

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Mikael Lidner & Carl-Oscar Åkesson

TVBM-5083

Examensarbete

Lund 2011

ISRN: LUTVDG/TVBM--11/5083--SE (1-72)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds tekniska högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

Sammanfattning

Arbetets ursprungliga syfte var att fuktsäkerhetsprojektera ett industriellt väggsystem med hjälp av avancerade fuktberäkningar med hjälp av beräkningsprogrammet Wufi 4.1. Materialegenskaper samlades in från leverantörer och omformulerades så att de passade Wufi. Klimatdata för de tre storstäderna i Sverige inköptes från SMHI och anpassades till Wufi, som då bara hade klimat för Tyskland.

Omfattande beräkningar gjordes under 2007 för olika orter och för olika detaljutformningar av väggsystemet, med försök att ta hänsyn till bjälklagsanslutningar, pelare etc. Så småningom stod det klart att beräkningsverktyget inte klarar av att hantera luftspalter och att det fanns andras egendomligheter i programmet.

När Wufi 4.1 visade sig inte fungera på ett tillförlitligt sätt ändrades uppgiften till att hitta en metod att genomföra fuktsäkerhetsprojekteringen. En fuktsäkerhetsmall för fuktsäkerhetsprojektering med checklista, framtagen av Peab, användes för det aktuella systemet med lyckat resultat.

Wufi 4.1 prövades för en förenklad väggutformning som Wufi klarade av att behandla, dock utan luftspalten. Väggekonstruktionen innehåller inga andra fuktkänsliga material än mineralull och denna blir fuktigare än de kritiska fukttillstånd som anger för materialet. Här fordras att materialleverantörerna tillhandahåller bättre information om sina materials egenskaper.

Förord

Examensarbetet utgör det avslutande moment som ingår i civilingenjörsexamen på Lunds Tekniska Högskola. Uppdragsgivare för arbetet är Peab Sverige AB. Arbetet har gett författarna goda kunskaper i ämnet fukt och skapat värdefulla kontakter inom Peab.

Författarna vill med detta förord tacka alla på Peab som på något sätt varit delaktiga under arbetets gång. Speciellt stort tack riktas till vår handledare Jesper Strandberg.

Författarna vill även tacka Marcus Flarup på SMHI och AK-konsults Mathias Lindskog för oskattbar ingångsinformation till beräkningsprogrammet Wufi.

Slutligen vill författarna även tacka vår handledare på Lunds Tekniska Högskola, Lars-Olof Nilsson för den vägledning han gett oss under arbetets gång.

Helsingborg 28 januari 2011

Carl-Oscar Åkesson

Mikael Lidner

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Förord	4
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.1.1 Nya krav på byggföretagen	7
1.2 Problemställning	8
1.3 Syfte	8
1.4 Avgränsningar	8
1.5 Genomförande	9
1.6 Disposition	9
2 Metod	11
2.1 Metodik	11
3. Bakgrund till fuktsäkerhetsprojektering	12
3.1 Nya krav och råd från BBR	12
3.2 Fuktsäkerhet	13
3.2.1 Fuktsäkerhet i projekteringskedet [6]	13
3.2.2 Fuktsäkerhet i byggprocessen [6]	13
3.3 Högsta tillåtna fuktillstånd	13
3.3.1 Kritiskt fuktillstånd	14
4 Byggelement	18
4.1 Val av element	18
4.1.1 Förutsättningar för analysen	18
4.1.2 Beskrivning av huset	18
4.2 Beskrivning av väggelement	20
5 Materialegenskaper	22
5.1 Kritiskt fuktillstånd gällande vår byggnadsdel	22
5.2 Materialegenskaper	24
5.2.1 Puts	24
5.2.2 Stål	24
5.2.3 Isolering	25
5.2.4 Gips	27
5.2.5 Ångspärr	28
5.2.6 Vindskydd	28
5.2.7 Putsbärare	29
6. Klimatdata	30
7 Fuktsäkerhetsprojektering med checklista	38
7.1 Inledning	38
7.2 Byggnadsbeskrivning	40
7.3 Material	41
7.4 Användningsområde	42
7.5 Inomhusklimat	42

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

7.6 Utomhusklimat	44
7.7 Speciella krav och risker	45
7.8 Nederbörd	46
7.9 Luftfukt utomhus	48
7.10 Luftfukt inomhus	49
7.11 Nederbörd under byggnadstiden	51
7.12 Byggfukt	52
7.13 Läckage	53
8 Beräkningar med Wufi	54
8.1 Yttervägg	57
8.1.1 Studerat snitt	57
8.1.2 Yttervägg placerad i Göteborg	57
8.1.3 Vanlig vägg i Malmö	59
8.1.4 Vanlig vägg i Stockholm	60
8.1.5 Sammanfattning av resultatet för vanliga väggar	61
8.2 Utvärdering av Wufi 4.1	68
8.2.1 För- och nackdelar	69
9 Felkällor	70
10 Slutsatser	71
10.1 Klimatets påverkan på beräkningsresultatet	71
10.2 Förslag på förändringar	71
11 Referenser	72

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Byggföretagen i Sverige har under de senaste decennierna inte utvecklats och effektiviserats i samma takt som tillverkningsindustrin. För att hitta lönsamhet i en ny marknad, hyresrättsmarknaden, har entreprenörföretagen börjat titta på möjligheterna att bygga billigare genom att industrialisera byggandet.

Peab har startat ett nytt företag i koncernen som ska tillverka prefabricerade byggelement och ha industriellt byggande som grund. De olika elementen kommer att produceras i stora volymer och en väl utförd fuktsäkerhetsprojektering är mycket viktig. Ett misslyckande som leder till fuktskador kommer troligtvis orsaka stora kostnader för verksamheten. Vid tillverkning av byggelement i fabrik ställs nya krav på företaget som de inte tidigare har ställts inför.

I senaste utgåvan av BBR har det gjorts tillägg angående fuktsäkerhetsprojektering, där man nu ställer krav på att man använder material med kända kritiska fukttillstånd och att man genomför en fuktsäkerhetsprojektering för att verifiera att man uppfyller kraven. Med de nya förutsättningar kan det vara en fördel och lönsamhet att prefabricera byggnadselement där upprepningseffekten är stor och man behöver inte utföra fuktsäkerhetsprojekteringar vid varje specifikt projekt.

1.1.1 Nya krav på byggföretagen

Fuktskador på byggnader har noggrant bevakats av media och gjort många husägare oroliga. I de flesta fall leder misstag i projekteringen till fuktproblem och fuktskador. I många fall beror fuktskador på pressade byggtider vilket innebär att byggfukten inte hinner torka ut. För att kunna korta byggtiderna krävs noggranna fuktsäkerhetsprojekteringar vilket det i BBR också finns krav och råd om.

Vid senaste utgåvan av BBR (2006) kom det nya krav och råd från Boverket angående fuktsäkerheten i byggnader. Den första föreskriften lyder:

*BBR 6:51 Allmänt
Byggnader skall utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt
eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka
människors hälsa. [1]*

I övriga föreskrifter ställs krav på att man anger det högsta tillåtna fukttillståndet för de material man använder samt att man visar att detta fukttillstånd aldrig överskrids.

Osäkerheter om hur man skall göra när de kritiska fukttillstånden inte är kända och hur omsorgsfull fuktsäkerhetsbeskrivningen skall vara har medfört att BBRs krav börjat diskuteras mycket och har fått stort genomslag.

1.2 Problemställning

Metodiken att göra fuktsäkerhetsprojektering med checklista är allmänt känd i branschen. Branschens större entreprenadföretag har utformat egna checklistor som genomgås under projekteringen. Av sakkunniga har kritiska fukttillstånd för olika material satts upp. Problematiken för projektörerna har varit att verifiera med kvantitativa beräkningar att uppsatta krav uppnås. I dagsläget används nästan uteslutande beprövade lösningar som referensramar.

Företaget IBP-software i Tyskland har tagit fram ett program, Wufi, som kan användas för att utföra icke-stationära beräkningar för olika konstruktioner. Om detta program är ett har blivit en av våra primära problemställningar.

1.3 Syfte

Det ursprungliga syftet var att genomföra fuktsäkerhetsprojektering av ytterväggarna i PGS byggsystem, med hjälp av Wufi. När detta visade sig inte vara möjligt var vi tvungna att revidera målsättningen. Syftet med examensarbetet har blivit att vi skall presentera en metod att utföra en fuktsäkerhetsprojektering med checklista och utvärdera om Wufi är ett lämpligt verktyg för att genomföra en kvantitativ bedömning. Målgrupp för examensarbetet är Peab Sverige AB.

1.4 Avgränsningar

Avgränsningarna vi har gjort bygger på en utförd analys där vi valt ut vilka element som var mest känsliga för fuktrelaterade skador, se kapitel 5. Analysen är utförd genom att vi har ställt upp samtliga byggnadselement och alla skeden som de kommer passera igenom i byggprocessen. Sedan har vi gjort en bedömning av hur känsliga de är i de olika skederna med hänsyn till fukt på en skala 0-5 där 5 är farligast. Resultatet av analysen finns i kapitel 7.

I en fuktsäkerhetsdokumentation för ett projekt bör självklart alla byggnadselement beaktas. På grund av tidsbegränsningar i detta arbete valde vi att kontrollera det element som vi anser vara mest kritiskt. Upprättad handling och metod skall kunna användas även på andra element.

I en fullständig fuktsäkerhetsprojektering bör man lägga fokus på hur konstruktionen som helhet fungerar dvs. kontrollera skarvar, anslutningar mm. Vi har lagt fokus på att bedöma Wufi som ett hjälpmedel vid fuktsäkerhetsprojekteringar.

1.5 Genomförande

Från början var ambitionen att kontrollera om väggsystemet fungerar ur fuktsynpunkt med hjälp av Wufi 4.1. Omfattande beräkningar gjordes under 2007 för olika orter och för olika detaljutformningar av väggsystemet. När Wufi 4.1 visade sig inte fungera på ett tillförlitligt sätt ändrades uppgiften till att hitta en metod att genomföra fuktsäkerhetsprojekteringen. Wufi skulle då också prövas för en förenklad väggutformning som Wufi klarade av att behandla.

1.6 Disposition

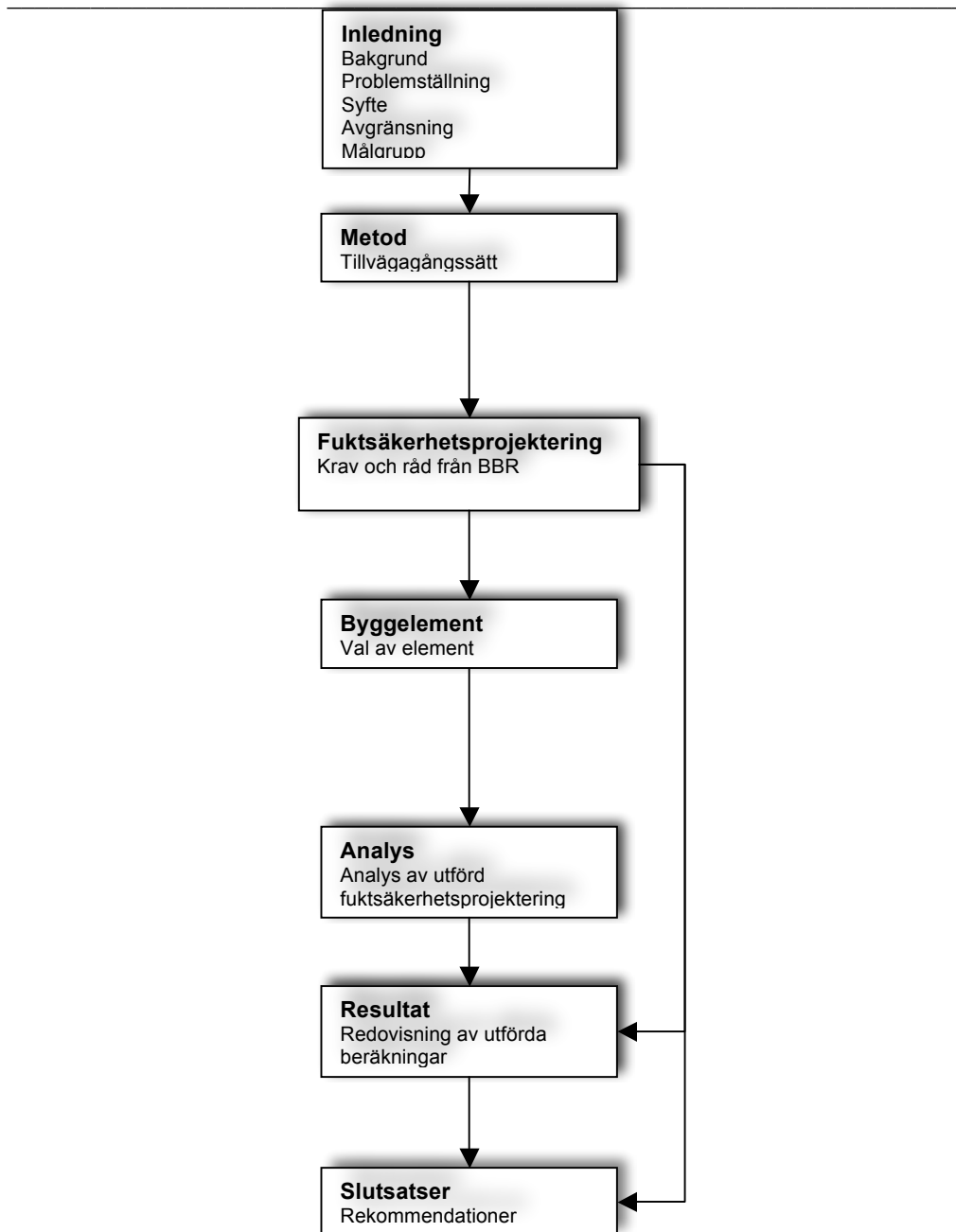
Rapportens upplägg följer den struktur som redovisas nedan, se figur 1.1. Inledande delar beskriver huvudsakligen arbetets bakgrund, problemställning och syfte. Därefter presenteras den metod som författarna använt under arbetets genomförande.

I teorikapitlet presenteras de bakomliggande teorier som är väl kända om fuktkällor, fukttransportmekanismer och fuktrelaterade problem/skador. Inledningsvis följer en sammanfattning.

Insamlad data presenteras i kapitlet 3 och efter detta utförs analysen av valt element.

I rapportens avslutande delar presenteras det resultat och de rekommendationer som författarna kommit fram till efter att metoden har analyserats.

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement



Figur 1.1 Rapportens struktur

2 Metod

2.1 Metodik

Först presenteras varför det är så viktigt att utföra en fuktsäkerhetsprojektering. På så sätt har vi undersökt vilka krav som finns på entreprenörsföretagen från samhället genom BBR.

För att möjliggöra en bra bedömning av vilket element som ska väljas för vidare analys har vi presenterat hur olika byggnadsmaterial påverkas av fukt.

Med hjälp av en analys har vi kommit fram till att det mest kritiska elementet är ytterväggarna, se kapitel 5. För att utföra fuktsäkerhetsprojekteringen på ovanstående element har vi använt oss av Eva Harderups upprättade checklista [3].

Enligt checklistan skall det påvisas att ingående byggnadsmaterial aldrig uppnår kritiskt fukttillstånd. För att säkerställa detta har vi valt att testa en metod för kvantitativ bedömning med hjälp av verktyget WUFI som kan användas för att utföra icke-stationära beräkningar.

Peabs industriella byggande kommer att utföras i Sveriges tre största städer. Därför har vi kompletterat Wufi med klimatdata från dessa orter för att erhålla rätt fuktbelastning.

3. Bakgrund till fuktsäkerhetsprojektering

Enligt *BBR 6:5 111 Definitioner* definieras fuktsäkerhetsprojektering som *systematiska åtgärder i projekteringsskedet som syftar till att säkerställa att en byggnad inte får skador som direkt eller indirekt orsakas av fukt. I detta skede anges även de förutsättningar som gäller i produktions- och förvaltningsskedet för att säkerställa byggnadens fuktsäkerhet [1].*

3.1 Nya krav och råd från BBR

I Boverkets regelsamling för byggande från 2006 så ställs det nya krav på och råd till byggherrarna angående fuktsäkerhetsprojekteringen under ett projekt. Byggherren kräver sedan hjälp av sin projektör och entreprenör för att uppfylla dessa krav.

Allmänt råd

Kraven i avsnitt 6:5 bör i projekteringsskedet verifieras med hjälp av fuktsäkerhetsprojektering. Även åtgärder i andra skeden i byggprocessen påverkar fuktsäkerheten.²

Boverkets mål med revideringen av avsnitt 6:5 anges i Boverkets egen KonsekvensUtredning, BvKU:

Målsättningen är att införa krav på högsta tillåtna fukttillstånd i material och i byggnadsdelar samt råd om "fuktsäkerhetsprojektering", fuktskydd under utförandeskedet och fuktskydd i våtrum. Avsnittet har i hög grad utvecklats och innehåller väsentliga ändringar beträffande struktur och verifiering. Kravnivån är densamma som i tidigare BBR men reglerna har preciserats och formulerats om [6].

Nya regler

Råd om fuktsäkerhetsprojektering

Krav på 75 % relativ fuktighet som högsta tillåtna fukttillstånd för material där annat värde inte är väl undersökt och dokumenterat [6].

Ändrade regler [6]

Krav på att fukttillståndet i en byggnadsdel alltid skall vara lägre än det högsta tillåtna fukttillståndet hos ingående material.

Råd om lutning på golv i utrymmen med golvavlopp har preciserats.

Krav på dränering, grundkonstruktion, vägg, fönster och dörr samt yttertak är ändrade till råd.

I råd sägs att kraven i 6:5 bör verifieras med hjälp av fuktsäkerhetsprojektering i projekteringsskedet.

3.2 Fuktsäkerhet

Enligt BBR 6:53 fuktsäkerhet skall byggnader utformas så att varken konstruktioner eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt.

Fukttillståndet i en byggnadsdel skall alltid vara lägre än det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning. Fukttillståndet skall beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna.[1].

3.2.1 Fuktsäkerhet i projekteringskedet [6]

I BBR 2:13 ges en del allmänna råd som gäller projektering och utförande. Dessa gäller också vid fuktsäkerhetsprojektering.

För att byggherren skall säkerställa att byggnaden blir fuktsäkerhetsprojekterad och utförd enligt gällande regler och krav bör byggherren i ett tidigt skede komma i kontakt med en fuktsakkunnig som stöd för att formulera sina krav på fuktsäkerhet och för att se till att projektering och utförande sker enligt gällande krav och råd.

3.2.2 Fuktsäkerhet i byggprocessen [6]

För att säkerställa fuktsäkerheten under utförandeskedet och i den färdiga byggnaden så att den uppfyller de uppsatta kraven så bör byggherren i ett tidigt skede se till att detta verifieras. Hur verifiering utförs fastställs i kontrollplanen. Verifiering under utförandeskedet kan ske genom att material och produkter identifieras, granskas och provas såvida de inte är byggprodukter med bestyrkta egenskaper eller att det är uppenbart onödigt.

Entreprenören bör verifiera att arbetet utförs enligt gällande handlingar och dessa bör dokumenteras, inklusive eventuella avvikelser från handlingarna och åtgärder som vidtagits till följd av dessa avvikelser samt andra uppgifter av betydelse för den färdiga byggnadsdelens funktion.

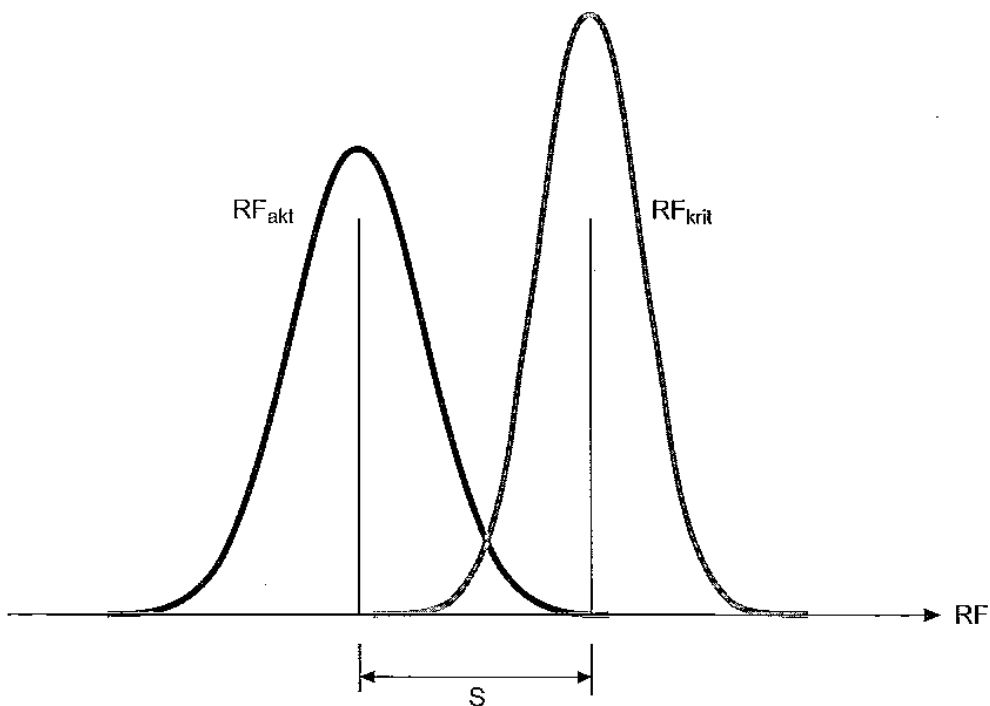
Verifiering i den färdiga byggnaden sker normalt genom provning, mätning eller besiktning beroende på vilken egenskap som skall verifieras. Såväl metod som resultat bör dokumenteras.

3.3 Högsta tillåtna fukttillstånd

BBR ställer krav på högsta tillåtna fukttillstånd i material och när man bestämmer detta skall kritiska fukttillstånd användas och då ta hänsyn till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar eller mätmetoder.

”För material och materialtyper, där mögel och bakterier kan växa, skall väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd användas. Vid bestämning av ett materials kritiska fukttillstånd skall hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet. Om det kritiska fukttillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat skall en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd” [6].

Enligt Nilsson (2007) skall man lägga till en säkerhetsmarginal som dels beror på osäkerheten hos det kritiska fukttillståndet och dels till konsekvenserna av att det kritiska fukttillståndet överskrids. Är konsekvensen liten, kan man välja en mindre säkerhetsmarginal. Är den stor bör man välja en större säkerhetsmarginal, det vill säga lägre sannolikhet för att $RF_{akt} > RF_{krit}$. Problemet visas i figur 3.1.



Figur 3.1. Problemställning vid probabilistisk fuktsäkerhetsprojektering, där hänsyn tas till osäkerheten i storleken hos både fuktpåverkan och den kritiska gränsen. [6]

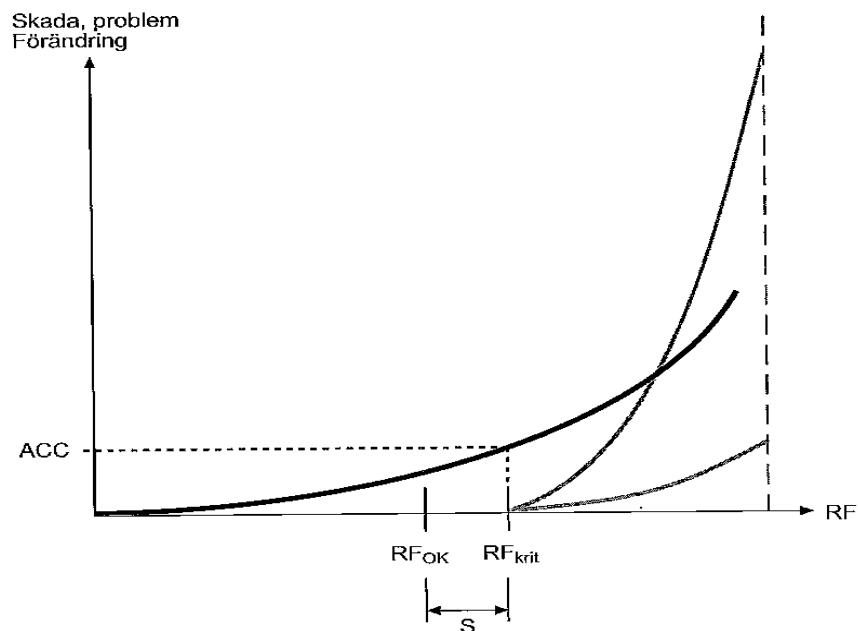
3.3.1 Kritiskt fukttillstånd

Fukt är en av de vanligaste orsakerna till skador i byggnader. Ifall man ska bedöma om det föreligger någon risk för fuktskador i en byggnad måste man utföra beräkningar av fuktförhållandena i konstruktionen. Man måste också veta vilka fuktkriterier som gäller för byggnadsdelen för att inte riskera fuktskador. Man sätter upp fuktkriterier och definierar det kritiska fukttillståndet för de olika materialen i byggnadselementet [6]

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

”Ett kritiskt fuktillstånd RF_{krit} är en tydlig gräns mellan när ett material inte förändras alls av en fuktbelastning och när sådan förändring uppkommer, se figur 3:1. Exempel på förändring där sådana kritiska fuktillstånd kan definieras är mikrobiell påväxt, uppkomst av sekundära emissioner, frostsador, korrosion etcetera”.

”I många fall finns inte en sådan tydlig gräns där förändringar på grund av fukt börjar ske. Exempel på sådana gradvisa förändringar är fuktrörelser och ändringar av termiska och andra materialegenskaper. I dessa fall måste man acceptera en viss förändring och man får definiera den kritiska nivån efter hur stor förändring som är acceptabel, se figur 3.2”



Figur 3.2. Definitionen av kritiskt (RF_{krit}) och högsta tillåtna fuktillstånd (RF_{ok}), med en säkerhetsmarginal S däremellan. [6]

På Boverkets uppdrag har SP analyserat litteraturuppgifter om kritiska fuktillstånd för mikrobiell tillväxt. Resultaten sammanfattas i tabell 3:1

Tabell 3:1. Kritiskt fukttillstånd för smutsade och rena material, föreslagna av SP(2004), med avseende på "mikrobiell tillväxt med några procents risk" [6]

Materialgrupp	Kritiskt fukttillstånd [%RF]
Smutsade material	75–80
Trä och träbaserade material	
Gipsskivor med papp	80–85
Mineralullsisolering	90–95
Cellplastisolering (EPS)	
Betong	

I tabell 3:1 sägs inget om fuktbelastningens varaktighet eller om inverkan av temperatur. Värdena får anses gälla vid långvarig fuktbelastning och rumstemperatur.^[6]

"I FuktCentrums informationsskrift Fuktpåverkan på material – kritiska fuktnivåer har litteraturuppgifter sammanställts över hur olika material förändras då de utsätts för fuktbelastning vid olika fuktnivåer. Här ingår ett stort antal skilda förändringar på grund av fuktpåverkan, som fuktrörelser och deformationer, förändringar av termiska, mekaniska och fukttekniska materialegenskaper med fuktnivån samt kritiska fuktnivåer för transportprocesser i material, kemiska och elektrokemiska angrepp, frostpåverkan, påväxt av mögel och bakterier samt uppkomst av egenemissioner och sekundära emissioner från material. Exempel på kritiska fukttillstånd för sådana processer sammanfattas i tabell 3:2" [6]

Tabell 3.2. Kritiska fukttillstånd för några material och förändringsprocesser. [6]

Förändringsprocess	Material/materialgrupp	Kritiskt fukttillstånd
Svällning vid uppfuktning	Träbaserade, cementbaserade m fl	60–80 % RF
Krympning vid uttorkning	Träbaserade, cementbaserade, lättbetong, m fl	30 % RF
Mekaniska egenskaper	Träbaserade	Fuktkvot 25–30 %
	Linoleummattor (lägre för mikrobiell påväxt?)	90 % RF
Termiska egenskaper		Linjär funktion av fuktkvot
Transport av lösta ämnen	Cementbaserade	70 % RF
Cementreaktioner	Cementbaserade	85 % RF
Karbonatisering	Kalkbaserade	50–85 % RF
Alkaliproteinreaktioner	Cementbaserade, högt pH	80 % RF
Alkali-ballastreaktioner	Cementbaserade, högt pH	85 % RF
Korrosion	Metaller	50 % RF
	Armering i karbonatiserad betong	85 % RF
	Armering i kloridhaltig betong	< 60 % RF
Frost	Porösa, spröda material	Individuella vattenmättnadsgrader
Mikrobiell påväxt på ytor av organiska naturmaterial eller ytor nedsmutsade med sådana material	Bakterier	90–97 % RF
	Alger	96 % RF
	Lavar	96–97 % RF
	Synligt mögel, rumstemperatur, högre vid lägre T	79–97 % RF, beroende på svampart och substrat
Mögelpåväxt, synlig i mikroskop, jfr figur 4:3	Träytor	80 % RF lång varaktighet
Mögelpåväxt, synlig okulärt		85 % RF lång varaktighet
Mögelpåväxt, avgivning av toxiska ämnen		85 % RF
Mögelpåväxt, avgivning av lukt		okänd, troligen som ovan
Rötsvampangrepp	Träbaserade	Fuktkvot 25–30 %
Egenemissioner	Spånskivor	65 % RF
	Limmade PVC-mattor	80 % RF
Sekundära, kemiska emissioner		90 % RF

4 Byggelement

4.1 Val av element

Valet av element, som vi har analyserat i examensarbetet, har skett genom att vi har utfört en analys där vi har jämfört de ingående byggelementen. Här ges en kort genomgång av denna enkla analys. I tabell 4.1 är resultatet sammanställt.

4.1.1 Förutsättningar för analysen

- Transporten kommer att ske i täckta lastbilar. Lastning sker alltid under väderskydd.
- Montage och lagring av elementen sker väderskyddat.
- Inlager (för delmaterial) och utlager (för element) består av kallager.

4.1.2 Beskrivning av huset

Ytterväggar

Eftersom ytterväggarna innehåller gipsskivor är dessa fuktkänsliga. Detta gör att man kan riskera att bygga in fukt i elementet vilket kan medföra att pappan till slut möglar. I produktionen finns ingen fuktkälla. Enligt ritningar emballeras väggelementen under produktionen vilket medför att elementen är mindre fuktkänsliga i utlagret än inlagret.

Enda fuktproblemet under transporten är kondensation, men problemet är litet eftersom transporten sker under en kort tidsperiod.

Vid putsning tillförs mycket vatten vilket måste kunna torka ut utan att gå in i väggen. Men eftersom ytterväggen innehåller en luftspalt är risken för att påverka övriga skikt liten vid putsning.

Under brukstiden utsätts elementen för slagregn, speciellt vissa fasader. För att motverka fuktskador har Peab valt ett ventilerat putssystem. För att möjliggöra detta krävs ett bärverk till putsbäraren. Sto rekommenderar att systemet ska bestå av 28x70 mm glespanel cc 600 av trä eller stålprofiler cc 600 med godstjocklek 1,2 mm. Eftersom fuktbelastningen är hög i detta snitt har Peab beslutat sig för att använda sig av stålprofiler.

Bjälklag

Eftersom betongen gjuts i fabriken är inlagret inget problem. Vid tillverkningen används naturligtvis mycket blandningsvatten i betongen till elementet. Eftersom

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

betongen är högpresterande med lågt vct binds mycket av blandningsvattnet både kemiskt och fysikaliskt så att uttorkningstiden blir kort. Det är dock viktigt att kontrollera så elementet har torkat ut innan det levereras.

I tillräckligt uttorkad högpresterande betong tränger vatten in mycket långsamt vilket gör att transport och utlager inte är något problem. Under montaget gjuts bjälklagselementen samman. När denna gjutning torkar frigörs vatten vilket kan leda till problem då t.ex. väggsyllar av trä kan suga upp det fria vatten (dessa har senare ersatts av stålsyllar).

Balkonger:

Eftersom betongen gjuts i fabriken är inlagret inget problem. Eftersom också denna betong är högpresterande med lågt vct blir uttorkningstiden kort. Det är dock viktigt att kontrollera att elementet har torkat ut innan detta levereras. I tillräckligt uttorkad högpresterande betong tränger vatten in mycket långsamt vilket gör att transport och utlager inte är något problem.

Under montaget hängs balkongen in i ytterväggen vilket inte leder till något fukttillskott. Under brukstiden träffas balkongerna av regn, men de är utformade så att detta regn inte kommer vidare in i byggnadsdelarna.

Yttertak

Yttertaket består av papptäckta taksivor av plywood på masonitebalkar som vilar på stolpar vid takfot ochnock. Eftersom detta element innehåller mycket trä är inlagret ett känsligt skede. Trämateriale ställer in sig efter rådande klimat vilket medför fuktrörelser. Det är därför viktigt att materialet har rätt fukthalt under produktionen. I produktionen finns ingen fukttillförsel. I utlagret kan materialet skadas pga. fukt. Detta kan också ske under transporten, där elementen inte är fullständigt täckta, men denna tid är avsevärt kortare. Under produktionen tillförs ingen fukt. Brukstiden är ett känsligt skede. Träet kan lätt fuktskadas i form av t ex mögel om konstruktionen inte är riktigt fuktsäkerhetsprojekterad och utförd.

Grundplatta

Denna gjuts ute på plats. Mest kritiska skede är under montaget (tillverkningen) där det är viktigt att byggfukten hinner torka ut för att inte skada anslutande byggnadselement.

Balkar

Balkarna består av stål och rostskyddsmålas. Materialet utsätts aldrig för fritt vatten och inget av skedena bör därför ge några problem.

Pelare

Samma förutsättningar som för balkar.

Sammanfattning

Resultatet sammanfattas i tabell 4.1 nedan.

Enligt denna bedömer vi att ytterväggen är det element som är mest kritiskt. Taket som innehåller trä bedöms också som en byggdel med hög risk. Dock är inte taket specifikt för industriellt byggande. Detta är den största anledningen till att vi valt ytterväggen. På arbetets avgränsningar kommer vi enbart behandla ytterväggen i vidare analyser.

Tabell 4.1. Analysen av byggelement

Byggdel	Yttervägg	Bjälklag	Balkonger	Yttertak	Grundplatta	Balkar	Pelare
Inlager	3	0	0	3	0	0	0
Produktion	0	2	2	0	0	0	0
Utlager	2	0	0	2	0	0	0
Transport	1	0	0	1	0	0	0
Montage	4	4	0	2	5	0	0
Brukstid	5	0	5	5	3	0	0
Summa	15	6	7	13	8	0	0

4.2 Beskrivning av väggelement

Väggelementet i Peabs projekt är en utfackningsvägg och har därför ingen bärande funktion. Väggen är uppbyggd av en stålregelstomme med vertikala regler som invändigt bekläs med två lager gips vilken sedan spacklas, tapetseras eller målas. Stålregelstommen förses med mineralullsisolering i två skikt, med ångspärr mellan dessa. Fördelen med projektets utfackningsväggar är att köldbryggor undviks. Väggelementets överkant fästs in i balkarna som i sin tur är ingjutna i bjälklaget.

Utvändigt kläs stålregelsystemet med ett vindskydd, luftspält och en Ventecskiva som putsas.

Elementen kommer att tillverkas i fabrik där inomhusklimat råder. I fabriken monteras alla delar förutom invändigt och utvändigt ytskikt, tapeter och puts. Materialen som väggen innehåller är tidigare lagrade i ett kallager som är skyddat mot direkt nederbörd. Mineralullen och gipsen kommer inplastade till kallagret direkt från leverantörens lager och har inte utsatts för någon fuktbelastning innan. Emballaget gör att materialen inte utsätts för hög RF i kallagret. Det är viktigt att förpackningarna är obrutna i kallagret och därför rekommenderas det att man tar in hela pallar in i fabriken och packar upp det där. Anledningen till detta är att mineralullen och gipsen annars tar upp fukt från luften i kallagret, vars RF kan vara hög.

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

När elementen färdigställts i fabrik täcks de med en ”regnkappa” och ställs ut i ett kallager innan transport till byggarbetsplats. Transporten sker i täckt lastbil varpå väggen skyddas mot fuktbelastning. Ingen lagring kommer ske på arbetsplatsen utan väggarna monteras direkt vid leverans. Montageskedet sker inne i tält vilket skyddar byggnaden mot nederbörd. Enda fuktbelastning som finns är alltså fukten i luften.

5 Materialegenskaper

Både för fuktsäkerhetsprojektering med checklista och för de fuktberäkningar som skall göras fördras att man har tillgång till relevanta data över egenskaperna hos de material som används. BBR ställer också krav på detta.

De materialegenskaper som krävs är kritiska fukttillstånd, fuktbindningsegenskaper uttryckta som en sorptionskurva, total öppen porositet, värmekondiuktivitet samt fukttransportegenskaper. Fukttransportegenskaperna beskrivs i Wufi som en fuktdiffusionsmotståndsfaktor μ

$$\mu = \frac{D_{luft}}{\delta_{material}}$$

dvs kvoten mellan fukttransportkoefficienten för vattenånga i luft och fukttransportkoefficienten för det aktuella materialet. Eftersom fukttransportkoefficienten för materialet oftast ökar med fuktnivån kommer μ -värdet att minska med ökande fuktnivå.

Vätsketransportegenskaperna har valts ur Wufi databas för snarlika material.

5.1 Kritiskt fukttillstånd gällande vår byggnadsdel

Kritiska fukttillstånd för materialen i vårt ytterväggselement visas i tabellen 5.1. dessa är hämtade ur tabell 3.2 [6].

Putsen som appliceras på Venteskivan är okänslig för mikrobiella angrepp så länge den inte är nedsmutsad. Vid nedsmutsning av organiska material kan kritiska fuktnivån bli så låg som 79 % RF beroende på svampart. För den oorganiska Venteskivan gäller ovanstående. Det är därför av yttersta vikt att dessa material bibehålls rena.

För att undvika korrosion på stål rostskyddsbehandlas materialet. Om behandlingen inte utförs väl eller skada på skiktet uppstår kan korrosion ske vid 60 %.

Pappbeklädnaden på gipsskivorna är känsliga för mikrobiell tillväxt och har därför kritiska fukttillståndet 80-85 %. För mineralull ges den kritiska gränsen för mögelpåväxt till 90-95 % RF enligt tabell 3.3.

Vid utvärdering av de icke stationära beräkningarna antas att materialen är osmutsade. Då gäller kritiskt fukttillstånd 100 % på materialen puts, putsbärare, vindskydd och ångspärr. Det gäller dock att informera och tydliggöra vikten av att materialen är osmutsade vid såväl tillverkning som brukstid.

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Tabell 5.1. Kritiska fukttillstånd för materialen i den aktuella väggen

Material	Kritiskt fukttillstånd (RF)	Skaderisk
Puts	79 %	Mikrobiell tillväxt vid nedsmutsning; annars 100 % RF
Putsbärare	79%	Mikrobiell tillväxt vid nedsmutsning; annars 100 % RF
Rostfritt stål	60%	Korrosion vid skadad eller bristfällig behandling; annars 100 % RF
Vindskydd	79%	Mikrobiell tillväxt vid nedsmutsning; annars 100 % RF
Mineralull	90-95%	Mikrobiell tillväxt
Ångspärr	79%	Mikrobiell tillväxt om nedsmutsad; annars 100 % RF
Gips	80-85%	Mikrobiell tillväxt

5.2 Materialegenskaper

Fuktegenskaper för material i projektet

Alla byggnadsmaterial utom rena metaller är porösa och har därför ett visst fukttinnehåll vid användning. Det är oundvikligt och behöver inte ge några skadliga konsekvenser, men allmänt kan man säga att ökning av fukthalten kan leda till skador och bör därför motverkas. Varje fukthaltsökning innebär att värmeisoleringsförmågan minskar och mängden vatten som kan frysa vid låga temperaturer ökar. [2]

Materialens fukt beteende beror på porositet, porstorleksfördelning, struktur och kemisk uppbyggnad. För att avgränsa arbetet behandlar vi de materialen som ingår i valet av element och förklarar vilka fuktegenskaper dessa har. [4]

Sorptionskurvor och fukttransportegenskaper har lagts in i en egen del av databasen i Wufi. Från denna kan sedan egenskaperna redovisas som diagram enligt Wufi.

5.2.1 Puts

Fuktegenskaperna varierar avsevärt beroende på om det är ett kalkbruk eller kalkcementbruk. Kalkbruket har stora porer vilket medför låg hygroskopisk fukthalt. Kalkcementbruket har däremot mindre porer, högre hygroskopisk fukthalt och större fuktbingade rörelser. [4]

I ytterväggen består putsen av en organisk bunden fasadputs och används endast som utomhusputs. Densiteten är 1800 kg/m^3 och härdad uppnås en porositet på 24 %. I likhet med andra cementprodukter är den specifika värmekapaciteten 850 J/KgK och värmekonduktiviteten är $0,7 \text{ W/mK}$. Materialets diffusionsmotståndsfaktor är 120.[8]

5.2.2 Stål

5.2.2.1 Korrosion

Ett fuktproblem som är relaterat till byggnadsmaterialet stål är korrosion. Stål kan brytas ned elektrokemiskt om det finns en stålyta med elektrisk potentialskillnad, vätska och syre. För att korrosion över huvudtaget ska ske krävs en relativ fuktighet på minst 60 % vilket kan förekomma i många inomhusklimat. Om stålytorna är smutsiga kan detta behålla fukten vilket gör att korrosion kan ske vid lägre relativa fuktigheter. Ökande fuktnivå leder till ökad korrosionshastighet. [2]

Ofta skiljs mellan jämn avfrätning och punktformig frätning. Störst problem sker vid punktformig frätning eftersom dessa kan gå väldigt djupt och därför försämra bärförmågan avsevärt. Punktfrätningar uppstår när den anodiska ytan är mycket mindre än katodytan. Jämn frätning uppstår när dessa ytor är lika stora. [2]

För att skydda material används skyddsåtgärder i form av rostskyddsmålning, förzinkning, emaljering och korrosionshårdiga legeringar. Enklaste metoden är

rostskyddsmålning men det är viktigt att denna utförs korrekt och att rätt färgsystem används.

Stålprofilerna i Peabs system är rostskyddsbehandlade och därför inte fuktkänsliga, priset blir högre men livslängden ökar. Stål är ett material med hög densitet 7800 kg/m³ och låg porositet 0,001. Det medför att materialegenskaperna blir opåverkade vid fuktbelastning. Materialet har en specifik värmekapacitet på 460 J/kgK och värmekonduktiviteten 60 W/mK. Stål är ett tätt material mot diffusion och har en diffusionsmotståndsfaktor på över 1000000. [8]

5.2.3 Isolering

5.2.3.1 Mineralull

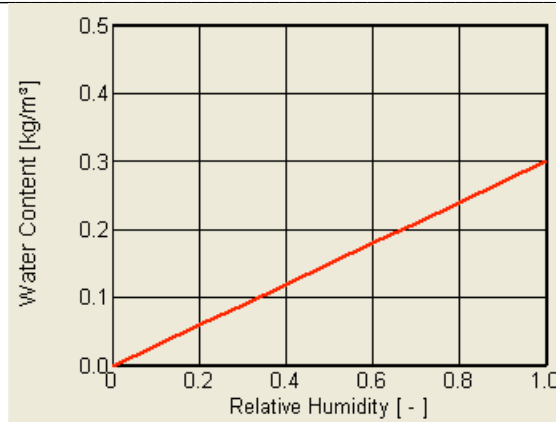
Mineralull finns som stenull och glasull. Fibrernas diameter varierar mellan 5 och 9 mikrometer. Under tillverkningen blandas dessa fibrer med någon form av plast som bindemedel. De långa fibrerna orienterar sig i skivans plan och de mindre mer slumpartat. Porositeten i detta material är mycket hög, 90-98 %, för att erhålla så låg värmeledningsförmåga som möjligt. Avståndet mellan fibrerna blir så stort att ingen kapillärsugning förekommer.[2]

Ångtransporten i mineralull är nästan densamma som för stillastående luft. För att hindra vatten att tränga in i mineralullen impregneras ytorna med vattenavvisande olja.[4]

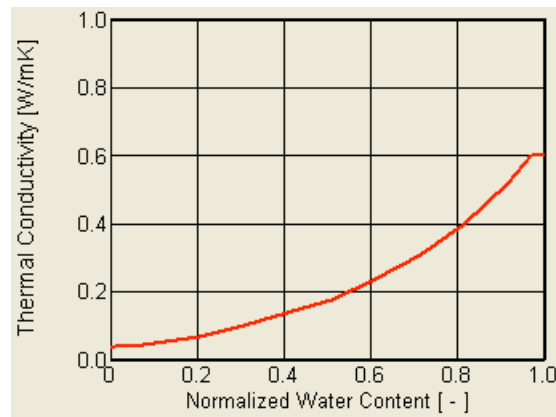
Skadefall har även visat att vissa färgande ämnen kan urlakas ur mineralull vilket i sin tur kan missfärga andra närliggande material.

Mineralullen i ytterväggen består av stenullsskivor. Produkten har en värmekonduktivitet på 0,037 W/mK och har en torrdensitet på 30 kg/m³, vilket medför en porositet på 98 %. Specifika värmekapaciteten är 850 J/kgK.[9]

Trots materialets höga porositet lagras det endast 0,3 kg/m³ vatten vid strax under 100 % relativ fuktighet, se figur 5.1a. Det gör att värdet på värmekonduktiviteten bibehålls även vid höga värden på relativa fuktigheten. Får materialet däremot kontakt med fritt vatten kan stora delar av porutrymmet fyllas vilket leder till att värdet på värmekonduktiviteten ökar till 0,6 W/mK vid fukttinnehållet 0,3 kg/m³, se figur 5.1b [9].



Figur 5.1a, Vatteninnehåll i mineralull. Data från [9]



Figur 5.1b, Värmekonduktiviteten i Mineralull. Data från [9]



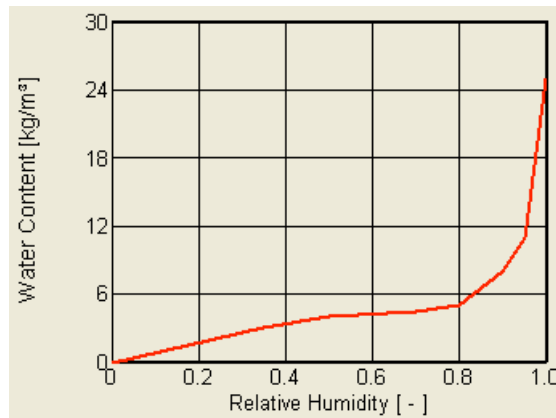
Bild 5.2. Mineralull¹⁸

5.2.4 Gips

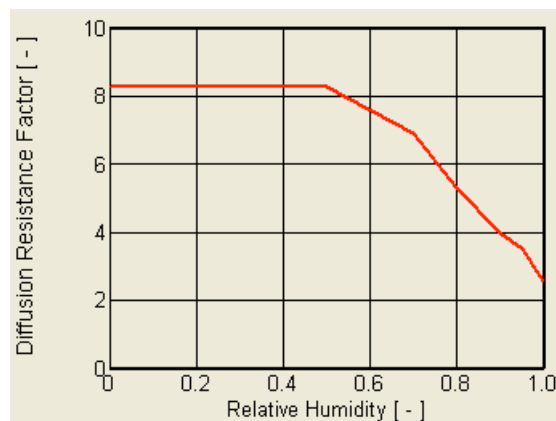
Gipsskivor består av en gipskärna med kartong på bägge sidor vilket gör att materialet har stor ångpermabilitet. Eftersom kartongen är känslig mot fukt då den kan drabbas av mikrobiella angrepp bör den inte användas utvändigt.[4] Fuktbetingade rörelser i gips är obetydliga vid normala variationer. Längdändringarna vid fuktändring från 45 till 90 % RF är maximalt 0,04 %.[2]

Det sammansatta materialets densitet är 625 kg/m^3 och porositeten ca 73 %.Specifika värmekapaciteten är 800 J/kgK och värmekonduktiviteten $0,14 \text{ W/mK}$ [11].

Vid 100 % relativ fuktighet lagras 25 kg/m^3 vatten i gipsskivan. Figur 5.3 visar hur mycket vatten som lagras vid olika relativa fuktigheter. Värdet på värmekonduktiviteten blir i stort sett oförändrade för värden på fukttinnehåll upp till 25 kg/m^3 . Däremot förändras värdet på diffusionsmotståndsfaktorn drastiskt med relativa fuktigheten. begynnelsevärdet är 8,3 och når slutligen 2,6, se figur 5.4.[11]



Figur 5.3 Fukttinnehåll i gipsskiva (Wufi). Data enligt [11]



Figur 5.4 Diffusionsmotståndsfaktor (Wufi). Data enligt [11]

5.2.5 Ångspärr

5.2.5.1 Plastfolie

Ångspärren ska placeras på den varma sidan om värmeisoleringen, i Peabs fall på insidan av det tjockaste, yttre isoleringslagret. Anledningen till detta är att kondensation eller uppfuktning kan inträffa om placering sker för nära den kalla sidan. Ångspärren används för att hindra fuktransport genom fuktdiffusion och fuktkonvektion. För att hindra fuktdiffusion måste materialet ha ett stort ånggenomgångsmotstånd och för att hindra fuktkonvektion en stor lufttäthet. Ett hål i plastfoliet eller annan defekt har liten betydelse för diffusionen men mycket stor betydelse för fuktkonvektionen.[4]

Parocs plastfolie är en transparent polyetenfolie som är åldersbeständig. Den levereras i rulle med 2.7 m bredd, 5 m längd och är 0,2 mm tjock. Materialet har torrdensitet 1300 kg/m^3 . Specifika värmekapaciteten är 2220 J/kgK och värmekonduktiviteten $1,65 \text{ W/mK}$. [9]



Bild 5.5 Plastfolie

5.2.6 Vindskydd

Vindskyddet produceras genom att spinna en väv av polypropylen som skapar ett membran med god lufttäthet. Permeabiliteten för luft uppges vara $0,01 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{hPa})$. På så sätt skyddas konstruktionen mot genomblåsning och hindrar luft att med vindens hjälp orsaka konvektion av värme i bakomliggande materiallager. Väven är 0,2 mm tjock och väger $0,065 \text{ kg/m}^2$ vilket leder till densiteten 325 kg/m^3 . [9]

Materialet har specifik värmekapacitet 1500 J/kgK och värmekonduktivitet 1250 W/mK . Vindskyddet kan lagra små mängder fukt och materialegenskaperna blir oförändrade vid höga fuktnivåer. [9]



Bild 5.6 Vindskydd

5.2.7 Putsbärare

Putsbäraren är en s k Ventecskiva som består till 96 % av återvunnet returglas. Glaset krossas och pressas till skivor med måtten 0,8 x 1,2 m och tjocklek 12 mm. Skivan uppges vara beständig mot vatten, frost och väderpåverkan, vilket är en förutsättning då husen kommer att placeras på många olika platser i landet med olika klimatpåverkningar. Densiteten är 500 kg/m^3 vilket betyder att varje skiva väger 5,76 kg.[8]

Den låga densiteten medför att skivan blir porös och har en porositet på 80 %. Glas har en specifik värmekapacitet på 840 J/kgK och värmekonduktiviteten $0,09 \text{ W/mK}$. Pga av skivans höga porositet blir diffusionsmotståndsfaktorn så låg som 11 [8]

6. Klimatdata

Wufi är en tysk programvara som, i sina tidiga versioner, endast behandlade klimaten som råder i Tyskland [12]. Institut i andra länder har kompletterat med att lägga in nya klimatdata i programmet. Det hade vid arbetets början inte gjorts i Sverige. För att ta hänsyn till Sveriges klimat valde vi att kontakta SMHI och anpassa informationen till Wufi. Wufi är uppbyggt kring att ta upp väderdata i form av intervall varje timme. Ingående data ska bestå av relativ fuktighet (% RF), temperatur ($^{\circ}\text{C}$), nederbörd (mm/h), global strålning (W/m^2), direkt strålning (W/m^2) och indirekt strålning (W/m^2).

Från SMHI erhöll vi data för varje timme mellan åren 1996-2006. Vad som bör påpekas är att det under förvånansvärt många timmar saknas mätdata. Det medför att vissa värden får ovanligt högt eller lågt värde. För att ta hänsyn till samtliga år sammanställdes ett medelvärde på samtliga punkter. På alla mätningar ger det tillfredställande värden förutom vid regn. Sannolikheten för att det regnar under samma tidpunkter vid respektive år är låg. Efter utvärdering av värden för nederbörd kan nämnas att värdena mätta i mm blir låga men tillfällena med regn ökar avsevärt. Vi erhåller alltså en ökad tid för belastning av nederbörd på fasaden men mängden fukt är lågt. I verkligheten är nederbörden mer intensiv men Ventecskivan kan trots det inte ta upp all fukt. Antagandet vi gjort innebär alltså att skivan i snitt får högre relativ fuktighet.

Metoden att belasta byggdelen med medelvärden av klimat kan diskuteras. Under fuktprojekteringar är det av betydelse att beakta hur materialen beter sig under värsta belastning, det är alltså inte det vi tar hänsyn till. Samtidigt tycker vi att programmet är felaktigt uppbyggt. Oftast görs en uträkning över x antal år. Därför tycker vi att programmet bör beakta mer än ett klimatår för att ge tillfredställande resultat.

Sedan tidigare hade vi valt Stockholm, Malmö och Göteborg som observationsorter. Anledningen till att välja tre sydliga orter är att Peab sedan tidigare avgränsat sig till dessa regioner. För att kunna utvärdera resultaten för de olika städerna beskriver vi skillnaderna mellan klimaten i de tre orterna.

Fuksamhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Göteborg

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Temperatur (°C)	0.1	0.5	1.9	7.0	11.8	15.4	18.1	18.2	14.1	9.1	5.2	1.8
Nederbörd (mm)	69.6	55.9	42.1	60.4	62.6	74.7	86.5	81.9	60	132.6	87	96
RF (%)	85.6	82.4	73.7	70.7	68.5	70.7	71.4	73.3	76.5	82.5	84.8	86.5
Direkt strålning (kW/m ²)	7,9	16,2	35,2	53	70,3	75,6	67,3	60,1	40,5	21,9	9,4	5,2
Indirekt strålning (kW/m ²)	25,5	43,2	98,4	105	143	143	151	129	90,6	42,2	20,7	16,6
Global strålning (kW/m ²)	12,2	28,7	72,6	114	157	160	162	134	72,9	35,9	14,7	7,8

Stockholm

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Temperatur (°C)	-1.0	-1.0	1.1	5.8	11.1	15.6	18.9	17.8	13.3	7.5	3.4	0.5
Nederbörd (mm)	9.5	24.5	10.1	20.3	41.6	89.1	33	28.8	68.3	22.7	49.2	14.9
RF (%)	85	82	73	69	64	68	70	73	77	84	86	86
Direkt strålning (kW/m ²)	7,3	16,5	34,7	54,8	70,8	72,5	68,1	51,4	31,4	16,8	7,1	3,2
Indirekt strålning (kW/m ²)	19,3	44,3	97,9	129,7	161,8	167,7	150,6	142,9	84,3	45,3	20,5	11,7
Global strålning (kW/m ²)	10	27,3	71,1	117,5	158,7	166,0	156,7	121,3	67,7	29,1	10,7	4,6

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Malmö

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Temperatur (°C)	0.4	1.0	2.4	7.2	11.9	15.3	17.8	17.7	14.0	9.4	5.1	2.1
Nederbörd (mm)	40.4	41.9	39.0	35.1	51.7	58.7	88.9	62.9	51.5	63.1	51.4	59.8
RF (%)	88.9	86.6	80.7	74.4	73.3	75.2	76.0	78.0	80.7	86.0	88.2	89.3
Direkt strålning (kW/m ²)	10,3	19,9	39,2	59,4	74,8	79,2	80,6	66,2	44,9	26,2	11,6	6,9
Indirekt strålning (kW/m ²)	27,4	39,0	87,2	106,5	143,1	148	143,1	128,2	90,1	50,1	30,0	18,7
Global strålning (kW/m ²)	15,4	30,6	74,3	113,5	156,7	161,9	165,032	135,6	85,9	43,1	18,0	9,6

Mest påverkan på beräkningsresultaten har temperatur, RF och nederbörd. Diagram 6.1 visualiserar skillnaden i temperatur mellan valda orter. Medeltemperaturen mellan Göteborg och Malmö är mycket liten. Temperaturen i Stockholm avviker framför allt under vintermånaderna då temperaturen är lägre än på övriga orter.

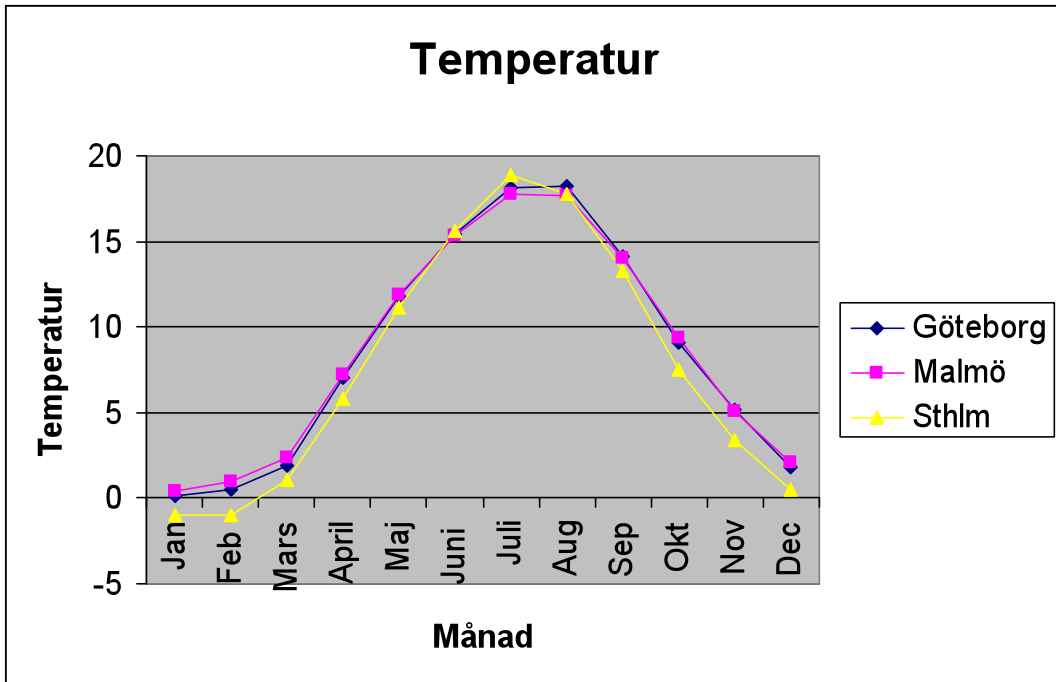


Diagram 6.1, månadstemperatur.

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Diagram 6.2 beskriver jämförelse mellan städernas variation av relativ fuktighet (RF). Som kan utläsas i diagrammet är RF i Malmö högre än övriga städer vilket beror på att ånghalten generellt är högre där. Det kan härledas genom att temperaturskillnaden mellan Göteborg och Malmö är liten, dvs mättnadsånghalten städerna emellan är likvärdig.

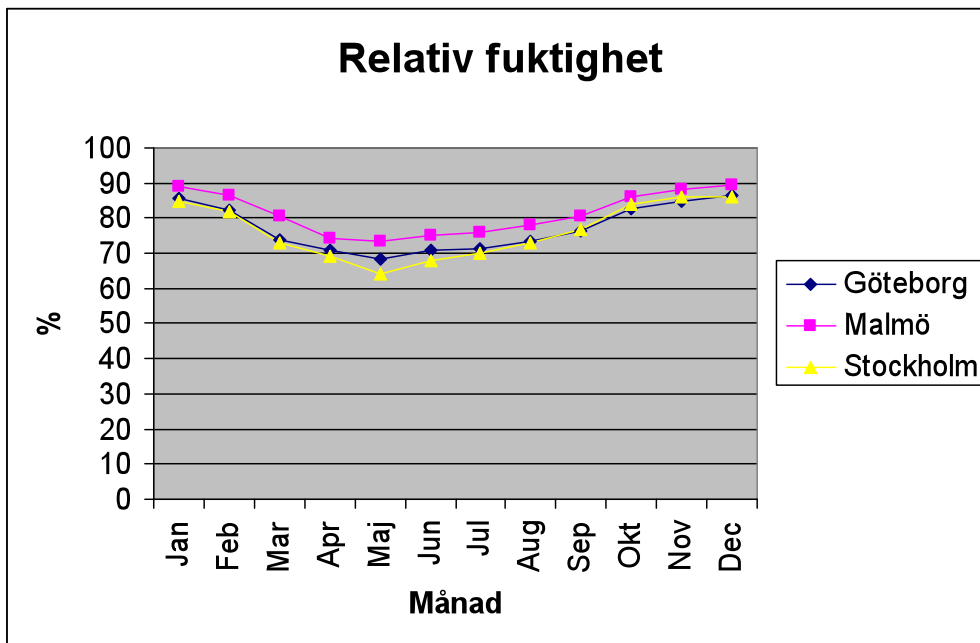


Diagram 6.2, relativ fuktighet.

Enligt diagram 6.3 är det stor skillnad städerna emellan avseende nederbörd. Göteborg erhåller högst värden på nederbörd och Stockholm lägst. Det kan konstateras att Göteborg har dubbelt så hög nederbördsmängd som Stockholm räknat på årsbasis. Det är en anledning till att Göteborg erhåller generellt högre relativ fuktighet än Stockholm, trots att Stockholm har kallare klimat vilket medför lägre mätnadsånghalt.

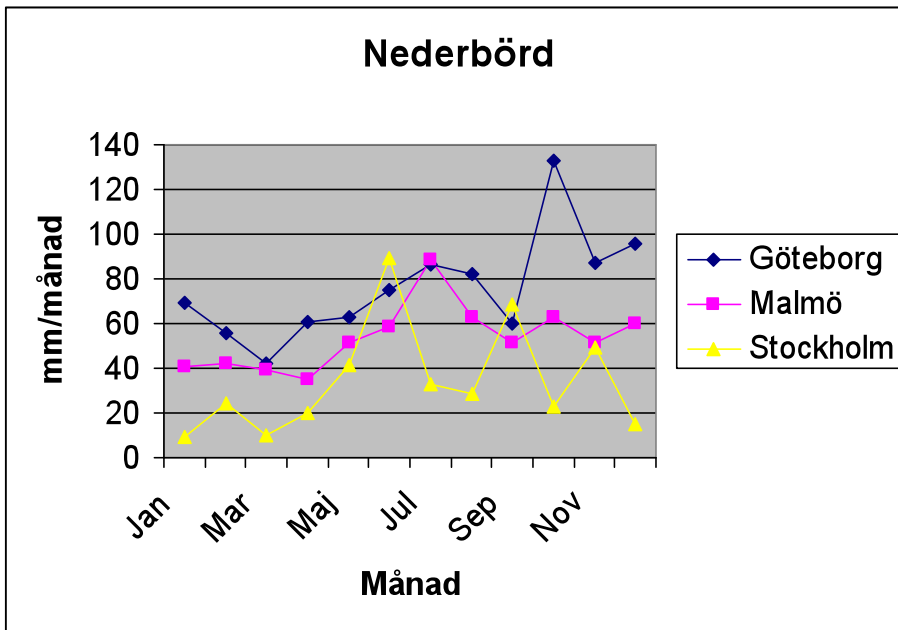


Diagram 6.3, nederbörd.

Fukssäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Enligt diagram nedanför kan man utläsa att direkt-, indirekt-, och globalstrålningen har en marginell skillnad mellan de olika städerna. Strålningen borde då inte ha någon påverkan på skillnader i beräkningsresultet.

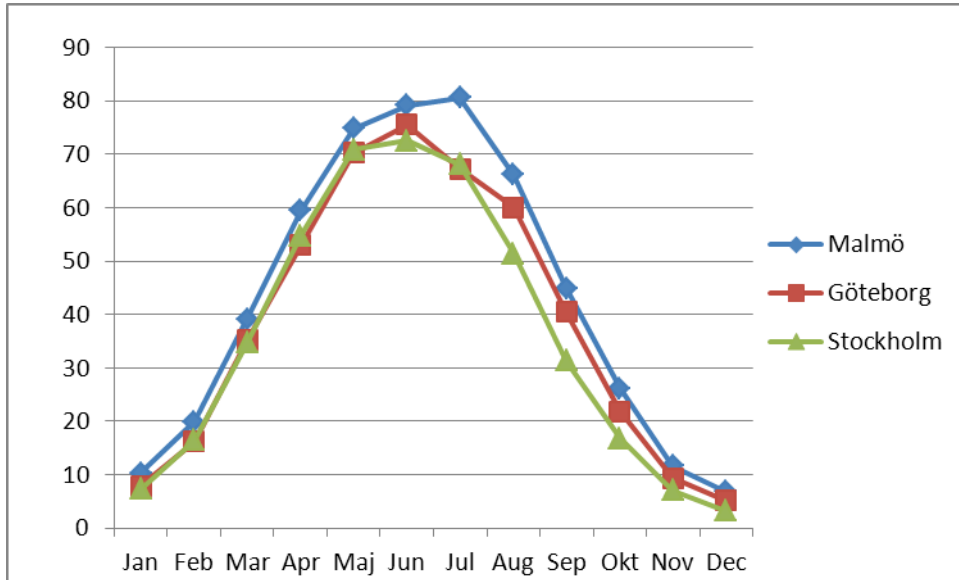


Diagram 6.4 Direkt strålning

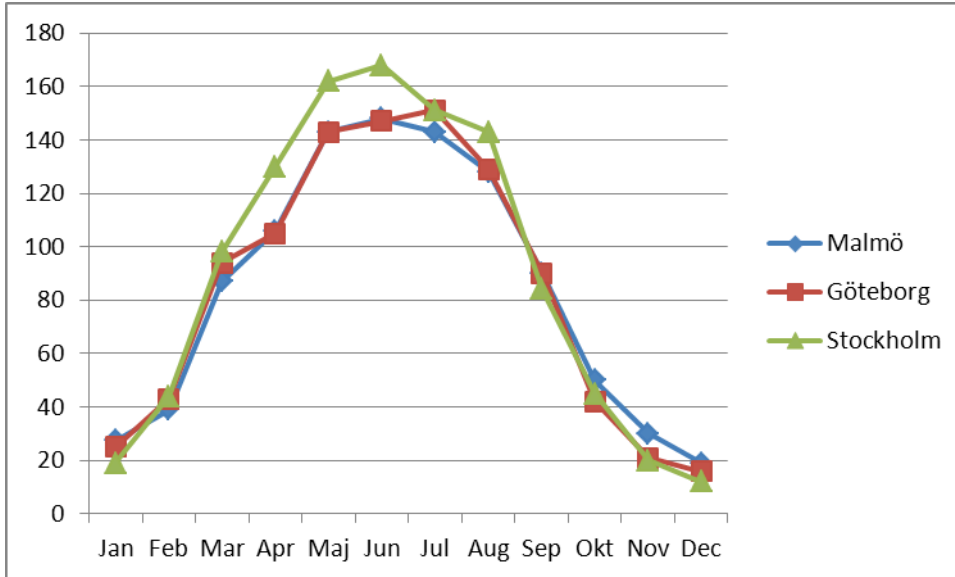


Diagram 6.5 Indirekt strålning

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

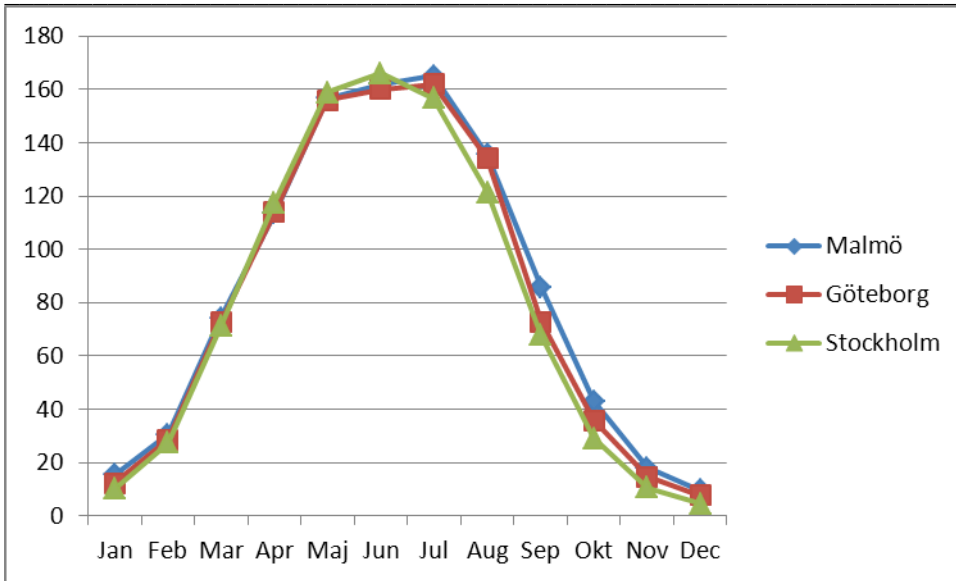


Diagram 6.6 Global strålning

7 Fuktsäkerhetsprojektering med checklista

7.1 Inledning

Ett effektivt sätt att kontrollera att byggnaden klarar framtida fuktbelastning är att upprätta en checklista. På så sätt kan fuktskador undvikas, som t.ex. leder till dålig inomhusmiljö, missfärgningar, mikrobiell påväxt mm. Checklistan vi har upprättat bygger på Eva Harderups metod *Fuktdimensionering med generell checklista*. [3]

Under fuktprojekteringen behandlas varje byggnadsdel med tillhörande detaljlösning var för sig. Metoden går ut på att det för olika fuktbelastningar, enstaka eller normala, kontrolleras om fuktproblem uppstår. Detta kan göras med tre olika metoder, kvantitativ bestämning, kvalitativ bedömning eller beprövade lösningar.

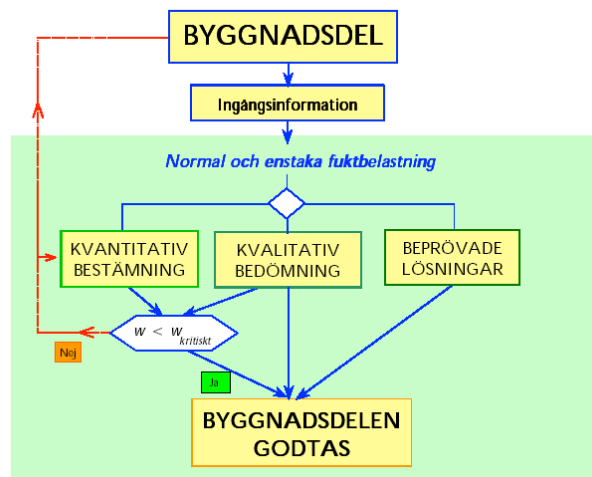


Bild 7.1 Fuktdimensionering med checklista [3]

Vid fuktsäkerhetsprojektering kontrolleras ett fuktproblem i sänder för del olika fuktbelastningarna, normal och enstaka fuktbelastning. Kontrollen görs genom att använda en av de tre olika metoderna: Kvantitativ bestämning, Kvalitativ bedömning eller Beprövade lösningar. I de två första utförs beräkningar för att kontrollera fukttillstånden och detta resultat måste jämföras med kritiska värden, (i figuren ovan betecknas detta med $w < w_{kritiskt}$). I Beprövade lösningar och i Kvalitativa bedömningar utgörs den huvudsakliga dimensioneringen att kontrollera att t.ex. en detalj har utförts på ett fuktsäkert sätt. När alla fuktbelastningarna, både de normala och de enstaka, är genomgångna och byggnadsdelen har genomgått de förändringar som krävs är byggnaden godtagen.³³

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

För att tillmötesgå branschens krav har Peab med Eva Harderups checklista som grund tagit fram en mall. I mallen går man igenom följande delar och bedömer om dessa uppfylls utan risk för skador påverkade av fukt:

1. Ritningar och beskrivningar
2. Ingående material
3. Byggnadens användningsområde
4. Inomhusklimat
5. Utomhusklimat
6. Speciella krav och risker
7. Nederbörd
8. Luftfukt utomhus
9. Luftfukt inomhus
10. Nederbörd under byggnadstiden
11. Byggfukt
12. Läckage

Vid arbetets början saknades ett verifierat verktyg för att utföra icke stationära beräkningar vilket medför att uteslutande beprövade lösningar används vid dagens fuktsäkerhetsprojekteringar. Vi har valt att dessutom utvärdera Wufi 4.1 som beräkningsprogram och väljer därför metoden kvantitativa bedömningar för att utföra icke stationära beräkningar och på så sätt jämföra $w < w_{\text{kritiskt}}$. Enligt våra avgränsningar genomgås därför inte anslutningar och detaljer på ett ingående sätt.

7.2 Byggnadsbeskrivning

Vid projekteringen har materialvalen skett på förutsättningen att uppfylla krav på hållfasthet, akustik, brandkrav och värmebehov. För att även beakta skador som kan uppstå på grund av fukt är det viktigt att gå igenom gällande ritningar och beskrivningar för byggnaden. Vår utredning sker inte på något specifikt projekt och därför saknas handlingar. Vid uppstart av nytt projekt skall denna del gås igenom.

Kolumn enligt mall	Egna kommentarer
Ritningar och beskrivningar	
1. Situationsplan	Inget specifikt projekt
2. Planritning	Inget specifikt projekt
3. Fasadritning	Inget specifikt projekt
4. Sektionsritning	Inget specifikt projekt
5. Anslutningar och detaljer	Inget specifikt projekt
6. Takavvattning, dagavlopp och dränering	Inget specifikt projekt
7. VA ritning	Inget specifikt projekt
8. Eldragning	Inget specifikt projekt
9. Ventilationsritning	Inget specifikt projekt
10. Vattenburen värme	Inget specifikt projekt
11. Värmekulvert och övriga värmekällor	Inget specifikt projekt
12. Speciella ritningar	Inget specifikt projekt
13. Geoteknisk undersökning	Inget specifikt projekt
14. Grundvattensundersökning	Inget specifikt projekt
15. Byggnadsbeskrivning	Byggnaden är avsedd att användas som flerbostadshus. Takelementen består av ett masonite takelement. Elementet består av bärbalkar i trä och plywood vilket bör betraktas ur fuktsynpunkt eftersom trä material är känsliga. Takelementen ligger upplagda på ett fackverk i stål. Ytterväggarna består av en puts som är applicerad på en putsskiva. Bärverket består av ett stålsystem som är isolerad med mineralull. Innerväggarna, bjälklag och balkonger är gjorda i högpresterande betong.

7.3 Material

I ingångsinformationen bör alla material som ingår i konstruktionen vara väl specificerade för att utföra korrekta beräkningar. Vid utbyte av material är det viktigt att egenskaperna överensstämmer helt. Ordet likvärdigt har många gånger missbrukats vilket orsakat fuktskador.

Material och komponenter	Fabrikant	λ (W/m•K)	C (J/kg•K)	δ (m ² /s)	Z (s/m)	W (kg/m ³)	Kommentar
Ytputs Stolit K-R-MP	Sto	0.7		1.67E-07	8.98E+03		Stolit R
Armering Stoarmat Classic	Sto	0.7		8.33E-08	2.40E+04		Använder diffusionsmotståndstal 300 och antar att armeringen har en tjocklek av 4 mm
Putsbärande Ventekskiva	Sto	0.09		2.27E-06	2640		Ventekskiva 12x1200x800
Vindpapp	Paroc			3.57E-08	1.40E+04		Windy, antar papp tjocklek 1 mm
Mineralull	Paroc	0.037		2.50E-05			
Plastfolie	Icopal			3.33E-11	3.00E+06		Akvaden byggfolie
Gips	Danogips	0.433		0.0000025	5200		Produkt 13 A-1
Minerallull har samma ångpermabilitet som luft, enligt Jacob Fellman, Paroc Kritiska fuktillstånd redovisas i kap 5.1 W- Redovisas i kap 5.2							

7.4 Användningsområde

Temperatur och fuktproduktion sätts som randvillkor vid beräkningar. Dessa egenskaper beror på den verksamhet som bedrivs i byggnaden. Det är därför viktigt att specificera vilken typ av verksamhet för att få tillförlitliga uträkningar.

Användningsområde enligt mall	Egna kommentarer
Byggnaden / husets användning Beskriv vad byggnaden är tänkt att användas till. Finns det skillnader i verksamhet mellan olika delar i byggnaden?	Byggnaden kommer endast användas till bostäder. Fuktproduktionen kommer självklart att vara högre i badrum och kök.
Ändring i planlösning Beställaren kanske har krav på ett flexibelt stomsystem så att planlösningen kan ändras	Husets bärsystem består av stälpelare i ytterväggar samt i viss mån även bärande innerväggar. Detta för att skapa stor möjlighet för arkitekten att göra ändringar i planlösningar. Det är viktigt eftersom elementen kommer serieproduceras och vill bidra till en möjlighet att husen inte kommer att bli identiska. Stomstabiliseringen utgörs av badrumsmodulen.

7.5 Inomhusklimat

Nedanstående text är enligt Boverkets standard för lägenhets inomhusklimat och används i Wufi.

Inomhusklimat enligt mall	Egna kommentarer
1. Temperaturen inomhus Hur varierar RF inomhus under året. Tänk på att olika rum har olika RF. Det beror på att fuktproduktionen varierar mellan olika rum. Generellt kan sägas att RF inomhus är som högst på sommaren och alltså lägst på vintern. Motsatt gäller för RF utomhus. Anledningen till detta är att ånghalten är låg på vintern. När den kalla utomhusluften värms upp blir RF låg	Varierande enligt Wufi

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

<p>2. Relativa Fuktigheten Hur varierar RF inomhus under året. Tänk på att olika rum har olika RF. Det beror på att fuktproduktionen varierar mellan olika rum. Generellt kan sägas att RF inomhus är som högst på sommaren och alltså lägst på vintern. Motsatt gäller för RF utomhus. Anledningen till detta är att ånghalten är låg på vintern. När den kalla utomhusluften värms upp blir RF låg</p>	<p>Verierande enligt Wufi</p>
<p>3. Fukttillskott Fukttillskottet är skillnaden mellan ånghalt inne och ute. Fuktproduktionen inomhus kommer från avdunstning, disk, tvätt, matlagning och befuktning. Från en människa avdunstar 50 g/h. Fuktproduktionen är störst i badrum och kök. Generellt gäller att fukttillskottet för småhus är 3,6 g/m³ och 2,9 g/m³ för lägenheter. Det ger en fuktproduktion för småhus på 10 kg/dygn och 6 kg/dygn för lägenheter. Fuktproduktionen dämpas då RF ökar eftersom avdunstningens intensitet är beroende av omgivningens RF.</p>	<p>Räknar ut fukttillskottet för en lägenhet på 71 m² vilken innehåller kök och bad och för en lägenhet på 100 m² med kök bad och WC. Fuktproduktionen sätts till 10 kg/dygn och höjd till innertak sätts till 2,4 m. För rummet på 100 m² blir fukttillskottet 3,3 g/m³ och för rummet på 71 m² blir fukttillskottet 4,5 g/m³.</p>
<p>4. Typ av ventilation Vilken form av ventilationsanläggning används. Beskriv hur den är utformad och hänvisa till ritningar.</p>	<p>Ventilationen varierar mellan byggnadens olika utrymmen. I lägenheterna används till och från luft som är termostatstyrd. Tilluften tillförs i vardagsrum och sovrum och frånluften utvinns ur wc, bad och kök. Ventilationen i trapphuset är självdrag. Hisschaktet är ännu inte bestämt om det blir självdrag eller termostatstyrd mekanisk.</p>
<p>5. Justering av ventilationsanläggning När justeras ventilationsanläggningen på året. Finns det någon föreskrift som förklarar när och hur detta ska ske.</p>	<p>Enligt tillverkarens skötselråd</p>
<p>6. Luftkonditionering Används luftkonditionering i byggnaden. Vilken temperatur och RF råder för denna. Ange fabrikat och när den ska justeras.</p>	<p>Förekommer ej</p>
<p>7. Variation av luftflöden Vanligtvis varierar luftflödena under åren. Hänvisa till dimensionerade tillflöden och frånflöden.</p>	<p>Luftflödena är inte säsongsstyrda men varierar mellan olika rum. Ur kök och wc utvinns 10 l/s och i badrummet 15 l/s. Flödet för dock aldrig understiga 0,35 l/s, m². I förrådet är lufflödet 0,35 l/s, m².</p>

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

<p>8. Luftrycksförhållanden Beskriv luftrycksförhållandena för byggnaden. Luftrycket kommer vara olika vid de olika våningsplanen. Bifoga helst beräkning.</p>	Ej i vårt åtagande
<p>9. Täthetsprovning och luftläckage Finns några krav på täthet för byggnaden. Hur stor kommer den oavsiktliga läckaget att vara.</p>	Ej i vårt åtagande

7.6 Utomhusklimat

För att ta hänsyn till klimatvariationer genomgå nedanstående lista. Där behandlas i vilken stad byggnaden är placerad.

Utomhusklimat enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Vilken ort ska byggnaden placeras på Orten är viktig ur byggnadens fuktsynpunkt eftersom anghalten och mängd nederbörd varierera mellan olika orter.</p>	Tanken är att byggnaderna kommer placeras efter behovet av bostäder i landet. Därför kan ingen enstaka ort väljas.
<p>2. Är byggnaden skyddad för väder och vind Om byggnaden ligger i tätbebyggt område med byggnader i närheten erhålla mindre fuktbelastning i form av slagregn. Ett hus vid kusten får även stänk från havet.</p>	Samma förutsättningar som ovanstående. Kommer variera för varje byggnad.
<p>3. Meteorologisk station I sverige finns ett antal stationer som noggrant mäterklimatet. Välj den station som ligger närmast orten där bygganden ska uppföras.</p>	Projektspecifikt
<p>4. Litteratur och klimatdata Utförliga värden på detta går att utläsa i Fukthandboken eller i fuktcentrums dataprogram Klimatdata</p>	SMHI
<p>5. Beräkningsmetod Ange vilka program och vilken upplaga som använts för fuktberäkningar.</p>	Icke stationära beräkningar med hjälp av WUFI
<p>6. Använda dataprogram</p>	WUFI

7.7 Speciella krav och risker

Här tas hänsyn till ifall beställaren har några speciella krav samt om det finns några risker med dessa. Det behandlas också om byggnaden i framtiden kommer användas till annan verksamhet som ställer andra krav.

Speciella krav och risker enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Speciella material Beställare anger ofta krav på vilka material som ska användas i byggnaden. Det kan vara med hänsyn till mögel eller allergiker. Ange vilka material och varför dessa valts.</p>	<p>Ur fuktsynpunkt anses trä vara väldigt känsligt. Peab har av denna anledning inte använt sig av något träbaserat material i ytterväggen.</p>
<p>2. Innehållsdeklarande material Använd om möjligt material som är innehållsdeklarerade och godkända av allergiförbundet, svanmärkt mm</p>	<p>Innehållsdeklarerade material enligt svanenmärkning</p>
<p>3. Risk för fuktskador Olika material är olika känsliga för fuktskador. Lim löses upp, mögelpåväxt på trä och korrosion av stål. Ange vilken fukthalt som tillåts för att det inte ska ske.</p>	<p>Se kapitel 3</p>
<p>4. Framtida användning Fuktproduktionen skiljer sig med vilken typ av verksamhet som råder. Diskutera med beställaren om byggnaden i framtiden kommer få annan verksamhet eller om byggnaden kommer byggas ut.</p>	<p>Byggnaden är avsett som bostadshus och är därför inte projekterad för någon annan verksamhet.</p>

7.8 Nederbörd

Eftersom vi valt ytterväggar finns en speciell bilaga i fuktsäkerhetsprojektering med checklista som behandlar denna byggdel. Första delen rör hur nederbörden påverkar byggnaden.

Nederbörd enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Absorberad Nederbörd Nederbörd som absorberas av fasadelementet skall kunna torka ut utan att skada delar i fasadelementet.</p>	<p>Fasaden består av en luftad fasad och väggens yttre skikt består av oorganiska material som är okänsliga för fukt.</p>
<p>2. Täta fasadskarvar Skarvar i fasaden skall vara täta och korrekt utförda så att vatten inte kan transporteras in i fasadelementet. Det gäller framförallt fukt som transporteras kapillär eller som förs in med vinden eller rinner in.</p>	<p>Fasadskarvar utförda enligt tillverkarens föreskrifter. Kontroll utförd av tillverkare.</p>
<p>3. Regnkapa Regn som träffar fasaden skall avvisas eller dräneras ut. Fasaden skall vara beständig mot frost. Byggfukt skall kunna torka ut. Ytkondens får ej förekomma. Skadlig kondens inuti väggen till följd av fuktdiffusion eller fuktkonvektion får ej förekomma.</p>	<p>Slagregn som träffar fasaden och adsorberas i putsskiktet dräneras i luftspalten. Fukt som kondenserar på insidan av putsskivan dräneras i luftspalten.</p>
<p>4. Luftning och dränering Fasadmaterial av träpanel, skivor och liknande samt skalmurar skall anordnas med bakomliggande dränering och luftning så att fukten kan avledas utåt så att uttorkning kan ske. Vid skalmurar ska man vid fog se till så att det inte finns någon kontakt med bakomliggande skiva så att fukt kan transporteras in i väggen.</p>	<p>Fasaden består av en luftad fasad och väggens yttre skikt består av oorganiska material som är okänsliga för fukt. Dräneringen är utförd enligt tillverkarens föreskrifter. Kontroll utförs av entreprenören.</p>
<p>5. Takutsprång Vid byggnad som är lägre än tre plan bör man om möjligt använda ett stort takutsprång. Detta för att minska nederbördens inverkan via slagregn på fasaden.</p>	<p>Takutsprång 400 mm med hängränna. Detaljer gällande hängränna är kontrollerade av leverantören. Kontroll utförs av entreprenören.</p>
<p>6. Grund/Vägg Man måste vid dimensionering anta att vatten tränger igenom skalmuren och därför utforma anslutningar vid fönsterns överkant och vid grundmurens upplag så att vatten kan dräneras ut.</p>	<p>10 mm öppning mellan grund och puts. Inträngande vatten leds bort av en plåtprofil.</p>

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

<p>7. Frostbeständiga material Fasadmaterial av tegel, betong, puts, m.fl. bör vara frostbeständiga.</p>	<p>Putsen i denna konstruktion är frostbeständig, Inga andra frost känsliga material ingår i ytterväggselementet.</p>
<p>8. Torrt placerat trä Placera trä och träbaserade material så torrt som möjligt. Det är viktigt att tänka på att tegel, betong, puts, etc. kan absorbera stor mängd fukt kapillärt.</p>	<p>Trä detaljer förekommer ej</p>
<p>9. Rörelsefogar Rörelsefogar eller dilatationsfogar ska vara täta så att nederbörd inte kan rinna in. Kontrollera att utsidans tätning/fuktspärr är så tät att nederbörd/fritt vatten inte kan rinna in i skarven. Tänk på att fogen ska vara vattentät även om det sker ganska stora rörelser, både horisontellt och vertikalt.</p>	<p>Fogning sker enligt tillverkarens föreskrifter. Entreprenör ansvarar för kontroll.</p>

7.9 Luftfukt utomhus

Nedanstående behandlar hur fukten i utomhusluften påverkar konstruktionen.

Luftfukt Utomhus enligt mall	Egna kommentarer
1. Kondens bakom fasadmaterial Kondens på fasadbeklädnadens insida kan orsakas av temperaturändringar vid vissa väderförhållanden. Använd tvåstegstätning (regn- och vindtätning i två olika skikt) vid icke hygroskopiska fasadmaterial med liten eller ringa värme- eller fuktkapacitet, t.ex. plåt eller natursten	Detta kontrolleras med hjälp av beräkningar i Wufi
2. Placering av träprodukter Placera trämaterial, t.ex. syll och hammarband, så nära insidan och så torrt som möjligt. Se till att det finns ett skikt värmeisolering placerad på utsidan.	I ytterväggs elementet finns inga träprodukter eller träbaserade material.

7.10 Luftfukt inomhus

Nedanstående behandlar hur luften utomhus påverkar konstruktionen. Viktigast är att kontrollera så att ångspärren och vindpappen är rättplacerad.

Luftfukt Utomhus enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Ångdiffusion Fukttransport i ångfas (ångdiffusion) ska inte ge skadliga fuktillstånd i konstruktionen. Om så är fallet placera en heltäckande ångspärr i konstruktionens insida. Ångspärren får inte skadas av de boendes vanor, t.ex. håltagning för uppsättning av tavlor m.m.</p>	Ångspärr finns i väggen
<p>2. Fuktkonvektion God lufttätning ska finnas för att undvika fuktkonvektion, d.v.s. fukttransport med hjälp av lufttryckskillnader. Kontrollera anslutningar till andra konstruktioner, skarvar och överlapp där ett luftläckage kan förekomma. Tänk på övertrycka temporärt kan förekomma vid ytterväggens övre del vid anslutning till tak</p>	Motverkas med hjälp av vindpapp.
<p>3. Indragen ångspärr Då ångspärr/lufttätning behövs i ytterväggen rekommenderas en installationsspalt närmast väggens insida, där elkablar och ventilationskanaler kan placeras. Vattenledningsrör skall dock placeras väl synliga. (Se flik läckage). Ångspärrens placering i väggen ska inte ge kondens eller höga fuktillstånd inuti ytterväggen. OBS! Använd inte indragen ångspärr om det finns risk för att akustikplattor ska användas. Kontrollera med beräkningar om kondensrisk föreligger.</p>	Kontrolleras i Wufi
<p>4. Klimatanläggning Vid klimatanläggningar med kondensorn placerad på ytterväggens utsida bör risken för skador i fasadbeklädnaden undersökas.</p>	Förekommer ej
<p>5. Håltagning Undvik håltagning i ångspärren och lufttätningen. Om håltagning måste genomföras ska tätningen utföras med för ändamålet särskilt godkänt material enligt tillverkarnas branschstandarder.</p>	Ingen brytning av ångspärren förekommer

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

6. Köldbryggor och kallpartier Undvik köldbrygger eller kalla partier. Se till att en så stor del som möjligt av värmeisoleringen placeras på utsidan av köldbryggan. Om köldbryggor inte helt kan undvikas eller åtgärdas bör risken för fuktproblem utredas.	Ingår inte i åtagandet
7. Högluffuktighet Rum med en hög fuktbelastning skall ventileras väl.	Ingår inte i åtagandet

7.11 Nederbörd under byggnadstiden

Nederbörd under byggtiden kan förstöra material och leda till fuktskador om byggnaden inte väderskyddas rätt. Det projekt vi studerar berörs inte utav denna effekt då montaget sker under montagetält.

Nedbörd under byggnadstiden enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Förvaring av material Föreskriv/rekommendera hur byggnadsmaterial ska förvaras. Se hur respektive materialfabrikant vill att det ska göras. Byggnadsmaterial som inte kommer att utsättas för nederbörd under brukartiden bör förvaras torrt. Torra material och torra konstruktioner minskar risken för framtida fuktproblem.Exempel på lämplig förvaring Inomhus avskilt från fuktiga golv. Utomhus avskilt från marken och luft under pressningen.</p>	<p>Byggelementen lagras på fabrik i ett kallager. Levereras till byggarbetsplatsen i täckta bilar samma dag som de byggs in i konstruktionen.</p>
<p>2. Provisoriska skydd Rekommendera att man använder provisoriskt tak eller presenning för att förhindra att nederbörd tränger in i konstruktionen. Tänk på att nederbörd orsakar en förhöjd energiförbrukning både under uttorkning av byggfukt och om fukt finns instängd i värmeisoleringen mellan två ångtäta skikt.</p>	<p>Montag sker väderskyddat</p>
<p>3. Prefabricerade element Prefabricerade element ska förvaras så att nederbörd inte kan ge ökad fuktbelastning. Rekomenderar att de bör förvaras luftigt under presenningar eller använd provisoriskt tak samt väl avskilda från marken. Prefabricerade element bör inte förvaras under längre tider på arbetsplatsen utan ska helst levereras samma dag som de ska användas.</p>	<p>Elementen levereras enligt "Just in time" principen.</p>

7.12 Byggfukt

Byggfukt förekommer alltid under byggnationer och behandlas detta korrekt medför detta inget problem. Projektets känsligaste byggdel avseende byggfukt är plattan på mark.

Byggfukt enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Torka ut inom rimliga tider Konstruktioner med material som tillförs fukt under uppförandet, t.ex. betong, lättbetong och skalmurar, ska kunna torka ut inom rimliga tider. Kontrollera att t.ex. betong inte orsakar skador på omgivande fuktkänsliga material(t.ex. trä eller träbaserade material) efter att uttorkningen har skett till den lägsta kritiska fuktnivån. När olika material ingår i konstruktionen så är det den lägsta kritiska fuktnivån som avgör vilken relativa fuktigheten som uttorkningen ska ske. Gjutformar av trä eller trä baserade material får ej finnas kvar i konstruktionen.</p>	Ej relevant, finns inga uppfuktade material
<p>2. Fuktiga material Fuktiga material ska inte byggas in i konstruktionen. Detta gäller speciellt organiska och hygroskopiska material, t.ex. trä och träbaserade material. Ange vilken maximal fuktnivå som kan accepteras vid inbyggnad.</p>	Förekommer ej
<p>3. Fuktspärr/Ångspärr Placera en alkalibeständig fuktspärr/ångspärr mellan trä och träbaserade produkter och material som kan vara fuktigt utan att ta skada (t.ex. betong, lättbetong, tegel, etc). Betong ska vara väl rengjord innan t.ex. ångspärr eller fuktspärr appliceras.</p>	Förekommer ej
<p>4. Ytbehandlingar Uttorkningstiden får inte förlängas av olämplig ytbehandling och/eller av de invändiga beklädnadsmaterialen. Redovisa både när ytbehandling kan göras och när en ny kan utföras.</p>	Ej relevant, förekommer inga känsliga material
<p>5. Kontrollplan för byggfukt Kontrollera att byggfukten, i ång- och vätskefas, inte kan transporteras till andra konstruktioner och anslutningar där den kan kondensera eller på annat sätt ge skador.</p>	Ej relevant, minimal förekomst av byggfukt

7.13 Läckage

Om läckage från rör skulle ske i ytterväggen är det viktigt att denna tas om hand på rätt sätt. För att upptäcka eventuella läckage har projektets ytterväggar försetts med inspektionsluckor.

Läckage enligt mall	Egna kommentarer
<p>1. Vattenledningsrör Vattenledningsrör ska placeras så att eventuellt läckage kan upptäckas i ett tidigt skede.</p>	Placerade i schakt med inspektionsluckor
<p>2. Kondens på rör För att undvika kondens på rör måste rörisoleringen vara tillräckligt tjock. På rör som alltid har en lägre temperatur än omgivningen kan kondens lätt uppstå. Sådana rör bör därför placeras i särskilda vattensäkra schakt där överskottsvattnet kan tas omhand.</p>	Kontrolleras av entreprenören
<p>3. Läckande stuprör Läckande stuprör och hängrännor ska inte orsaka skador i väggen eller på fasaden.</p>	Inspekteras av förvaltare
<p>4. Direkt vattenspolning Om någon del av ytterväggarna kan belastas av direkt vattenspolning (t.ex. vid spolplatta, utvändiga tappvattenkranar m.m.) eller smältvatten (t.ex. uppvärmda garage) måste väggen förses med speciellt fuktskydd som förhindrar en vidare transport in i konstruktionen.</p>	Förekommer ej

8 Beräkningar med Wufi

I detta avsnitt redovisas beräkningarna som gjorts i Wufi 4.1 och med hjälp av dessa dras slutsatser om konstruktionen klarar uppsatta mål. För att ge Peab en vägledning hur användbart Wufi 4.1 är för fortsatta fuktutredningar i projektet beskrivs hur programmet fungerar och hur användbart detta är. Texten bygger på att läsaren endast ska kunna gå in i en av analyserna utan att läsa dem andra, t.ex. vanlig vägg i Göteborg, därför finns risk att texten blir upprepande.

Wufi genererar tabellvärden på fukthalt och våra kritiska fuktnivåer är uttryckta i relativ fuktighet. Nedan finns en tabell som omvandlar materials fukthalt till rådande relativ fuktighet.

Materialets fukthalt (kg/m ³)	RF (%)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99	100
Puts					30			45	65		95	210
Putsbärare	35		42		50			70	85	104	158	667
Vindskydd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mineralull	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27			0,3
PE-membrane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mineralull	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27			0,3
Gips			3		4		4,5	5	8	11		25

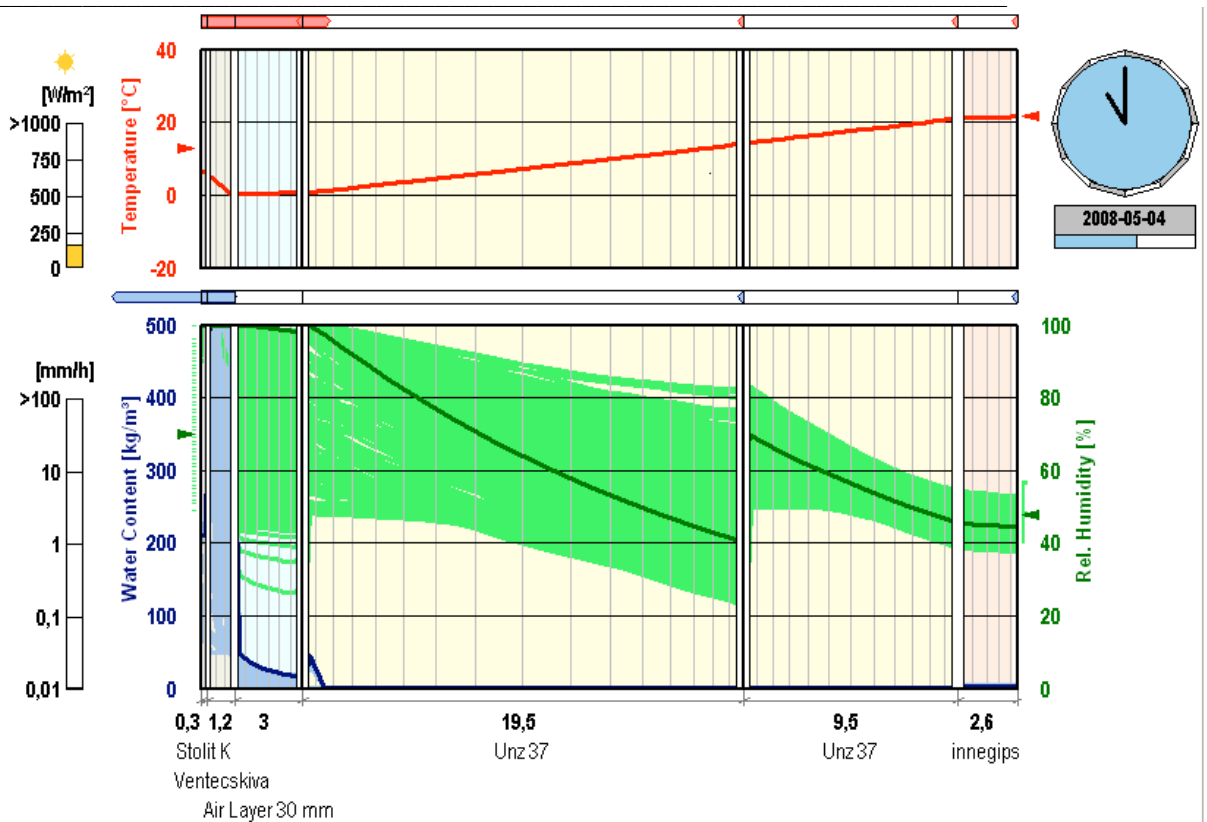
Tabell 8.1. Materials fukthalt till rådande RF

I ett inledande skede av arbetet var tanken att beräkna fem olika väggsnitt.

1. Väggsnitt vid bjälklag
2. Väggsnitt vid värmerör
3. Väggsnitt bakom bokhylla
4. Väggsnitt vid pelare
5. Vanligt väggsnitt

Resultaten vi fick blev oanvändbara. Fuktlagringen i vissa snitt blev stora (överkligt stora) se figur 8.1. I praktiken är det omöjligt att få en vattenlagring i en luftspalt. Konstruktionen är utformad så att vattnet kommer att avledas med hjälp av plåtar ut genom byggdelen. Som figuren visar bidrar vattenlagringen i luftspalten till att en vattenlagring uppstår även i det yttre skiktet med mineralull vilket är svårförklarligt. Möjligen uppkommer detta av att putsbäraren enligt beräkningen alltid är fuktig och att denna fukt drivs inåt varje gång det är solsken och kondenserar i yttre delen av mineralullen där det då tillfälligtvis är kallare..

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

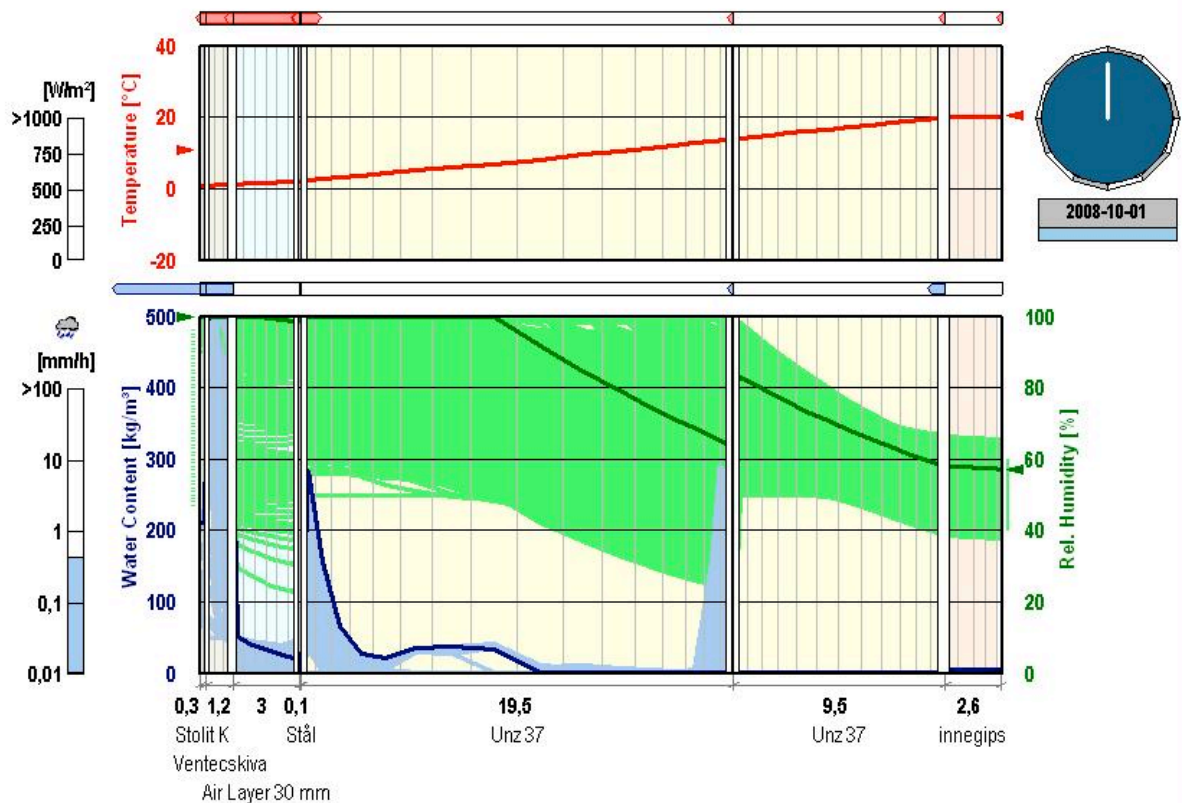


Figur 8.1 Beräkning med luftspalt

Figur 8.1 visar en fukthalt på upp till 50 kg/m^3 i luftspalten! Detta är orimligt och säkert en följd av numeriska problem med konvergensen.

Även figur 8.2 styrker våra antaganden. Då har en plåt placerats vid luftspalten, av misstag för att simulera inverkan av en stålpelare. Dess oändliga täthet skall medföra att ingen vattentransport kan ske mellan luftspalt och mineralullslager. Inifrån borde ångspärr starkt begränsa fukttransporten utåt, in i detta mineralullslager. Från början innehåller skiktet mellan stålplåten och PE-folien en mycket liten fuktmängd. Omfördelning av den kan bara ge en liten fukthaltsökning på stålplåtens insida. Trots detta uppstår orimliga vattenmängder i detta lager. Efter ca 300 dygn började det plötsligt att ”uppstå” fukt här! Detta tyder på att Wufi vid denna tidpunkt var behäftat med något fel och inte tillräckligt utvecklat för att användas för dessa tillämpningar.

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement



Figur 8.2 Beräkning med stålplåt utvändigt och PE-folie invändigt

Dessutom var antalet konvergensfel alltför högt vilket gjorde resultaten oanvändbara. Delvis berodde detta på att Wufi hade svårt att behandla de luftspalter som väggen bestod av. Därför byttes spår. Från början var tanken att med hjälp av Wufi redovisa beräkningar och dra slutsatser. Vi skulle alltså redovisa hur väggen kommer reagera under lång tid då den fuktbelastas och därefter bedöma om några konstruktiva åtgärder behöver vidtas.

När inte detta fungerade lades tyngden på att utföra en fuktsäkerhetsprojektering med checklista som grund och därefter undersöka om Wufi 4.1 var ett bra program att göra kvantitativa bedömningar med. Vår slutsats var då att instrumentet var för utvecklat vid denna tidpunkt samt bedömde att det krävdes högre kompetens av användaren. Det var alltså inget verktyg som medförde att Peabs interna personal skulle kunna utföra dessa beräkningar. Därför rekommenderade vi Peab att fortsättningsvis ta in experthjälp i form av konsulter för att göra fuktsäkerhetsprojekteringar.

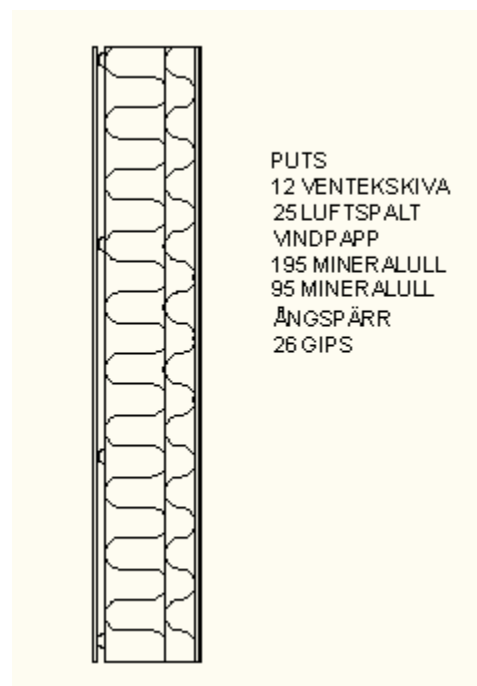
Tyngdpunkten i arbetet lades därefter att beskriva processen med fuktsäkerhetsprojekteringar samt redovisa de klimatdata vi i samarbete med SMHI tog fram.

8.1 Yttervägg

8.1.1 Studerat snitt

Vi har valt att studera ett snitt av ytterväggen baserat på vår analys av byggelement, se kapitel 5.

För att överhuvudtaget få numeriskt rimliga resultat togs luftspalten bort i beräkningen.



Figur 8.1 Skiss vanlig vägg

8.1.2 Yttervägg placerad i Göteborg

Putsens vatteninnehåll blir maximalt $229,4 \text{ kg/m}^3$, se tabell 8.1, vilket innebär att 100 % RF uppnås. Något annat värde är inte att vänta eftersom putsen blir vattenmättad då slagregn träffar fasaden. Eftersom putsen är applicerad direkt på putsbäraren kommer även detta material erhålla 100 % RF.

Putsbäraren innehåller endast återvunnet glas och är därför okänslig för denna fuktpåverkan. Mineralullslagret som placerats längst ut i konstruktionen innehåller som mest $0,77 \text{ kg/m}^3$ vatten vilket innebär att 100 % RF uppnås, det är oroväckande eftersom mikrobiell tillväxt startar redan vid 85 % RF. Innersta lagret däremot klarar

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

sig utmärkt och belastas maximalt med 70 % RF. Innegipsen medför inga problem alls utan erhåller maximalt 68 % RF.

Tabell 8.1 Medelfukthalter i de olika materialen, i början, i slutet samt högsta och lägsta värde; Göteborgsklimat

Water Content [kg/m³]

Layer/Material	Start of Calc.	End of Calc.	Min.	Max.
Stolit K	35,00	210,85	35,00	229,37
Ventecskiva	56,67	670,15	56,67	675,90
vindskydd	0,00	0,07	0,00	0,22
Unz 37	0,18	0,77	0,15	0,77
PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Unz 37	0,18	0,20	0,15	0,21
innegips	4,25	4,14	3,18	4,28
Total Water Content [kg/m ³]	0,95	8,95	0,95	9,02

Tabell 8.2 visar hur fukt- och värmeflödena ser ut i väggen.

Tabell 8.2 Sammanlagda flöden in och ut genom ränderna

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side [MJ/m ²]	-74,23
Heat Flux, right side [MJ/m ²]	-83,67
Heat Sources [MJ/m ²]	0,0
Moisture Fluxes, left side [kg/m ²]	7,82
Moisture Fluxes, right side [kg/m ²]	-0,18
Moisture Sources [kg/m ²]	0,0

Tabell 8.3 visar information om uträkningen. Att endast tre stycken konvergensfel uppstått får betraktas som bra. Oroväckande nog har 248 absorptionsfel uppstått, vilket betyder att vid 248 tillfällen har programmet haft svårt att ta med fuktbelastningen som skapas av regn.

Tabell 8.3 Kvaliteten hos den numeriska beräkningen

Status of Calculation

Calculation: Time and Date	2008-01-24 21:08:08
Computing Time	2 h,55 min,11 sec.
No. of Convergence Failures	3
No. of Rain Absorption Failures	243

8.1.3 Vanlig vägg i Malmö

Putsen och putsbäraren överstiger vatteninnehållet 200 kg/m³ respektive 667 kg/m³ vilket innebär att materialen erhåller 100 % RF. Oroväckande är att även bägge mineralullagren uppnår 100 % RF någon gång under tidperioden. Sannolikheten att dessa får mikrobiell påväxt är därför stor. Maximal RF nivå i innegipsen är 76 %, se Tabell 8.4.

Tabell 8.4 Medelfukthalter i de olika materialen; Malmöklimat

Water Content [kg/m³]

Layer/Material	Start of Calc.	End of Calc.	Min.	Max.
Stolit K	65,00	210,01	65,00	224,60
Ventecskiva	50,00	668,12	50,00	686,38
vindskydd	0,00	0,05	0,00	0,28
Unz 37	0,15	19,10	0,13	19,10
PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m)	0,00	0,00	0,00	0,07
Unz 37	0,15	0,48	0,14	0,76
innegips	4,00	4,51	3,20	4,76
Total Water Content [kg/m ³]	0,94	12,53	0,94	12,57

Tabell 8.5 visar hur fukt- och värmeflödena ser ut i väggen.

Tabell 8.5 Flöden genom ränder

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side [MJ/m ²]	-39,96
Heat Flux, right side [MJ/m ²]	-78,99
Heat Sources [MJ/m ²]	0,0
Moisture Fluxes, left side [kg/m ²]	8,15
Moisture Fluxes, right side [kg/m ²]	-0,07
Moisture Sources [kg/m ²]	0,0

Uträkningen genomfördes med 12 konvergensfel, enligt rekommendationer från IBP:s tekniker bör inte detta antal överstiga 3 för att erhålla trovärdigt resultat. Trots detta blir resultatet snarlikt väggarna i Stockholm och Göteborg vilket medförde att vi godkände detta, se Tabell 8.6.

Tabell 8.6 Beräkningens numeriska kvalitet

Status of Calculation

Calculation: Time and Date	2008-01-26 16:37:39
Computing Time	1 h,13 min,41 sec.
No. of Convergence Failures	12
No. of Rain Absorption Failures	175

8.1.4 Vanlig vägg i Stockholm

Någon gång under vår uträkningsperiod på ett år kommer relativa fuktigheten att vara 100 % i Putsen, ventecskivan och yttersta lagret av mineralull. Så hög relativ fuktighet i mineralullen medför stor risk för mikrobiell påväxt. Lagret med gips klarar sig utan skada då endast 66 % RF uppnås. I mineralullslagret som placeras längst in i konstruktionen erhålls 80 % RF, se Tabell 8.7.

Tabell 8.7 Medelfukthalter i de olika materialen; Stockholmsklimat

Water Content [kg/m³]

Layer/Material	Start of Calc.	End of Calc.	Min.	Max.
Stolit K	65,00	217,26	49,80	237,36
Ventecskiva	50,00	693,01	50,00	708,39
vindskydd	0,00	0,06	0,00	0,24
Unz 37	0,15	11,27	0,12	11,72
PE-Membrane 0,2 mm (sd = 87 m)	0,00	0,00	0,00	0,05
Unz 37	0,15	0,20	0,14	0,24
innegips	4,00	4,11	3,17	4,42
Total Water Content [kg/m ³]	0,94	11,29	0,94	11,49

Figur visar hur fukt- och värmeflödena ser ut i väggen, se Tabell 8.8.

Tabell 8.8 Flöden genom ränderna

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side [MJ/m ²]	-83,52
Heat Flux, right side [MJ/m ²]	-86,49
Heat Sources [MJ/m ²]	0,0
Moisture Fluxes, left side [kg/m ²]	8,34
Moisture Fluxes, right side [kg/m ²]	-0,15
Moisture Sources [kg/m ²]	0,0

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement

Uträkningen utfördes med 0 konvergensfel vilket är godkänt. Däremot påträffades 427 absorptionsfel vilket är för mycket. Fuktblastningen från nederbörden är därför inte helt inräknat, se Tabell 8.9.

Tabell 8.9 Beräkningens numeriska kvalitet

Status of Calculation	
Calculation: Time and Date	2008-01-26 17:57:22
Computing Time	44 min,31 sec.
No. of Convergence Failures	0
No. of Rain Absorption Failures	427

8.1.5 Sammanfattning av resultatet för vanliga väggar.

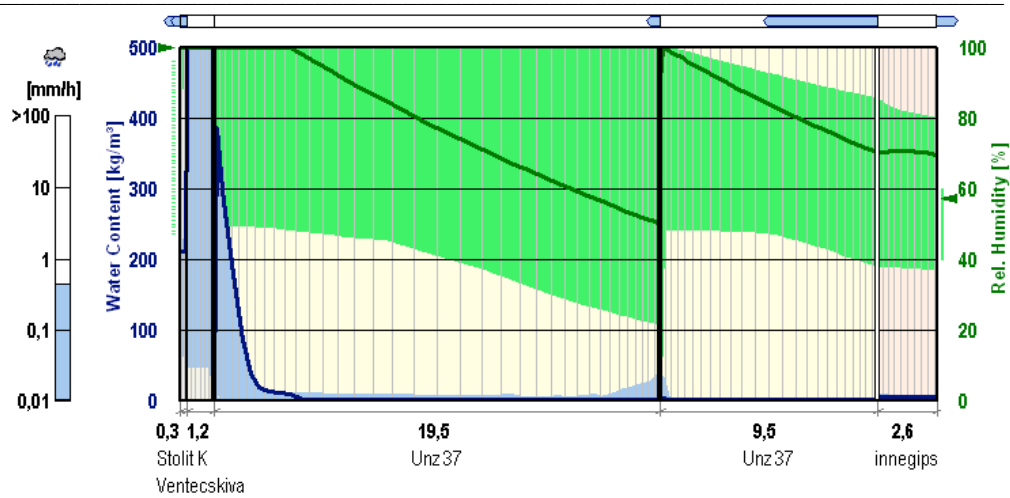
Det bör beaktas att i samtliga tre fall överstiger RF 90 % i det yttre mineralullslagret vilket kan leda till skada i form av mikrobiell tillväxt vid långvarig varaktighet.

Väggen placerad i Stockholm får lite högre fuktinnehåll än övriga men skillnaden är väldigt liten. Det betyder att det yttersta mineralullslagret blir någon gång under perioden över 90 % oberoende vilken ort väggen är placerad i. Städernas klimatskillnad har mycket liten påverkan på hur fuktinnehållet blir i väggsnittet.

Den enda vägg som erhåller för hög RF i innersta skiktet med mineralull är i Malmö. Eftersom fuktproduktionen är lika stor på insidan i byggnaden och temperaturskillnaden i detta skikt städerna emellan är liten beror detta säkerligen på att uträkningen utfördes med många konvergensfel.

Figur 8.2 illustrerar hur relativa fuktigheten varierat under uträkningsperioden. Gröna strecken i figuren visar vilka värden som erhöles vid uträkningsperiodens slut och ljusgröna fält visar vilka värden RF varierat mellan.

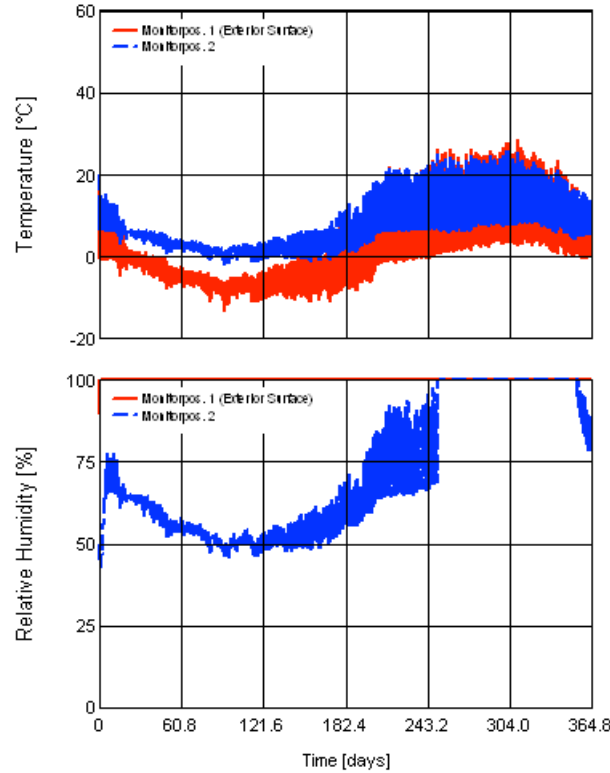
Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement



Figur 8.2 Temperatur- och fuktfördelning genom väggen

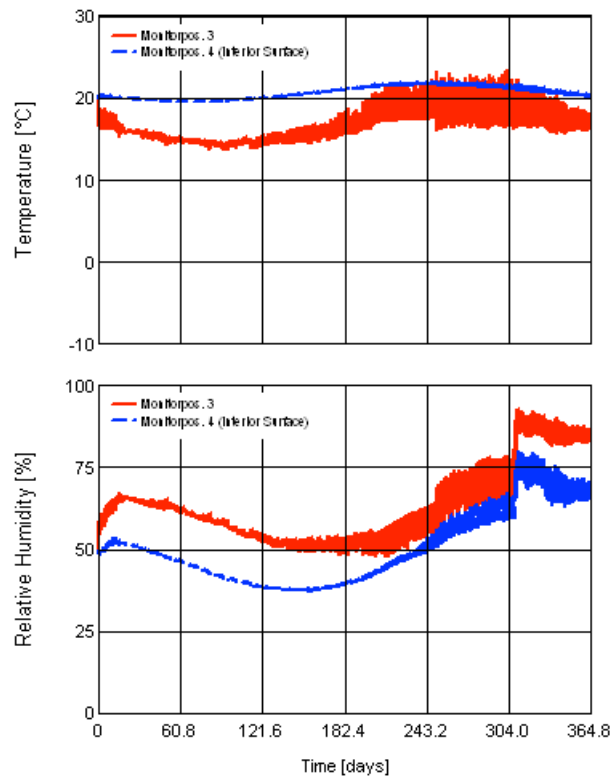
Under fuktsäkerhetsprojekteringar är det av stort intresse att veta hur lång tid RF överstigit kritiskt värde. För att beakta detta placerades en ”kamera” in i mitten på lagren med isolering samt in- och utsida. Med facit i hand kan konstatera att ”kameran” egentligen borde ha placerats längst ut i varje lager eftersom det är där värdet blir som högst enligt ovanstående figur. Men trots detta får vi en uppfattning över hur lång tid fuktigheten är som högst.

I figur 8.3 kan utläsas att isoleringen placerad längst ut i konstruktionen erhåller 100 % RF mellan dagarna 250-350 vilket i vårt fall är sommarmånaderna då vi startar beräkningen första oktober. RF överstiger kritiskt fukttillstånd mellan dagarna 200-300 vilket motsvarar 14 veckor. Risken för skada under så lång tidsperiod är då mycket hög.



Figur 8.3 Temperatur (upptill) respektive RF (nedtill) för utsida (röd kurva) och mitt i yttre mineralullskiktet (blå kurva)

Inre lagret av mineralull uppnår även det ett värde som överstiger kritiskt. I detta fall kan däremot konstateras att detta sker under en period på 25 dagar, se figur 8.4, vilket motsvarar 3,5 veckor. Troligtvis kommer denna tendens hålla i sig vilket innebär att under en kort period under sommarmånaderna kommer RF överstiga kritiskt värde. Men som sagt bör detta inte åstadkomma skada för konstruktionen.



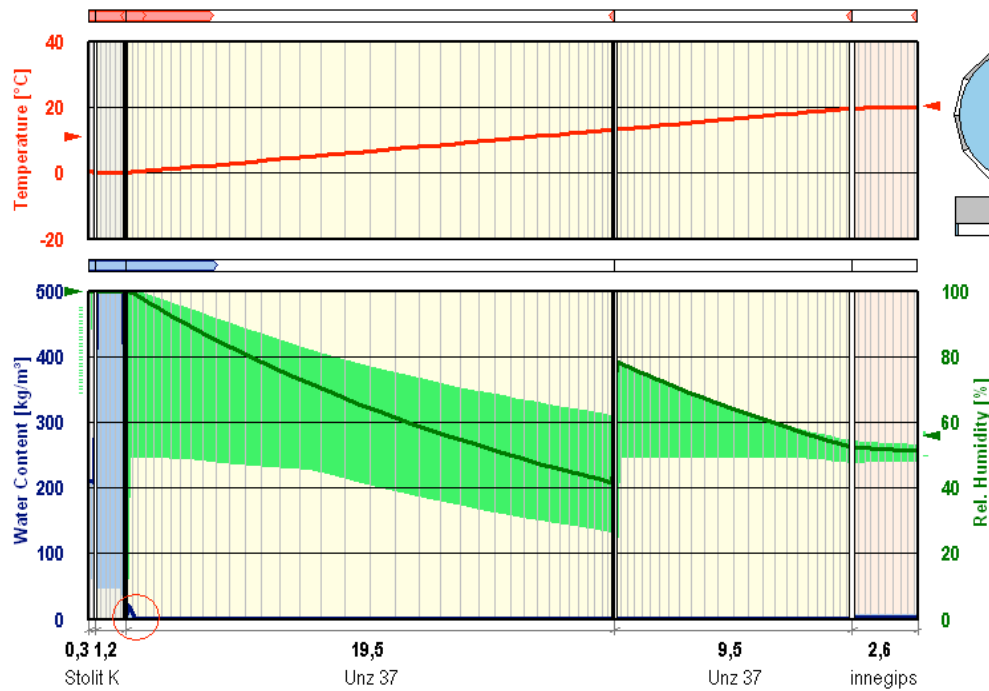
Figur 8.4 Temperatur (upptill) respektive RF (nedtill) mitt i inre mineralullskiktet (röd kurva) och på insidan (blå kurva)

Enligt figur 8.2 uppstår en vattenlagring i mineralullslaget under tidsperioden. Det kan leda till skada på andra skikt eftersom detta vatten måste ledas bort på något sätt. Därför görs en djupare analys i detta avseende. Redan efter 10 dagar visar det sig att en viss vattenlagring börjar uppstå, se figur 8.5.

Som nämnts tidigare kan inte WUFI räkna med luftspalter mellan ventekskiva och vindpappen, vår beräkningsmodell blir detsamma som för en enstegstätad vägg. Luft är ett svårt medie att räkna på och tillsätts luftspalter uppstår många konvergensfel och uträkningarna blir därför inte pålitliga. Det är viktigt att påpeka då man kan utläsa i figuren att venteklagret är helt vattenmättat. Det gör att det enda som förhindrar vatteninträning lagren mellan är vindpappen. Eftersom vindpappen inte är helt tät kommer visst vatten i beräkningsmodellen att avges från ventekskivan till mineralullen.

I verkligheten uppstår ett annat scenario, efter det att ventekskivan blir vattenmättad kommer det utfällda vattnet att rinna av i luftspalten och därför aldrig bidra till ett fuktillskott för mineralullen.

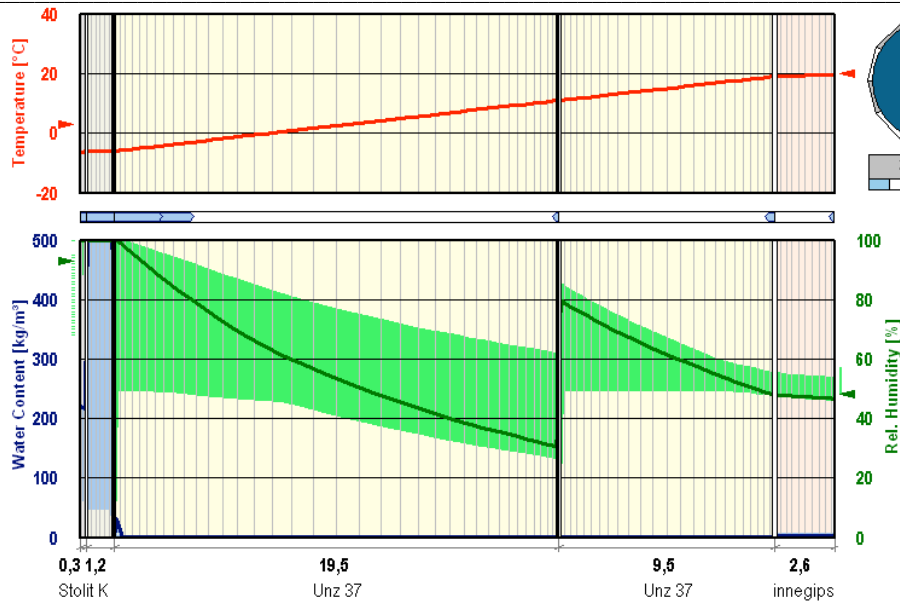
Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement



Figur 8.5 Fukt- och temperaturfördelning efter 10 dagar

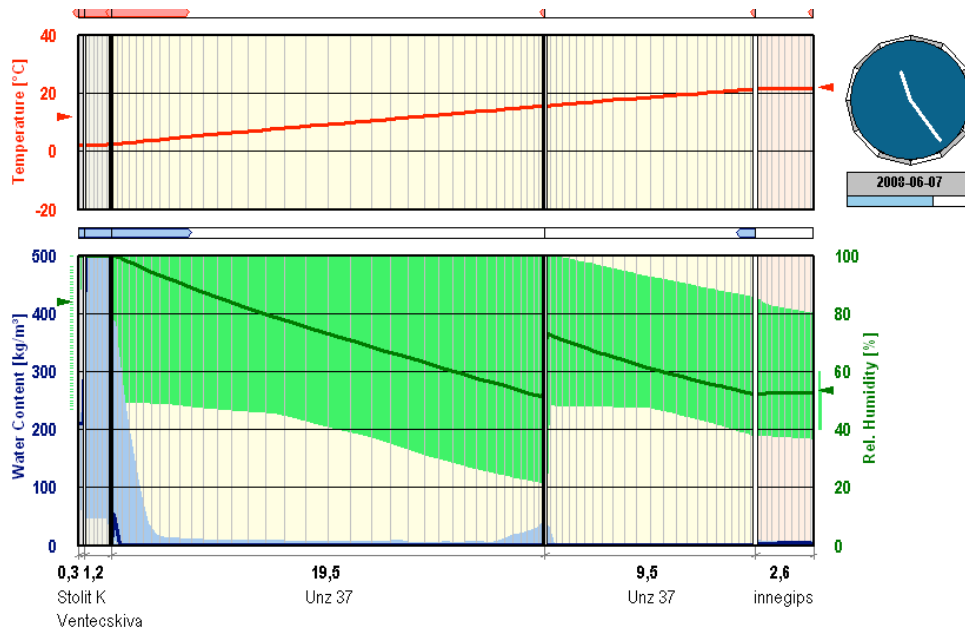
Möjligtvis skulle anledningen till hög RF i mineralullens yttre skikt kunna bero på att temperaturen är lägre där än i mitten. Vid ett senare tillfälle har även temperaturen sjunkit i mittenskitet till ca 0 grader, se figur 8.6. Fuktbelastningen har varit likvärdig men trots det är RF avsevärt lägre. Det styrker teorin att anledningen till vattenavlagring beror på fuktillskottet från ventekskivan.

Fuktsäkerhetsprojektering av prefabricerade byggelement



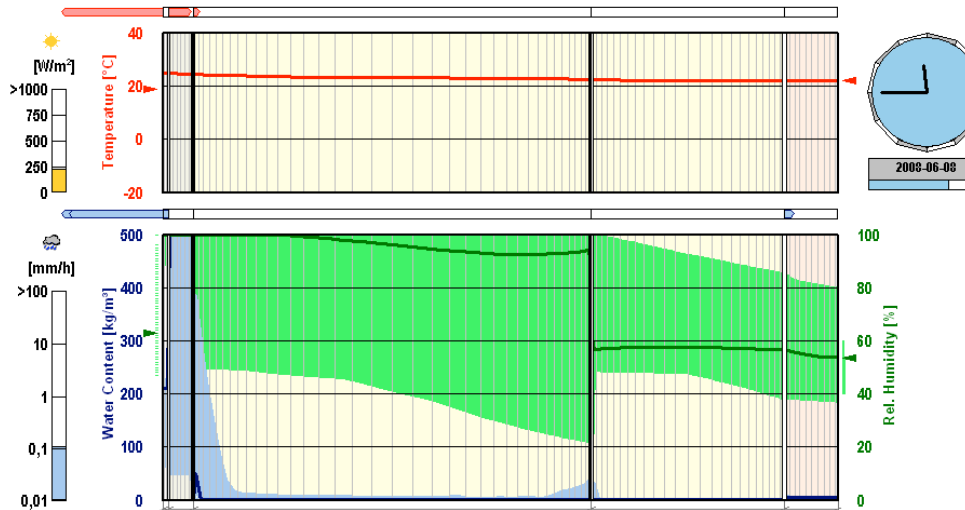
Figur 8.6 Fukt- och temperaturfördelning under vintern

Under sommarmånaderna (början på juni) uppstår väggens stora fuktproblem. Under natten då temperaturen utomhus är låg är även RF i mineralullens tvärsnitt lågt, se figur 8.7.



Figur 8.7 Fukt- och temperaturfördelning under en sommarnatt

Ökad temperatur utomhus medför ökat RF i tvärsnittet. Under dygnets varma timmar uppstår 100 % RF i hela tvärsnittet, tillslut uppnås en tillräckligt hög vattenlagring i tvärsnittet att tvärsnittet inte hinner torka ut under natten, se figur 8.8.



Figur 8.8 Fukt- och temperaturfördelning under en sommardag

Under hela juli månad är RF i tvärsnittet 100 %. Det leder till att vattenlagringen i tvärsnittet ökar med tiden. Uttorkningen påbörjas inte förens i slutet på juli.

Något som måste påpekas när det gäller fuktbelastningen är teoretiskt klimat som väggen utsätts för. Som nämns i separat avsnitt med klimatdata har ett medelvärde av tio år använts. Det gör att nederbörden är fördelat som medelvärde per timme. Det gör att vi får en jämn men låg fuktbelastning. Under uträkningsperioden erhålls nederbörd varje dygn. Så är det inte i verkligheten. I verkligheten kommer ventekskivan att torka ut under perioder då det inte regnar. Det påverkar venteksskivans fuktbelastning på mineralullen.

8.2 Utvärdering av Wufi 4.1

För att göra icke stationära beräkningar har vi alltså använt oss av ett program som heter WUFI 4.1 som är framtaget av IBP software [12]. Eftersom detta program ännu är relativt obekant för svenska byggmarknaden tänkt vi i följande text förklara hur programmet fungerar och hur användbart detta är.

Programmet är framtaget för att beskriva hur olika lager med byggnadsmaterial fungerar hygrotermiskt i förhållande till varandra. Klimatet på in- och utsidan av en byggnad varierar med tiden vilket gör det svårt att få hög tillit i stationära beräkningar.

Även det faktum att förhöjd fukthalt ökar värmekonduktiviteten och att den rådande termiska situationen påverkar fukttransporten måste beaktas. Grundarna har tagit hänsyn till detta med hjälp av dagens forskning för att skapa ett användarvänligt program för ingenjörbyråer, konstruktörer, konsulter och tillverkare.

Programmet är utvecklat enligt tyska normer och tar därför huvudsakligen hänsyn till ångdiffusion för att bedöma fuktbalansen i en byggnadskomponent. Beräkningarna som görs tar alltså dålig hänsyn till fukttransport kapillärt.

Enligt rekommendationer av programmets tillverkare, IBP software, bör inte programmet användas för att producera simuleringar av realistiska värme- och fukt villkor i en komponent utan mer fungera som att ge en allmän bedömning av hygrotermiska lämpligheten.

Vid första användandet börjar man med att bygga upp väggens olika materiallager. Eftersom materialdatabasen endast består av tyska material var vi tvungna att med hjälp av materialtillverkare skapa egna material till databasen.

Samma problem hade vi med väderdata. Wufi 4.1 saknar svenska städers klimatdata vilket ledde till att vi fick kontakta SMHI och skapa egna filer. Vi har då beaktat nederbörd, global solstrålning, direktstrålning, vindhastigheter, RF och temperatur. Värdena är baserade på en 10-års period med värden varje timma för Stockholm, Malmö och Göteborg.

Innan man startar beräkningar måste man veta lite om byggnaden, hur hög den är, hur omgivningen ser ut och i vilken vindriktning byggnadselementet är placerat. Efter att man har gjort dessa inställningar så bygger man upp byggnadselementet i dess olika byggnadsmaterial. Sedan är det bara att köra programmet.

8.2.1 För- och nackdelar

Fördelar

- Enkelt gränssnitt, lätt att komma igång med programmet.
- Det är lätt att bygga upp och ändra snitt genom en vägg.
- Resultatet man får ut är bra, för att man får det både i tabeller och i film.
- Enkelt att exportera resultatet till excel.

Nackdelar

- Programmet är stort, tar mycket utrymme och beräkningarna tar lång tid att utföra.
- Programmet har många buggar, tex efter att en beräkning genomförts går inte filen att startas igen. Programmet har vid flera tillfällen raderat fil mitt i uträkning.
- Uträkningar med porösa material och luft kan inte hanteras av programmet.
- Svårt att få felfria beräkningar, utan konvergeringsfel.
- Svårtolkade resultat för personer som inte dagligen jobbar med fuktfrågor.

Vi rekommenderade inte Peab att använda sig av programmet. Det är väldigt enkelt gränssnitt och mycket lätt att komma igång. Däremot var alla material och data avsett för tyska marknaden vilket gjorde det otroligt tidskrävande att lägga in nya material. Under vår testperiod hade vi väldigt stora problem med körningarna, programmet avslutades plötsligt, gick inte att öppna några sparade filer och uträkningarna utfördes ofta med många konvergensfel. Det gör situationen mycket irriterande med tanke på att varje körning tar många timmar att utföra.

9 Felkällor

Vi har ett stort antal brister i våra icke stationära beräkningar vilket gör det svårt att dra fullständiga slutsatser av våra beräkningar. En orsak är att vi har fått modifiera väggen så att datorprogrammet skulle klara av att utföra några beräkningar utan att få konvergerings fel. Detta leder till att slutsatserna vi har dragit utifrån dessa beräkningar, måste man beakta att väggen är modifierad.

Med tanke på att vi bara har haft konceptuella ritningar på ytterväggen så ska man mera titta på metoden vi har tagit fram och göra en bedömning ifall den går att använda sig av vid en fuktsäkerhetsprojektering. Vår bedömning är att det är en enkel och bra metod.

En annan felkälla är att vi har haft väldigt stora problem att få fram materialdata från materialleverantörer. Detta har inneburit att vi har fått göra en hel del antaganden på ingångsdata till datorprogrammet.

Under uträkningarna på väggarna har det visat sig att placeringsorten har liten betydelse för RF i tvärsnittet. Däremot har antalet konvergensfel stor betydelse vilket gör att vi bortser från resultaten som utförts med mer än tre konvergensfel.

10 Slutsatser

10.1 Klimatets påverkan på beräkningsresultatet

Gällande klimatdata är det nederbörden som har störst differens städerna emellan. Det påverkar endast väggens yttre skikt, dvs putsen och putsbäraren, eftersom väggen består av en ventilerad fasad. Teoretiskt sett borde ytskikten i Göteborg erhålla högsta värden på RF fuktighet. Vid en jämförelse med beräkningsresultaten kan utläsas att ytskikten i Stockholm erhåller högst värden. Det beror på att vi vid denna beräkning har nära dubbelt så många absorptionsfel som övriga orter vilket betyder att programmet har haft svårt att räkna med denna variabel.

Malmö är den ort med högst medelvärde på luftens relativa fuktighet. Då material ställer in sig efter omgivande medias relativa fuktighet borde material placerade i Malmö erhålla högst RF värden. Vid jämförelse mellan uträkningarna är så fallet. Skillnaden är väldigt hög. Fukthalten i det yttre mineralullslagret i Malmö är 19 gånger så hög som i Göteborg. Vid jämförelse mellan Göteborg och Stockholm, städer med liknande relativ fuktighet, är skillnaden även här stor. Värdet på yttre mineralullslagret är 11 gånger högre i Stockholm än Göteborg. Det tyder på att det är annan faktor som påverkar och alltså inte luftens värde på relativ fuktighet.

Sammanfattningsvis kan nämnas att orsaken till variansen mellan de olika beräkningarna inte kan härledas till någon skillnad i klimatet utan tycks bero på fel i WUFI.

10.2 Förslag på förändringar

- Ytterväggselementen bör emballeras ordentligt, att endast skydda dessa med en regnkappa medför att fuktig luft kan ta sig in under kappan och nedfukta elementen. För att undvika detta föreslår vi att man plastar in elementen. Detta medför att man måste avemballera elementen på montageplats och även en fördyrad lösning eftersom mycket plast förbrukas. Finns det någon annat emballage som är tillräckligt tät och som kan återvinnas?
- När man placerar två ytterväggselement på varandra finns det en plåt som gör att vatten kan rinna in i konstruktionen. Denna bör omarbetas på något sätt.
- Med tanke på vilka problem vi har haft med datorprogrammet så rekommenderar vi att man använder sig av ett annat. Wufi har för många brister för att man ska kunna använda det i dagsläget.

11 Referenser

Böcker

1. Boverket. (2006) *Regelsamling för byggande–Boverkets byggregler, BBR*. BFS 1993:57 med ändringar till och med 2006:22. Karlskrona.
2. Burström, P. G. (2001). *Byggnadsmaterial*. Studentlitteratur. Avd Byggnadsmaterial. LTH.
3. Harderup, E. (1998, Rev 1999) *Fuktdimensionering med generell checklista*. Rapport TVBH-3031. Lund.
4. Nevander, L. E., Elmarsson, B. (1994) *Fukthandboken, praktik och teori*. AB Svensk Byggtjänst. Stockholm.
5. Nilsson, L.-O. (2005). *Kompendium i byggnadsmaterialvetenskap*. Avd Byggnadsmaterial. LTH.
6. Nilsson, L.-O. (2007). *Fukt, Byggvägledning 9. En handbok i anslutning till Boverkets byggregler*. Svensk byggtjänst. Stockholm.
7. Sandin, K. (1996). *Värme och Fukt*. Kompendium i byggnadsfysik. Avd Byggnadsfysik. LTH.

Internet

8. www.sto.se, 2007-09-19
9. www.paroc.se, 2007-09-20
10. www.lindab.se, 2007-09-28
11. www.danogips.se, 2007-09-25
12. www.wufi-pro.com/ 2008-11-04