaper/omraekning\\_av\\_enheter](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/materialegenskaper/omraekning_av_enheter)>. Hämtad: 2014-05-21.

Lunds Universitet 2 (2014). *FuktCentrum - ByggaF-metoden*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/fuksaekert\\_byggande/byggaf\\_metoden/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/fuksaekert_byggande/byggaf_metoden/)>. Hämtad: 2014-01-29.

Lunds Universitet 3 (2013). *FuktCentrum – ByggaF Branschstandard*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/ByggaF\\_Branschstandard/1\\_ByggaF\\_branschstandard.pdf](http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/ByggaF_Branschstandard/1_ByggaF_branschstandard.pdf)>. Hämtad: 2014-05-21.

Lunds Universitet 4 (2008). *FuktCentrum - WUFI*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/windows\\_baserad\\_dator\\_program/wufi/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/windows_baserad_dator_program/wufi/)>. Hämtad: 2014-01-29.

Lunds Universitet 5 (2008). Nilsson, Lars-Olof. *FuktCentrum - Räkna på fukt*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/raekna\\_paa\\_fukt/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/raekna_paa_fukt/)>. Hämtad: 2014-01-29.

Lunds Universitet 6 (2014). *FuktCentrum – Windows-baserad Dator program*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/windows\\_baserad\\_dator\\_program/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/windows_baserad_dator_program/)>. Hämtad: 2014-05-14.

Miljösamverkan Värmland (2011). *Tillsyn badanläggningar*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.miljosamverkanvarmland.se/wp-content/uploads/2011/10/Handledning-tillsynbad.pdf>>. Hämtad: 2014-04-22.

Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukthandbok – praktik och teori*. Uppläga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.

Nilsson (2009). *Kunskapsläge och råd kring fuksäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.sp.se/sv/index/research/woodbuild/publications/Documents/TVBM-3151.pdf>>

Nordtec (2013). *Dataloggrar – Testo 174H*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.nordtec.se/produkter/dataloggrar/fukt/testo-174h#tab-3>> Hämtad: 2014-02-28.



Orestål, Ulla (2007). *Byggvägledning. 7, Ventilation: en handbok i anslutning till Boverkets byggregler*. Upplaga 4. Stockholm: Svensk byggtjänst.

Petersson, Bengt-Åke (2012). *Byggnaders klimatskärm – Fuktsäkerhet, energieffektivitet, beständighet*. Upplaga 2:1. ISBN 9789144082837. Lund: Studentlitteratur AB.

Sandin, Kenneth (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. Upplaga 1:1. ISBN 9789144059914. Lund: KFS AB.

Sandin, Kenneth (1991). *Skalmurskonstruktionens fukt- och temperaturbetingelser*. ISBN 9154053609. Byggeforskningsrådet.

SCN 1, Sverige Centrum för Nollenergihus (2013). *Sveriges centrum för nollenergihus*. [www] Tillgänglig: <<http://www.nollhus.se/om-foereningen>>. Hämtad: 2014-05-15.

SCN 2, Sverige Centrum för Nollenergihus (2012). *FEBY 12 - Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.nollhus.se/dokument/Kravspecifikation%20FEBY12%20-%20bostader%20sept.pdf>>. Hämtad: 2014-05-15.

Sjuka hus (2012). *Mögel och mögelsvampar*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.sjuka-hus.com/mogel-och-mogelsvampar/>>. Hämtad: 2014-02-11.

Skanska (2009). *Tänk efter före – interndokument*. Skanska Teknik Malmö.

SP (2012). *SP- Våtrum*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.sp.se/vatrum>>. Hämtad: 2014-02-11.

Sveriges Radio (2011). *Badhus behöver renoveras*. [www]. Tillgänglig: <<http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=87&artikel=4538080>>. Hämtad: 2014-02-07.

Säker Vatten (2011). *Branschregler: Säker Vatteninstallation 2011:1*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.sakervatten.se/branschregler>>. Hämtad: 2014-05-21.

Tylö (2014). *Tips & Inspiration*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.tylo.se/inspiration--tips#!badformer>>. Hämtad: 2014-05-21.

Vattenkvalité AB (2011). *Hälsa och miljö*. [www]. Tillgänglig: <[http://vattenkvalite.com/halsa\\_och\\_miljo3.html](http://vattenkvalite.com/halsa_och_miljo3.html)>. Hämtad: 2014-04-22.

Vattenskadecentrum 1 (2012). *Vattenskadeundersökningen 2012 -Vattenskador totalt perioden 1985-2011*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.vattenskadecentrum.se/index.php3?use=publisher&id=25>>. Hämtad: 2014-02-11.

Vattenskadecentrum 2 (2013). *Vattenskadeundersökningen 2013 - Original pdf*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.vattenskadecentrum.se/index.php3?use=publisher&id=25>>. Hämtad: 2014-05-22.

Wikenståhl, Torsten (2000). CC Höganäs badbassänger. Nr B 1:1-5:3. CC Höganäs Byggkeramik AB. Ekeby: Ricchetti Group.

WUFI Pro 5.3 (2013). Online Help- Programinformation.

## 19.2 Bildförteckning

Bild 1. Svensk Försäkringsstatistik: kostnader för vattenskador 1985-2011. *Svensk försäkringsstatistik* (2013). [www]. Tillgänglig: <<http://www.vattenskadecentrum.se/index.php3?use=publisher&id=25>>. Hämtad: 2014-05-21.

Bild 2. Diagram för mätnadsånghalten i luft. Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukt handbok – praktik och teori*. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.

Bild 3. Variation i ånghalt och relativ fuktighet under året. Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukt handbok – praktik och teori*. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.

Bild 4. Livscykel för mycel. Träguiden (2014). *Mikroorganismer*. [www]. Tillgänglig: <<http://traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7371>>. Hämtad: 2014-04-30.

Bild 5. Isoplet som visar hur många dagar det tar innan möglet gror. LFS (2014). *Mögel relaterat ämnen som hus forskning hälsa*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.lfs-web.se/mogel.htm>>. Hämtad: 2014-02-11.

Bild 6. Isoplet som visar hur många dagar det tar innan möglet gror. LFS (2014). *Mögel relaterat ämnen som hus forskning hälsa*. [www]. Tillgänglig: <<http://www.lfs-web.se/mogel.htm>>. Hämtad: 2014-02-11.

Bild 7. Principskiss för enstegstätad respektive tvåstegstätad fasad. Jansson, Anders et al.(2007). *Fuktskador i putsade, odränerade träregelväggar - lägesrapport oktober 2007*. SP Rapport 2007:36. ISBN 9789185533978. Borås: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

Bild 8. Principen för icke-stationär fukttransport. Lunds Universitet 5 (2008). *FuktCentrum - Räkna på fukt*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/raekna\\_paa\\_fukt/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/raekna_paa_fukt/)>. Hämtad: 2014-01-29.

Bild 9. Luftomsättning i luftspalt bakom tegelskalmur. Sandin, Kenneth (1991). *Skalmurskonstruktionens fukt- och temperaturbetingelser*. ISBN 9154053609. Bygghörsningsrådet.

Bild 10. Relativ fuktighet inomhus för olika fukttillskott och orter. Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukthandbok – praktik och teori*. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.

### 19.3 Formelförteckning

- [3.1] Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukthandbok – praktik och teori*. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.
- [9.1] *FuktCentrum - Räkna på fukt*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/raekna\\_paa\\_fukt/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/raekna_paa_fukt/)> Hämtad: 2014-01-29.
- [9.2] *FuktCentrum - Räkna på fukt*. [www]. Tillgänglig: <[http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg\\_och\\_hjaelpmedel/raekna\\_paa\\_fukt/](http://www.fuktcentrum.lth.se/verktyg_och_hjaelpmedel/raekna_paa_fukt/)> Hämtad: 2014-01-29.
- [9.3] WUFI Pro 5.3 online help.
- [12.1] Berggren Björn et al. (2010). Fuksäkerhet och isolering i välisolerade hus – Hur kan takkonstruktionerna optimeras? *Bygg & Teknik* Nr.4, s.23-28.
- [12.2] Berggren Björn et al. (2010). Fuksäkerhet och isolering i välisolerade hus – Hur kan takkonstruktionerna optimeras? *Bygg & Teknik* Nr.4, s.23-28.
- [13.1] Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukthandbok – praktik och teori* EKV 73.8b. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.
- [13.2] Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukthandbok – praktik och teori*. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.
- [13.3] Sandin, Kenneth (1990). *Luftströmning*. EKV L2:4. Lund: Kompendium Byggnadsfysik.
- [13.4] Sandin, Kenneth (1990). *Luftströmning*. EKV L2:6. Lund: Kompendium Byggnadsfysik.
- [13.5] Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt (2006). *Fukthandbok – praktik och teori* EKV 43.10 och 73.10b. Upplaga 3. ISBN 9173331562. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.

## Bilaga 1 - Intervjufrågor

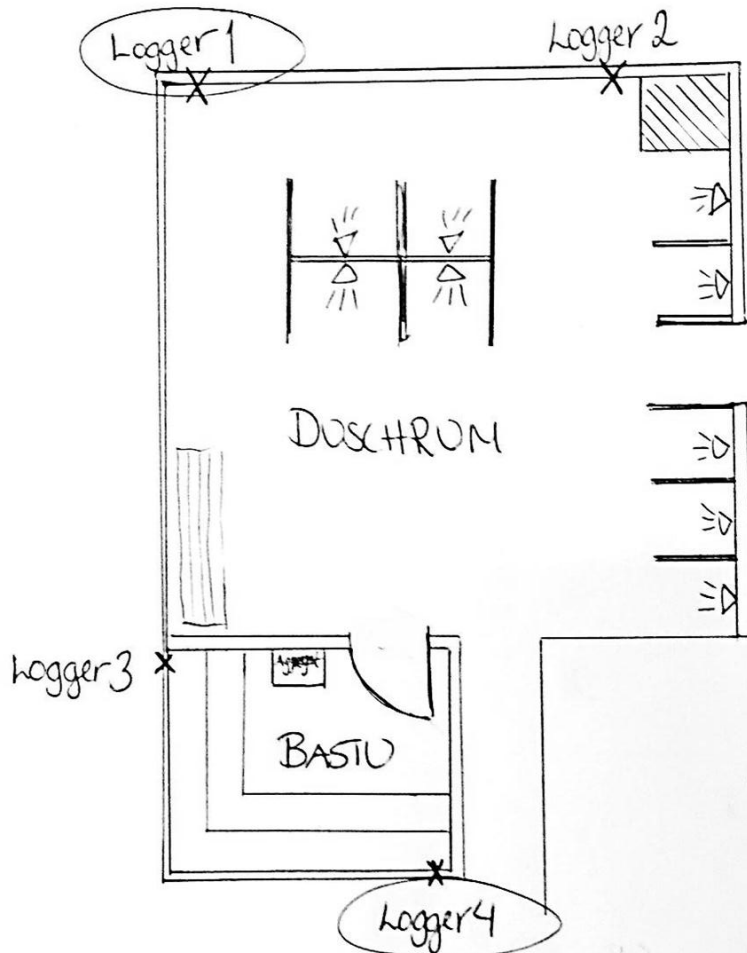
### Allmänt skadefall badhus/offentliga våtrum

- Vi har läst att det idag finns ca 500 badhus i drift i Sverige, tror du att den siffran stämmer?
  - o Hur tror du fördelningen av skadefall ser ut i badhus och simhallar idag?
  - o Hur stor andel tror du har allvarliga skador?
- Vilken är den vanligaste skadan som du stöter på i ditt arbete i badhusmiljöer?
  - o Kan skadorna skilja sig beroende på var i landet du arbetar?
- Vilken är den mest allvarliga skadan du har upplevt i ditt arbete i badhusmiljöer?
  - o Hur vanligt är det att den skadan uppstår?
- Vad finns det för lösningar på problemen kring dessa skador idag?
  - o Vilka är de vanligaste åtgärderna?
  - o Finns det skador som inte går att åtgärda?
  - o Finns det skador som enligt dig inte borde åtgärdas?
- Hur märks det att skador har uppstått?
- Anser du att det är något problem i tekniken som leder till skador i badhuskonstruktioner?
  - o Eller ligger problemen i budgeten?
  - o Eller ligger problemen i utförandet?
  - o Eller ligger problemen i driften?
- Renovera eller riva? Hur brukar du ställa dig i denna fråga?

### Ytterväggar

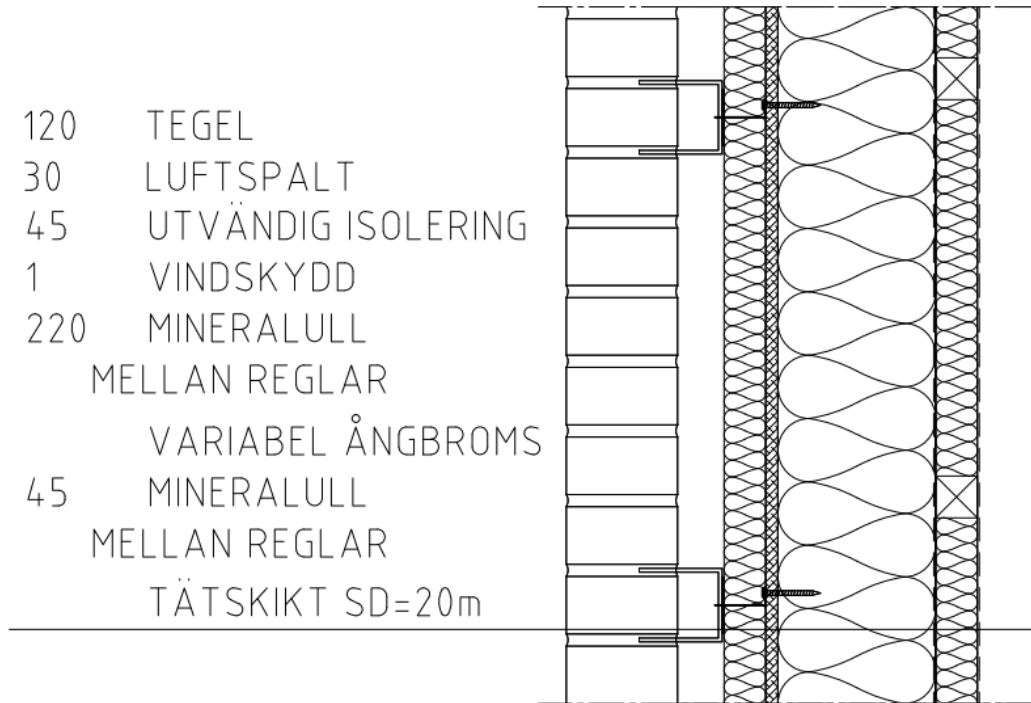
- Brukar du se skador i ytterväggarna i badhusmiljöer?
- Vilken är den vanligaste skadan på ytterväggar i badhusmiljöer?
  - o Hur åtgärdas skadan?
- Har du stött på fel/skador i ytterväggar specifikt i duschrumbastu?
  - o Vad är den vanligaste skadan?
  - o Hur åtgärdas skadan?

## Bilaga 2 – Skiss loggerplacering

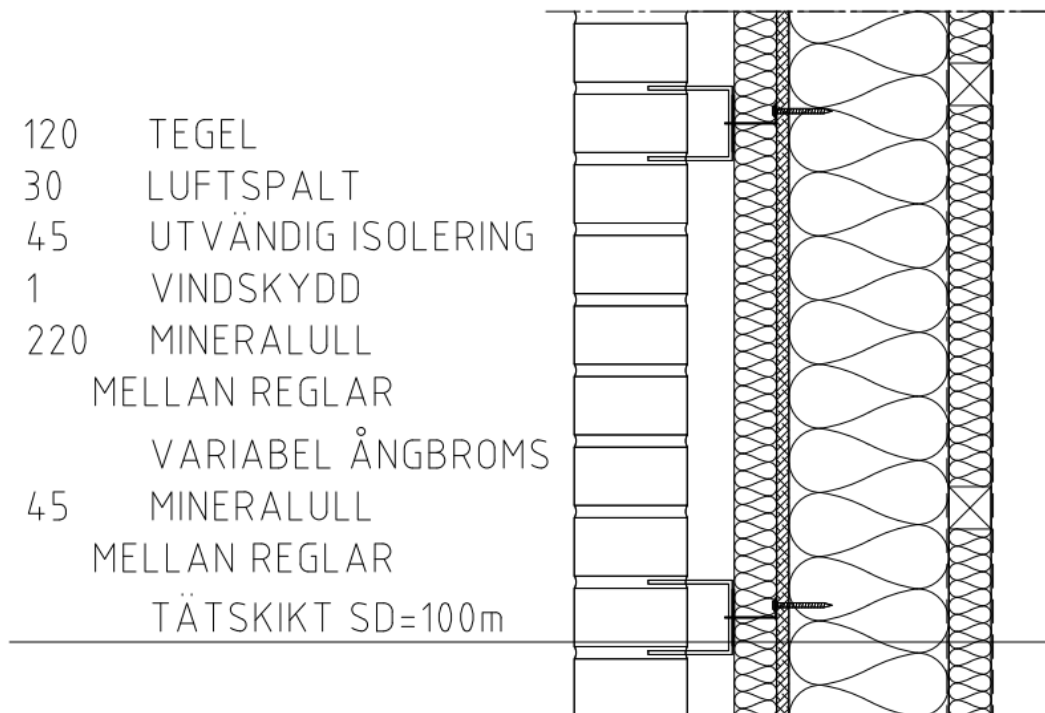


logger 1 och 4 - användes vid skapandet av duschr- och bastuklimat  
logger 2 och 3 - verifierande mätning

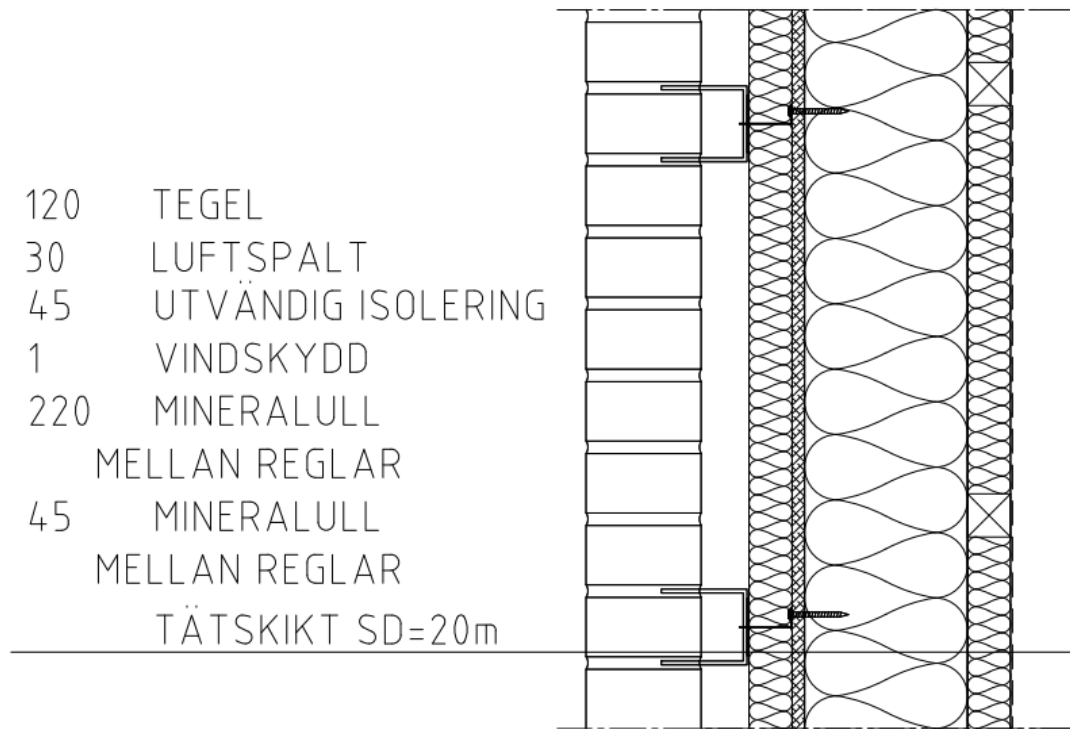
### Bilaga 3 – Duschvägg extra ritningar



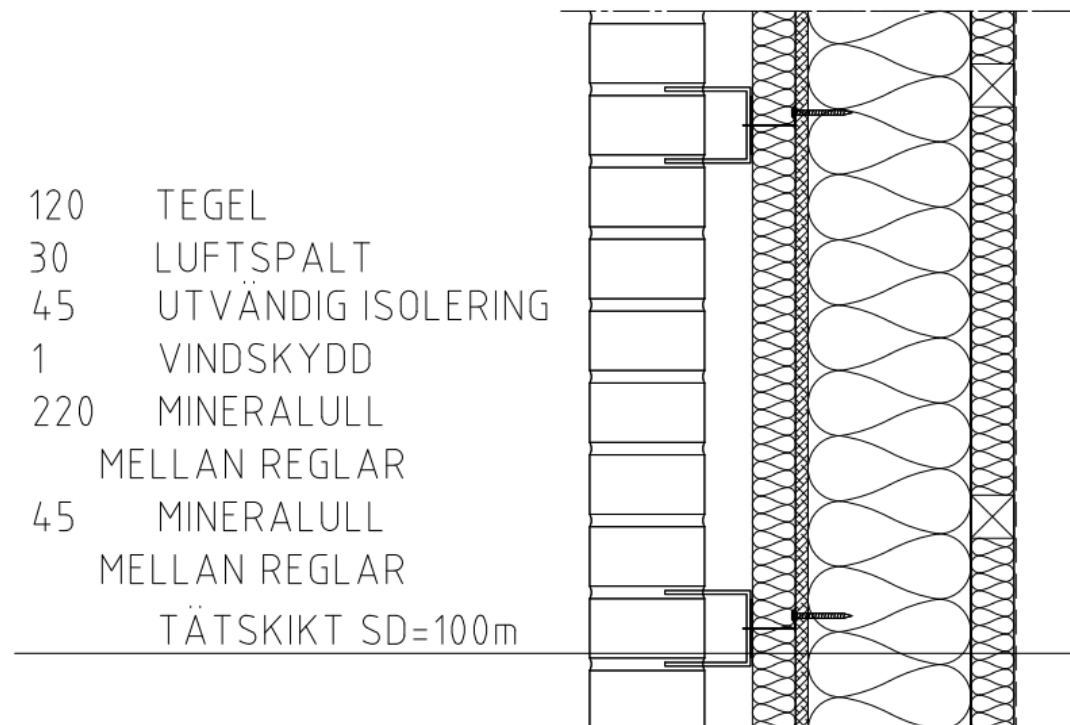
Figur 59. Duschvägg "regelstomme med tegelskalmur" sd-värde 20 m + variabel ångbroms.



Figur 60. Duschvägg "regelstomme med tegelskalmur" sd-värde 100 m + variabel ångbroms.



Figur 61. Duschvägg "regelstomme med tegelskalmur" sd-värde 20 m.



Figur 62. Duschvägg "regelstomme med tegelskalmur" sd-värde 100 m.