



Fuktvandring i putsade lättbetong- och tegelfasader

En undersökning om hur fukt vandrar och beter sig mot en
putsfasad av två olika material med olika porositeter

Moisturetransport in aerated concrete- and brickfacades

A study of how moisture behave and transports in a facade of
two different materials with different porosities

Författare	Henrik Sjölund, Marcus Hägg
Handledare	Jenny Andersson, KTH ABE Stina Åberg, AK-Konsult
Företag	AK-Konsult Indoor Air AB
Examinator	Per Roald, KTH ABE
Godkännande datum	2013-06-17
Serienummer	2013;20

Sammanfattning

I dagsläget finns en stor mängd byggnader i Sverige där fasaden består av puts direkt anliggande mot antingen lättbetong eller tegel. Dessa fasader kan skapa problem för brukaren p.g.a. fukttransport via putsen direkt in i konstruktionen. Problemen som kan uppstå som följd av dessa konstruktioner är inte bara estetiska utan kan även påverka inomhusmiljön. Syftet med detta arbete var att undersöka om det gick att med ny teknik visa de resultat som framkommit från erfarenheter från praktiskt arbete samt undersöka hur en renovering påverkar de fasader som består av puts direkt mot lättbetong eller tegel. Arbetet har utförts med hjälp av simuleringsprogrammet Wufi Pro för att sedan analyserats med hänsyn till fukttransporter och vatteninnehåll. Resultaten som framkommit påvisar en förhöjd risk för problem med de ursprungliga fasaderna samt slutsatsen att en renovering enligt ett av de två förslagen är att föredra.

Nyckelord: slagregn, puts, lättbetong, tegel, fasad, fukttransport, gamla erfarenheter, Wufi Pro

Abstract

Today there's a great deal of buildings in Sweden where the facade is constructed by plaster directly connected to either aerated concrete or masonry brick. These facades could create problems for the user on accord of the moisture transport via the plaster directly into the construction. The problems that could follow these types of facades aren't just esthetical but could also affect the indoor environment. The purpose with this study was to examine if it would be possible using today's technology to show the results coming from past experiences by practical work, and at the same time examine how a remodel affects the facades that consists of plaster directly on aerated concrete or masonry brick.

The work has been conducted with the simulation program Wufi Pro, later to be analyzed according to moisture transport and water content. The results that came from this has shown an increased risk for problems with the original facades and at the same time that a remodel according to one of the two proposed remodel ways to prefer.

Keywords: heavy rain, plaster, aerated concrete, masonry brick, façade, moisture transport, past experiences, Wufi Pro

Förord

Detta examensarbete är en slutförande del av högskoleutbildningen Byggt teknik och Design vid Kungliga Tekniska Högskolan.

Vi vill tacka Anders Kumlin på AK-Konsult Indoor Air AB för att vi fått tillfället att göra detta examensarbete hos dem, samt att grunden för detta examensarbete står på den kurs han höll i årskurs 3.

Vi vill tacka Stina Åberg för bra handledning och utbildning i programmet Wufi Pro.

Tack till Jenny Andersson på KTH Haninge för handledandet hon stod för från skolan och hjälpen vi fått av henne. Tack till Anders Sjöberg och Johan Claesson på STO för deras hjälp i arbetet och för att vi fått använda oss av deras materialdata i vårt arbete.

Tack till Lars-Olof Nilsson på Lunds Tekniska Högskola för de tips han hade gällande vårt arbete.

Sist men inte minst tack till alla på AK-Konsult för att vi fick vara hos er och göra detta examensarbete.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	III
Abstract	V
Förord	VII
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Avgränsningar.....	2
1.4 Metod och material.....	2
2. Nulägesbeskrivning.....	4
3. Teoretisk referensram	5
3.1 Tidigare utförde studier.....	5
3.2 Fuktteori	6
3.2.1 Termer	6
3.2.2 Fuktvandring.....	7
4. Material	10
4.1 Puts	10
4.2 Lättbetong	12
4.3 Tegel	14
5. Program	16
5.1 Wufi 5.0	16
5.1.1 Konstruktion	16
5.1.2 Inställningar	21
5.1.3 Simulering.....	23
6. Genomförande	24
6.1 Fasaduppbyggnader	28
7. Resultat och analys.....	32
7.1 Simuleringar	32
7.1.1 Utgångsfasader.....	32
7.1.2 Renoveringsförslag.....	34
7.2 Analys av simuleringar.....	37
7.2.1 Finporös puts på grovporöst underlag - lättbetong	37
7.2.2 Grovporös puts på finporöst underlag - tegel	38

7.2.3 Renoveringsförslag	38
7.3 Fukttransportskoefficienter	39
7.3.1 Svenska koefficienter	40
7.3.2 Tyska koefficienter	42
8. Slutsats	45
9. Rekommendationer.....	47
Referenser	48
Bilagor.....	50

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Många byggnader i Sverige har fasader med olika typer av puts. Puts har en förmåga att suga till sig fukt och kan därmed leda till fuktproblem i konstruktionen. I detta examensarbete undersöks fasader uppbyggda av material med olika porstorlek. Vår huvudproblemställning är: kan man med stöd av gamla erfarenheter och praktiska tillämpningar samt med programmet Wufi, få fram en fungerande beräkningsmodell som beskriver fuktvandringen och hur fukten beter sig mot en fasad som består av två material med olika porstorlekar.

Efter samtal med AK-Konsult, som arbetar med fuktproblematik och inomhusmiljö, så framgick det att Wufi inte presterar upp till de förväntningar som finns i dagsläget gällande de olika fasadtyperna som denna studie kommer att fokuseras på. AK-Konsult tyckte därför att det skulle vara fördelaktigt om vi försökte hitta en lösning till problemet i programmet Wufi.

Tidigare undersökningar har påvisat att det finns en stor fuktproblematik runt om i landet gällande fasader med ytskikt av puts. Det finns stora kvantiteter av byggnader som består av puts direkt på lättbetong enligt Anders Kumlin, AK-Konsult.

Byggnader som har denna typ av fasadmateriäl, behöver man kunna bedöma hur de reagerar under olika klimatförhållanden för att veta hur olika problem uppstår och hur de ska kunna undvikas.

1.2 Mål

Målet med denna studie är att få fram en fungerande modell för beräkning av fuktens beteende i en vägg med material av olika porositet, vid uppfuktning, som motsvarar de resultat som framkommit genom tidigare erfarenheter. Dessa erfarenheter har tidigare presenterats av Kenneth Sandin för Fukt Centrum, senast på deras informationsdag i januari 2013.

Ett delsyfte är att se hur denna typ av fasad påverkas av renovering, och vad det finns för alternativ vid fasadrenovering för att man ska undvika framtida problem.

1.3 Avgränsningar

Våra undersökningar kommer att innehålla simuleringar av två olika typer av väggkonstruktioner, den första är uppbyggd med finporig puts på grovporigt underlag och den andra är uppbyggd med grovkornig puts på finkornigt underlag. Alla simuleringar kommer att ske i fuktsimuleringsprogrammet Wufi där fokus kommer att vara över både putsen samt lättbetongen eller tegel som i detta fall är putsbäraren.

Resultatet kommer att jämföras med tidigare erfarenheter som redovisats av Kenneth Sandin som är docent i byggnadsteknik på Lunds Tekniska Högskola.

Klimatdata gäller i Stockholmsområdet där slagregnet kommer från en sydostlig riktning.

Om tid finns kommer det även undersökas alternativ till hur en renovering av fasaden kan utföras för att undvika framtida fuktproblem.

1.4 Metod och material

Från början skall data samlas in från tillverkare av puts för att få så sanningsenliga uppgifter som möjligt. Det kommer att ske genom kontakt med företaget STO som producerar, levererar och marknadsför putsprodukter. Information kommer även att tas från *Praktisk Byggnadsfysik* skriven av Kenneth Sandin, *Fukthandbok*, *Praktik och Teori* skriven av Bengt Elmarsson och Lars Erik Nevander samt *Byggnadsmaterial, uppbyggnad tillverkning och egenskaper* skriven av Per-Gunnar Burström. De tidigare erfarenheterna har presenterats för Fukt Centrum av Kenneth Sandin och dessa kommer användas för att kontrollera resultat som fås under arbetets gång.

Information om hur programmet WUFI fungerar fås genom handledning av konsult på AK-Konsult. Detta är viktigt för att vi ska förstå hur man simulerar en vägg samt vad för information som behövs för att skapa en vägg med rätt egenskaper för vår undersökning.

Datorprogrammet Wufi kommer användas för att försöka simulera fuktvandringsprocessen i de olika väggarna. Resultaten kommer att jämföras med resultat presenterade av Kenneth Sandin för FuktCentrum från hans tidigare fältmätningar.

Wufi är ett simuleringsprogram där man kan bygga upp en vägg, samt ge den väggen information i form av materialdata. Med den informationen kan programmet simulera hur väggen tar upp och släpper igenom fukt över tid.

Programmet Wufi kommer ursprungligen ifrån Tyskland, men finns också i en Svensk version och det är denna Svenska version av programmet som kommer användas i denna studie.

2. Nulägesbeskrivning

Detta examensarbete har genomförts på AK-Konsult Indoor Air AB. Vi har befunnit oss på AK-Konsults kontor i Spånga där vi hade tillgång till direkt hjälp om så behövdes av både vår handledare men även andra medarbetare från AK-Konsult. AK-Konsult är ett av de ledande konsultföretagen i Sverige inom området fukt och inomhusmiljö, de är specialiserade på skadeutredning, projektering samt mätuppdrag. Företaget bildades 1990 och ägs nu av Polygon Sverige, tidigare Munter Torkteknik, som är en del av Polygon Group vilka är marknadsledande i Europa på skadebegränsning av fukt- och vattenskador, konsulttjänster för inomhusmiljö samt temporär klimatkontroll. AK-Konsult har idag tre kontor i Sverige i städerna Stockholm, Uppsala och Helsingborg. Affärsidén som driver AK-Konsult är ”genom att arbeta objektivt och integrera erfarenhet med den senaste kunskapen på området skapar AK-Konsult Indoor Air AB förutsättningar för en god inomhusmiljö i fastigheter”.

AK-Konsult samarbetar med Fuktcentrum vid Lunds Tekniska Högskola där de tar del av de senaste kunskaperna och forskningsrönen samtidigt som de kan bidra till ny forskning med sina praktiska erfarenheter från yrkeslivet. De medverkar också som föredragshållare och medförfattare till forskningsrön på både nationella och internationella konferenser för att öka kunskapen om fukt- och inomhusmiljö. [7]

3. Teoretisk referensram

”Skademekanismer av fukt” och ”Byggteknik 2, Byggfysik och materiallära” är de kurser som varit utgångspunkt för att göra detta examensarbete.

Byggteknik 2, Byggfysik och materiallära gav oss de grunder vi behövde för att kunna bygga vidare på våra fukt kunskaper i kursen ”Skademekanismer av fukt”.

Vi har med hjälp av beräkningar och teori i kursen ”Skademekanismer av fukt” kunnat öka vår förståelse hur fukt vandrar och beter sig genom en vägg. Målen som är relevanta i kursen ”Skademekanismer av fukt” i detta examensarbete var:

- ✓ Känna till fuktrelaterade skadetyper och deras orsaker
- ✓ Identifiera fuktskador i de vanligaste riskkonstruktionerna i hus samt föreslå tänkbara åtgärder
- ✓ Göra enklare fuktberäkningar för olika konstruktionsdelar

3.1 Tidigare utförde studier

Tidigare studier har inte hittats för just denna problemställning dock har det tidigare kommit ut studier angående puts av Kenneth Sandin, Lunds Tekniska Högskola, som tar upp problematiken med spänningar i puts. I denna studie förklaras olika typer av putsning samt hur spänningar i putsen påverkar denna samt vad för konsekvenser som uppkommer. Det som är av intresse för examensarbetet var förklaringarna av de olika putserna samt skador som kan uppstå vid felaktig konstruktion.

3.2 Fuktteori

3.2.1 Termer

Allmänna termer inom fukttransport:

Byggfukt – är den mängd vatten som ett byggmaterial måste avge till omgivningen för att materialet ska hamna i fuktjämnvikt med omgivningen. [2]

Kapillärtransport – fukten transporteras genom materialets kapillärer(kanaler av porer) i vätskeform. [1]

Fuktkvot – är mängden vatten i förhållande till mängden torrt material i kg/kg. Redovisas ofta i procent. [1]

Relativ fuktighet – aktuellt innehåll av vattenånga i relation till den maximala mängden vattenånga. [1]

Porositet – är förhållandet mellan materialvolymen och porvolymen. Redovisas oftast i procent. [1]

Diffusion – innebär att vattenmolekyler transporteras i den riktning som har lägre koncentration av fukt. [1]

Konvektion – innebär att vattenånga transporteras i luft, där luften agerar som transporterande medium. [1]

Effusion – när molekylerna sammanstöter med porväggarna pga. att porstorleken är mindre än medelvägen för molekylerna. Kan gå med och mot den vanliga diffusionen. [1]

Termodiffusion - När en homogen gasblandning separeras från varandra. Den lättare gasen får ökad koncentration i områden med högre temperatur och den tyngre med lägre temperatur. [1]

Mättnadsånghalt - innebär att vid en given temperatur kan luften inte innehålla mer än en viss mängd vattenånga. [1]

Diffusivitet – innebär fuktflöden i höga fukttillstånd, alltså vätskefas. [1]

3.2.2 Fuktvandring

Allmänt

Fuktberäkningar baseras i regel på:

- Materialegenskaper
- Starttillståndet av fukthalter samt temperatur i materialet och omgivningen
- Över tid beaktas fördelningen i tid, temperatur och fukthalt i den aktuella omgivningen
- Tillämpningar på hur fukten tas upp i material, hur den transporteras samt hur den avges
- Numeriska metoder

Numeriska metoder ligger till grund för hur vi räknar idag. Datorkraft gör beräkningarna mer exakta och bättre. Det är ändå svårt att få till exakta värden då det är brist på materialindata, därför bör resultaten som uppnås vara mer som en riktlinje. [1]

Olika fukttransporter

Vid varje fukttransport krävs att det finns en potential som eftersträvas att utjämnas, potentialer som kan användas är ångtryck, ånghalt, fukthalt, temperatur, relativ fuktighet osv. [1]

Fukttransporter kan ske i två olika faser, antingen ångfas eller vätskefas. När transporten sker i ångfas kan den ske på olika sätt som diffusion, konvektion eller effusion och termodiffusion. Drivkrafter för vätsketransporten är tyngdkraft, vattenövertryck, vindtryck och kapillära sugkrafter. Transporter i ångfas och vätskefas kan ske parallellt i konstruktionen. [1]

Med diffusion menar man viljan av att en inhomogen gasblandning vill bli jämnt fördelade. Exempel på diffusion kan vara: ex1. att fukten transporteras genom klimatskalet när ånghalten är högre inomhus än utomhus eller ex2: att materialets byggfukt vill ut till ytan, där den endast genom diffusion kan transporteras ut i luften. [1]

Skillnaden på icke – eller stationärt flöde

Skillnaden på icke stationärt flöde och stationärt flödet är om flödet är konstant eller ej. Exempel på icke stationärt flöde är uttorkning av byggfukt i en yttervägg av lättbetong som kan se ut såhär i kronologisk ordning: Byggfukt finns inne i väggen, uttorkning sker inåt och

utåt, intensiteten avtar, byggfukten försvinner. Fukten i väggen måste upptas och avges som vattenånga. Inne i väggen kan fukttransporten dock ske i både i ång – och vätskefas. [1]

Konvektion

Med fuktkonvektion menas att med påverkan av vind, ventilationssystem och temperaturskillnader kan uppstå stora tryckskillnader över byggnaden som gör att fukten som transporteras med luften kommer in genom otätheter i konstruktionen. [1]

Under vintern kan det vara ett undertryck inomhus som gör att kall utomhus luft tar sig in genom otätheter. När luften passerar genom klimatskalet så värms den upp och när luften blir varmare så sänks den relativa fuktigheten. Luften kan då torka ut de material som den passerar inne i klimatskalet. Detta fenomen motverkar fuktdiffusionen som går inifrån och ut. [1]

Är fallet så att det är övertryck inne i byggnaden så vill varm luft pressad ut genom konstruktionen. När den varma inomhusluften träffar den kalla utomhusluften höjs den relativa fuktigheten och kondensation kan uppstå i de kallare delarna av konstruktionen. [1]

Problemet med kondens på grund av fuktkonvektion finns dock endast när det råder övertryck inomhus. Kondensation inträffar när inomhusluftens ånghalt är högre än den mättnadsånghalt som råder i uteluften. Överskottet av ånga fälls ut och blir till vätska. [1]

Drivkrafter – Vattenövertryck och kapillärsugning

De två största drivkrafterna inom transport i vätskefas är vattenövertryck och kapillärsugning. När det råder vattenövertryck pressas vattnet fram genom materialet och tar då den lättaste vägen som består av de största porerna. I fallet med kapillärsugning är det tvärtom, där tar vattnet vägen genom de minsta porerna där sugkraften är störst.[1]

Ett krav för att kapillärsugning skall kunna uppstå är att porerna bildar en kedja som är sammanhängande så att vattnet kan ta sig i ett obrutet system igenom materialet. [1]

Slagregn

Vid slagregn transporteras vattnet in i materialet i vätskefas, medan uttorkning sker genom en kombination av vätsketransport och ångtransport. Vätsketransporten ut ur materialet sker genom diffusion och transporten avtar med tiden. [1]

4. Material

4.1 Puts

Puts är vanligt att använda på lättbetong och tegel. Det finns två olika typer av puts, tjockputs och tunnputs. Tjockputsen är uppbyggd av grundning, grovputs och ytputs. [2]

Tunnputs

Tunnputs görs med slamning av KC-bruk och utan tillsatser. Tunnputsen kan ha oorganiska eller organiska bindemedel som innehåller vattenavvisande tillsatser. [2]

KC-bruk är en förkortning för kalkcement-bruk. Två bruk med helt olika egenskaper. Cementet härdas snabbt och kalken ger en långsam hållfasthetsökning. [2]

Tunnputs i produktionen brukar vara uppbyggd av 5-10mm tunnputs, som innehåller organiskt bindemedel med armering av glasfiberväv på cellplast. [2]

Tunnputs på tegel eller lättbetong har visat sig vara sämre ur fuktsynpunkt. När fukten har sugits upp av putsen så har den svårt att avdunsta p.g.a. att tunnputsen är finporigare än tjockputsen och då förhindrar fukttransporten effektivare. Detta ger problem som avflagningar. Avflagningar sker på grund av att det är försämrade vidhäftning, saltutfällning eller frostsprängning. [2]

Tjockputs

Puts kan sättas upp direkt mot värmeisoleringsmaterialen, mineralull eller cellplast.

Tjockputsens vanliga utseende ute i produktionen brukar vara 20-25mm tjockputs, där innehållet är KC-bruk med armeringsnät och putsen i sig bärs av kramlor som fästs i väggen bakom. [2]

Tjockputs är fukttålig beroende på slagregns påfrestningen. Putsen nätas över fogar i underlaget och där sprickor kan uppkomma. När slagregnet träffar tjockputs kommer putsen att suga åt sig allt vatten. Fukten går långsamt inåt i putsen då kapillärsugning är låg men då den har grövre porositet än tunnputs har tjockputsen möjlighet att transportera större mängder fukt ut eller in ur konstruktionen. [2]

Porositet

Puts har en porositet på ca 30 – 40 %, denna porositet gör att puts kan ha ett material som har lägre porositet eller högre porositet innanför sig.

4.2 Lättbetong

Lättbetong är ett samlingsnamn som beskriver flera material med liknande egenskaper men som fortfarande skiljer sig från varandra. Det finns ett antal olika typer av lättbetong, där de skiljer sig genom tillverkningsprocess samt innehåll. Exempel på olika typer av lättbetong är: lättballastbetong, autoklaverad lättbetong, skumbetong. Namnen som dessa betongtyper har är beskrivande för dem, då lättballastbetong är en betong som använder sig av en lätt ballast. Med denna lätta ballast sänks densiteten och betongen kan klassas som en lättbetong. Det lätta ballastmaterialet som används istället för sand kan till exempel vara lättklinker, pimpsten, expanderad skiffer eller cellplast.

Skumbetong är en betong som består av cement, sand och vatten, utöver detta blandas ett skum i. Detta material kan i vissa fall bli vattensugande och är inte kapillärbrytande. Därför används skumbetong ofta som bjälklagsisolering i fjärrvärmekulvertar eller prefabricerade väggelement. [2]

Inom användningen av lättbetong i Sverige domineras marknaden av autoklaverad lättbetong. Detta har lett till att när ordet lättbetong används så är mestadels autoklaverad lättbetong som syftas till. [2]

I detta arbete är det autoklaverad lättbetong som används då det är den typ av lättbetong som dominerar marknaden.

Autoklaverad lättbetong utvecklades i Sverige på 1920-talet och är ett finkornigt och poröst material. Namnet autoklaverad lättbetong kommer från tillverkningsprocessen där man innan färdigställning ånghärdar betongen i en autoklav under tryck, ca 8-10 ATM och 180 °C. När tillverkningen är klar har lättbetongen hög fuktkvot, ca 30 %. Detta kräver att uttorkning tillåts, vilket inte alltid sker vid byggnation. [2]

Materialet är ett sprött material som har egenskaper som varierar med fuktt innehåll. T.ex. kan lättbetong krympa och svälla över årets lopp när den relativa fuktigheten varierar i dess omgivning. [2]

På grund av att materialet är såpass poröst som det är kan det lätt suga upp stora mängder fukt som kan påverka dess egenskaper. 1 m³ lättbetong kan innehålla upp till 150-200 liter vatten när den når relativa fuktighetsnivåer närmare 100 %, beroende på densitet. Fukt som befinner sig i materialet är då i ångform, sedan kan porerna mättas med fukt och fylla dessa

med vatten som då gör att mängden vatten ökar i lättbetongen. Detta leder till att lättbetong har potentialen att bära stora mängder vatten. [2]

Lättbetong är ett grovporöst material med en porositet på ca 70 – 80 % vilket gör att många material har lägre porositet än lättbetongen. [2]

En lättbetongprodukt som används kan användas för konstruktion av fasad är ett väggelement i lättbetong visad i figuren nedan.



Figur 1 – Väggelement av autoklaverad lättbetong – Bild: ByggAI

[8]

4.3 Tegel

Tegel är klassat som ett keramiskt byggmaterial och dessa har funnits i flera tusen år i världen. Man har hittat spår av torkade lerstenar som är mer än 10 000 år gamla. Material där man använt sig av tekniken med att bränna materialet för att förbättra motståndet mot fukt och väta har hittills spårats bak till mer än 5000 år sedan. I Sverige började man framställa tegel för ca 800 år sedan, detta har gjort att vi idag har många byggnader kvar som är just tegelbyggnader. [2]

Dagens tegel innehåller en porositet på mellan 20 – 30 %, där 60 – 90 % av dessa är öppna porer, d.v.s. porer som kan ta upp fukt. Porositeten för keramiska material baseras på vattenupptagning i 3 – 5 dygn. De representerar den genomströmningsbara porositeten. Det som styr porositeten för tegel är råmaterialet som används d.v.s. leran som bränns samt tillsatser s.k. magringsmedel. Dessa magringsmedel används för att förbättra rå lerans egenskaper inom områdena krympning och bearbetningsförmåga. Olika magringsmedel som används är exempelvis: sand, kalk, tegelkross och sågspån. Ännu en del som påverkar porositeten i tegel är bränningen, då man bränner tegel används en tunnelugn i 50 – 70 timmar med en temperatur på 1000 – 1100 °C. När lerpartiklarna smälter ihop under bränningen sker en krympning av leran, vid fortsatt temperaturhöjning börjar porerna fyllas med material, detta gör att porositeten minskar. Upp till 900 °C ökar porositeten i materialet på grund av avgivning av strukturellt bundet vatten samt diverse gaser i materialet. [2]

Eftersom tegel är ett finporöst material så har den möjlighet till att skapa stora sugkrafter när det kommer till fukttransport, något som hindrar dessa transporter från att bli för snabba är just finporigheten. Eftersom teglet är finporigt dras transporthastigheten ner och gör att mängden vatten som transporteras minskar, men potentialen att transportera denna fukt långt finns. [1]

På grund av teglets struktur och finporighet kan det inte ta upp stora mängder vatten, för en relativ fuktighet närmare 98 – 100 % i porerna på teglet ligger fuktinnehållet på ca 15-20 kg/m³. Denna fukt är då i ångform och sedan kan materialet bli kapillär mättat vilket betyder att porerna fylls med vatten, dock så kommer fuktinnehållet inte komma i närheten av material som t.ex. lättbetong som kan innehålla stora mängder fukt. [2]

Tegel är ett finporöst material med en porositet på ca 20 – 25 %, detta leder till att många material har högre porositet än teglet. [1]

Exempel på en tegelprodukt som används till konstruktion av fasader är fasadtegel visad i figuren nedan



Figur 2 - Tegel – Bild: Johex

[9]

5. Program

5.1 Wufi 5.0

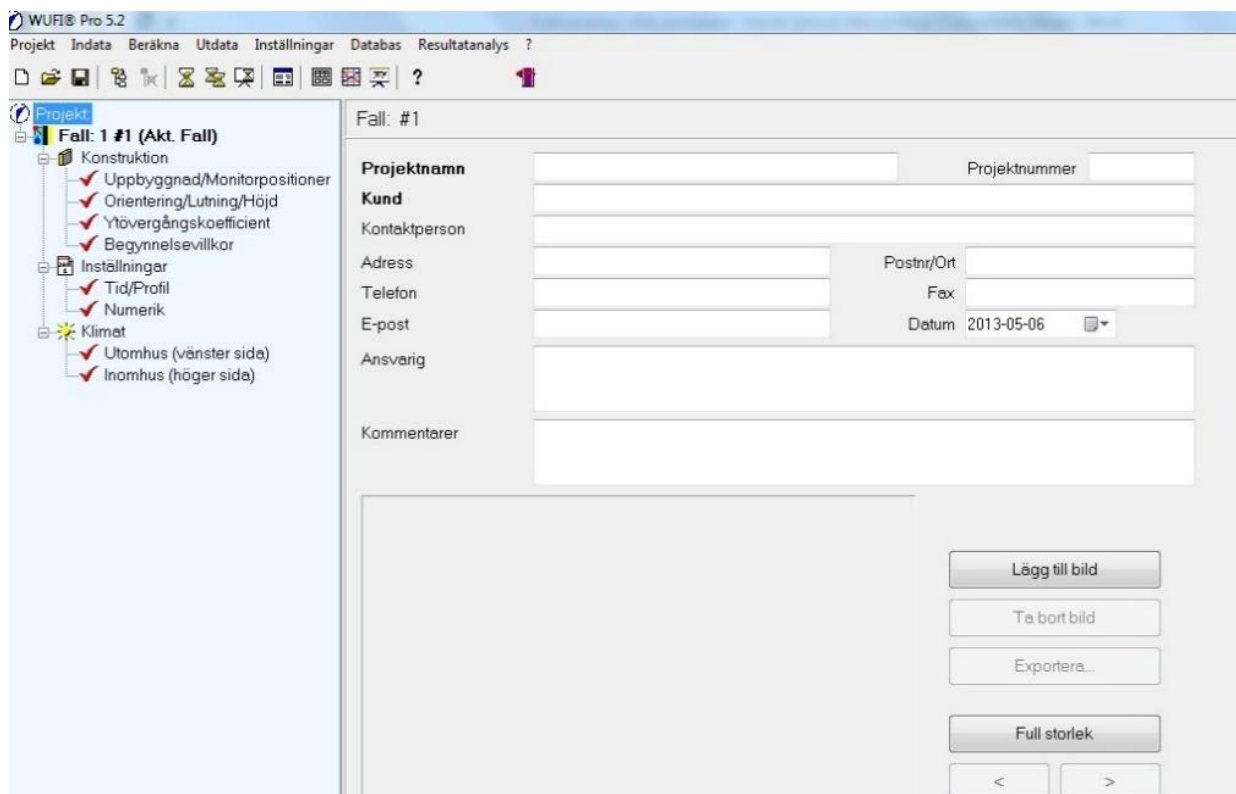
När en Wufi-beräkning skall genomföras använder sig programmet av tre flikar som innehåller information om byggnaden i fråga. Dessa flikar är benämnda Konstruktion, Inställningar och Klimat

Under dessa flikar finns även underkategorier, vilka är:

Konstruktion -> *Uppbyggnad/Monitorpositioner, Orientering/Lutning/Höjd, Ytövergångskoefficient samt Begynnelsevillkor*

Inställningar -> *Tid/Profil samt Numerik*

Klimat -> *Utomhus samt Inomhus*



Figur 3 - Wufi huvudmeny

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

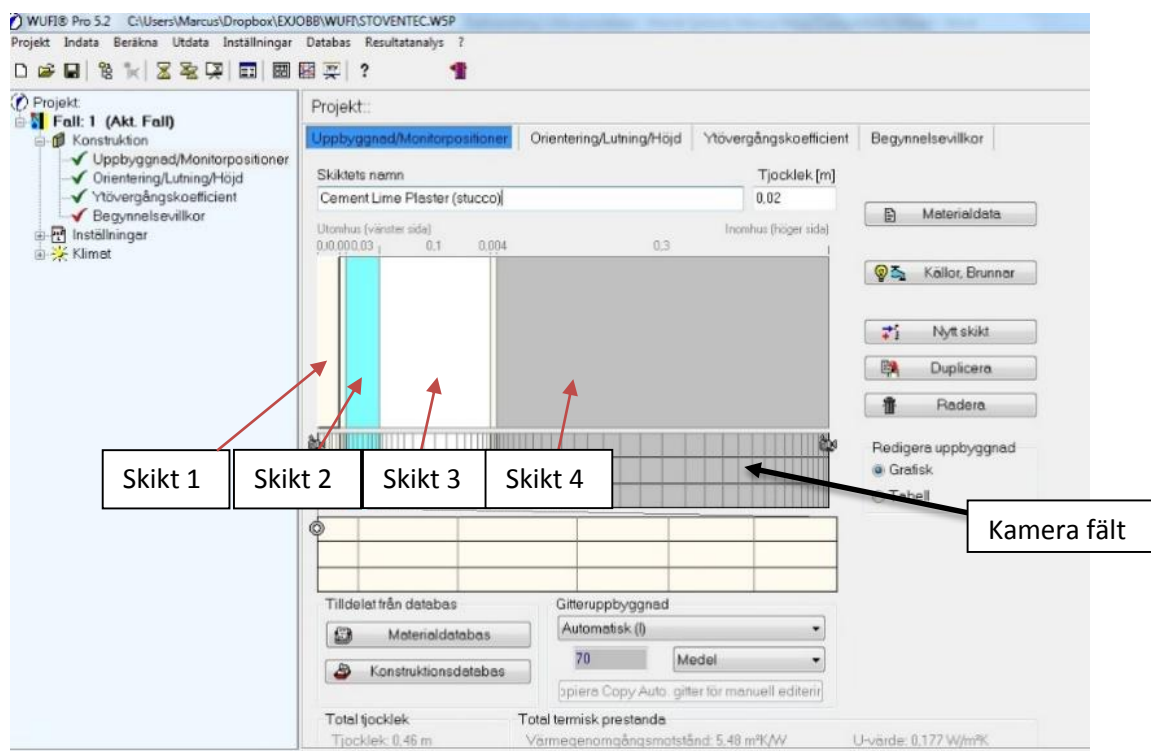
5.1.1 Konstruktion

Uppbyggnad/Monitorpositioner

Fuktberäkningsprogrammet Wufi 5.0 Pro är uppbyggt på ett sådant sätt att väggkonstruktionen bestäms av skikt bestående av både tjocklek och material. När ett skikt

har tilldelats sitt material finns det i materialdatan en mängd information som används för att beräkna värme- och fukttransport genom konstruktionen.

När konstruktionen är klar kan kameror sättas ut i olika djup i konstruktionen, med hjälp av dessa kameror, se figur 4, kan särskilda intressanta punkter bevakas. Dessa punkter befinner sig ofta mellan två skikt eller i mitten. Utöver kameror kan även fukt- och värmekällor placeras ut i konstruktionen. Ett exempel på fuktkälla kan vara en spricka i fasaden som kan leda in fukt i vätskefas till ett underliggande material.

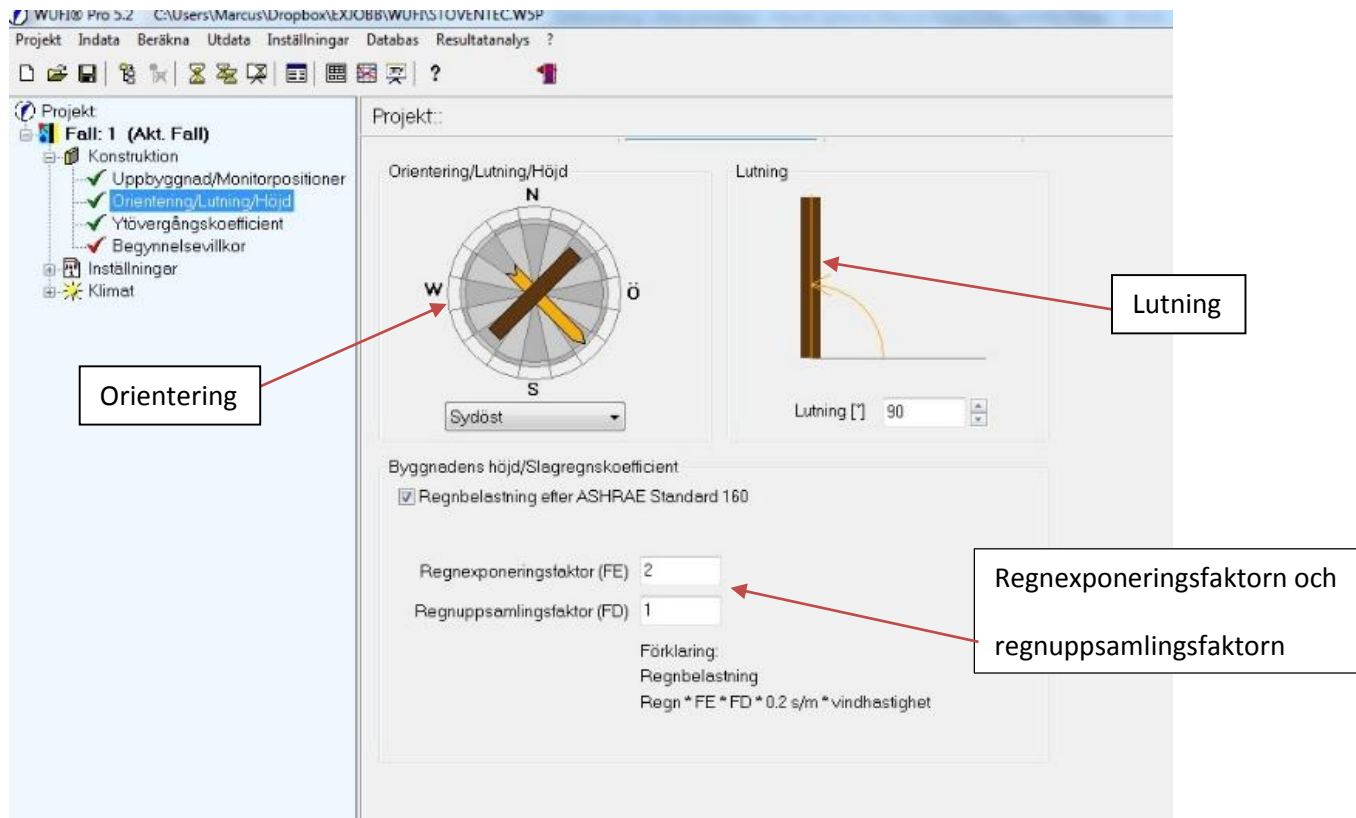


Figur 4 – Uppbyggnad

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Det sista som kan styras från uppbyggnadsdelen är vad Wufi kallar "gitteruppbyggnad". Den bestämmer vad som närmast kan beskrivas som noggrannheten i konstruktionen. Med ett fint gitter kan källor och kameror placeras ut på fler positioner i konstruktionen än om ett grövre gitter används.

Efter det att konstruktionen är uppbyggd på önskat sätt bestäms **orientering/lutning/höjd** på konstruktionen, se figur 5. Detta innebär att det bestäms om det är ett tak eller en fasad som skall beräknas, samt vilket väderstreck konstruktionen vetter åt. Regnexponering- och regnuppsamlingsfaktorn är ett sätt att reglera regnets påverkan på fasaden. Dessa faktorer måste justeras vid stora påfrestningar som vid slagregn.



Figur 5 - Orientering och lutning Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Här bestäms även hur hög byggnaden är och vilken del av denna som beräknas. Om byggnaden exempelvis är 7 våningar, ca 21 meter, är regnbelastningen olika beroende på vart man ser på fasaden. Här kan också inställningar för regnbelastning ses över. Se figur 6.

Byggnadens höjd/Slagregnskoefficient

☐ Regnbelastning efter ASHRAE Standard 160

R1 [-] 0

R2 [s/m] 0,07

Förklaring:
Regnbelastning
 $\text{Regn} \cdot (R1 + R2 \cdot \text{Vindhastighet})$

Låg byggnad, höjd upp till 10 m

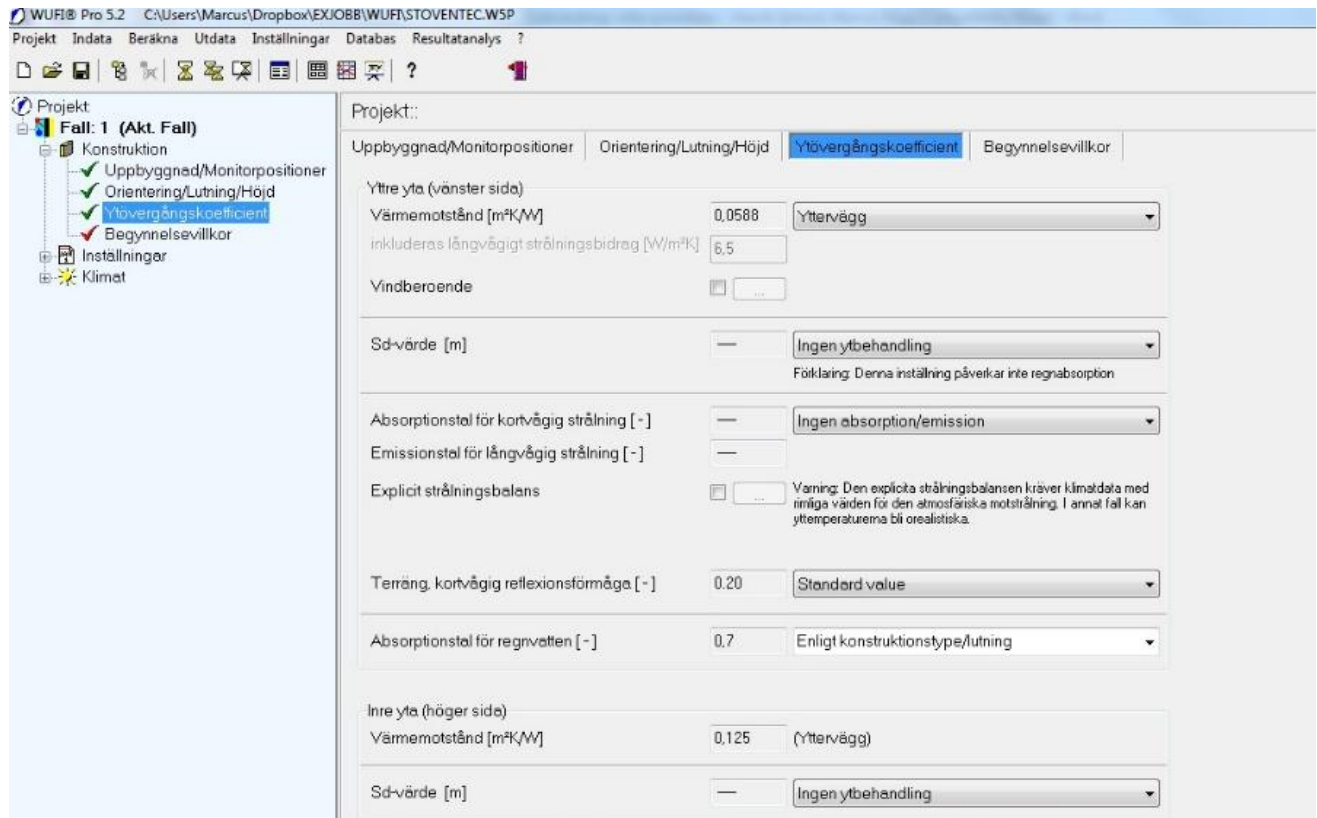
Standardvärden för slagregn

Byggnadshöjd

Figur 6 – Höjd

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Efter detta ställs **Ytövergångskoefficienter** in, dessa finns redan inlagda i programmet men kan ändras om efter behov då de är baserade på beräkningar från Tyskland och de inte använder exakt samma koefficienter som Sverige. Här ställs även värden in för inre och yttre yta, exempelvis: Sd-värde, absorptionstal samt emissionstal. Se figur 7.



Figur 7 – Ytövergångskoefficienter

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Under **Begynnelsevillkor** finns inställningar för begynnelsefuktighet, begynnelsestemperatur, RF vid start samt starttemperatur i byggnadsdel.

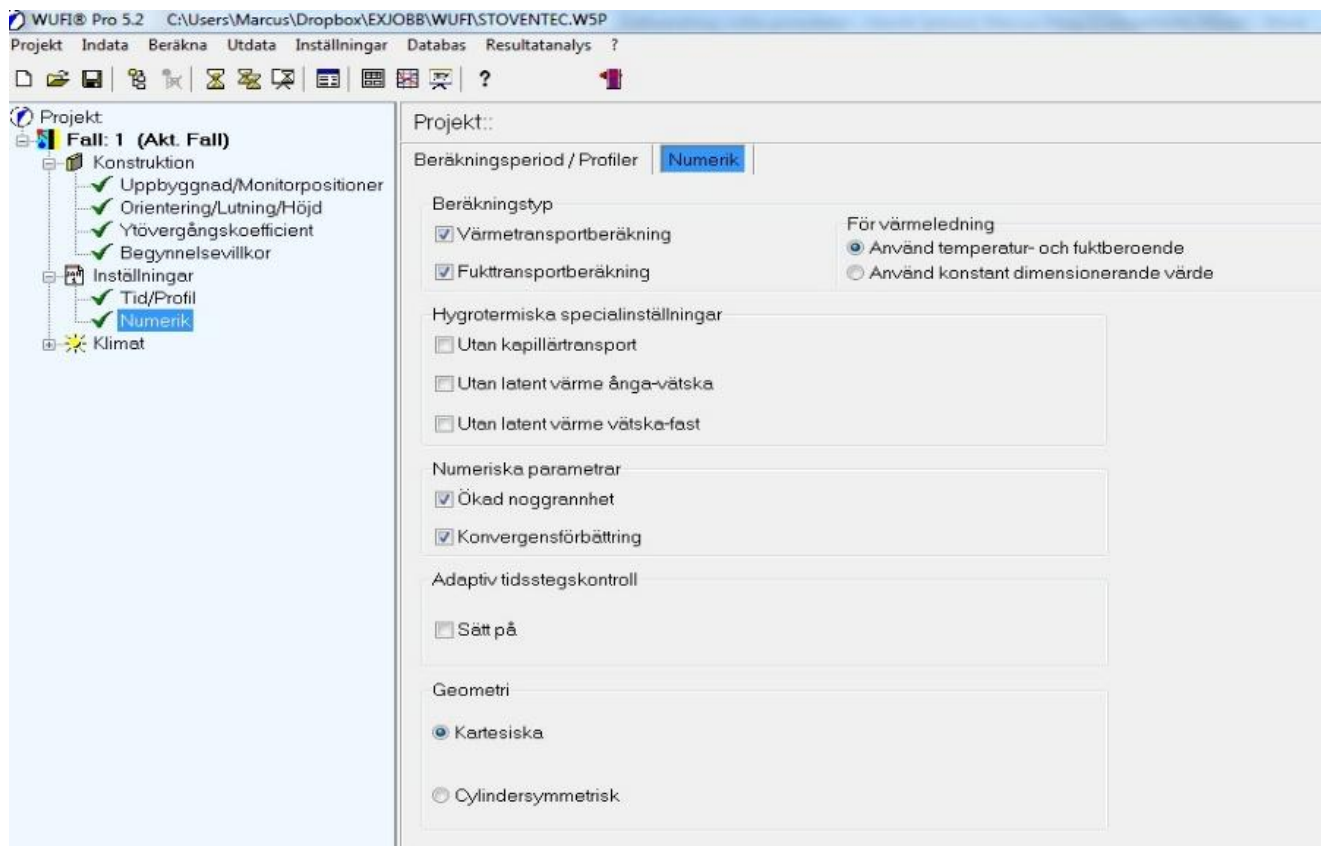
När allt detta är färdigt är Konstruktionsfliken klar, efter denna kommer då Inställningar.

5.1.2 Inställningar

Tid/Profil

Här ställer man in startdatum och slutdatum för beräkningen.

Under Numerik bestäms vad för typ av beräkning det skall vara, om det endast skall beräknas fukt eller värme eller ta hänsyn till båda, om man skall använda sig av fukt- och temperaturberoende variabler för beräkning av värmetransport samt hygrotermiska inställningar som handlar om typer av fukttransporter som kommer att användas. Se figur 8.



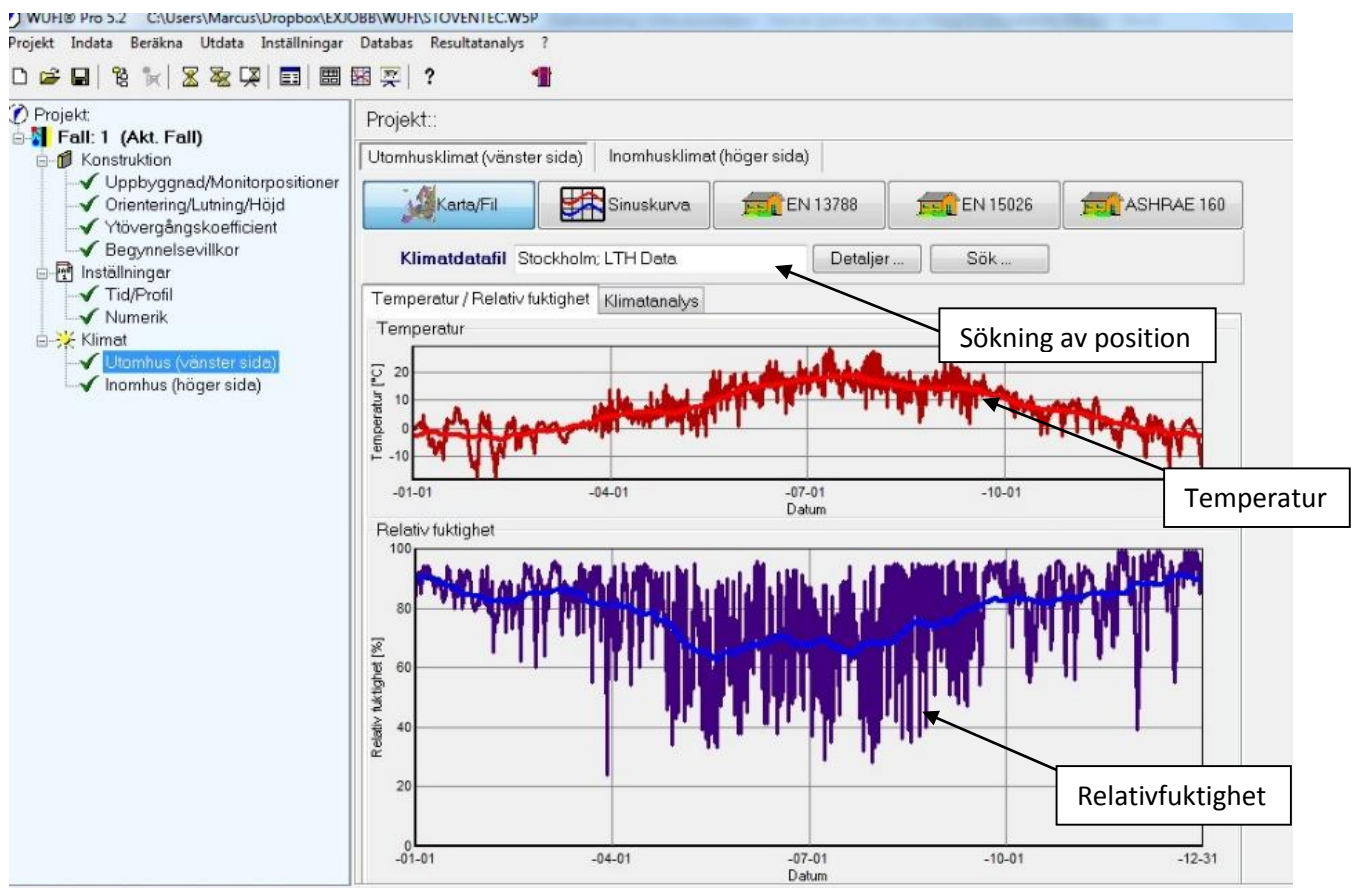
Figur 8 –Numerik

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Klimat

Under Klimat fliken ställs helt enkelt klimat in för byggnaden. Under utomhusklimat fliken positionen på byggnaden sätts in och klimatdata givet från Lunds Tekniska Högskola användas.

Inomhusklimatet ställs också in och där anges relativ fuktighet, temperatur, uppvärmning, fuktbelastning och typ av ventilation. Se figur 9

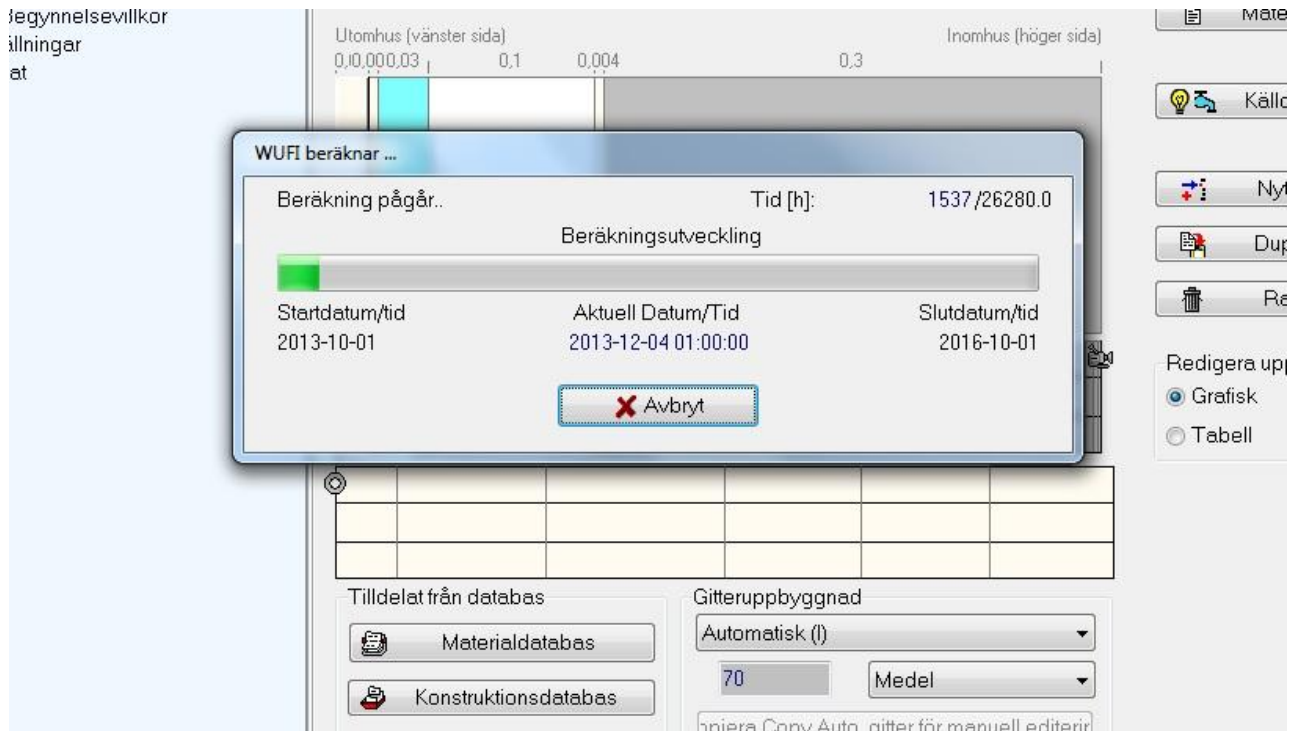


Figur 9 – Klimatdata Lund

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

5.1.3 Simulering

När allt ovan är inställt kan beräkningen startas. Programmet beräknar sedan konstruktionen och kan efter detta ge ett resultat. Detta resultat blir lättöverskådligt då det finns en filmfunktion som visar fördelningen av fukt och värme genom konstruktionen över beräkningstiden.

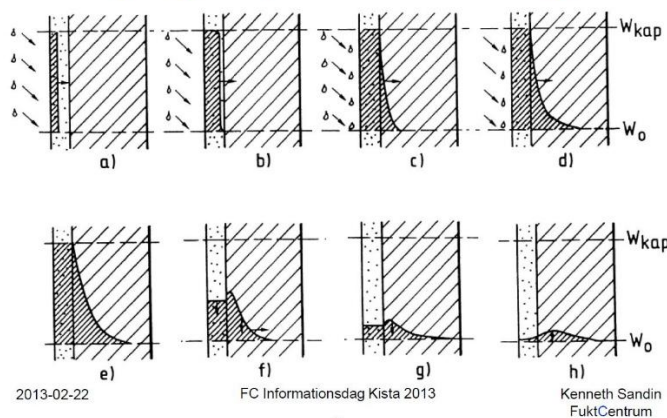


Figur 10 – Beräkningsprocessen Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

6. Genomförande

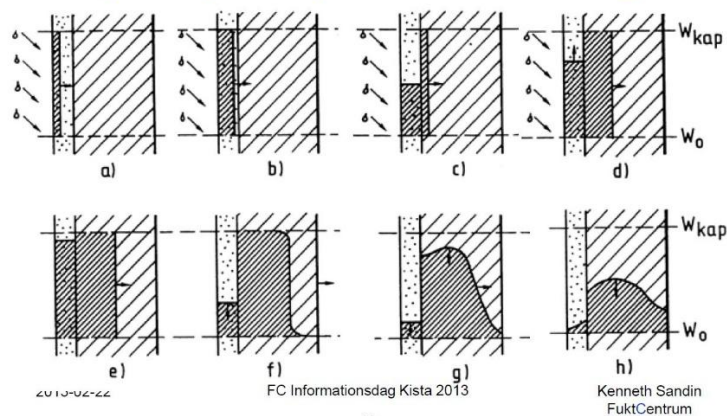
För att få en förståelse för hur arbetet har utförts följer nedan ett kapitel fuktteori med relevans för detta arbete. Efter genomförandet kommer ett beskrivande kapitel om beräkningsgången i simuleringsprogrammet Wufi Pro. De riktlinjer och de resultat vi ville efterlikna i beräkningsprogrammet Wufi Pro var baserade på Kenneth Sandins resultat från LTH som presenterades 2013-02-22 under fuktcentrums informationsdag i Kista. Under informationsdagen presenterades illustrationer på "ett kraftigt regn på finporös puts på grovporöst underlag" (se figur 11), samt "ett kraftigt regn på grovporös puts på finporöst underlag" (se figur 12). I illustrationerna kan man följa hur regnet tränger sig in i fasaderna och rör sig på olika sätt inne i konstruktionen beroende av vilka porositeter och material fasaden är uppbyggd.

Ett kraftigt regn på finporös puts på grovporöst underlag



Figur 11 – Kenneth Sandin LTH

Ett kraftigt regn på grovporös puts på finporöst underlag



Figur 12 - Kenneth Sandin LTH

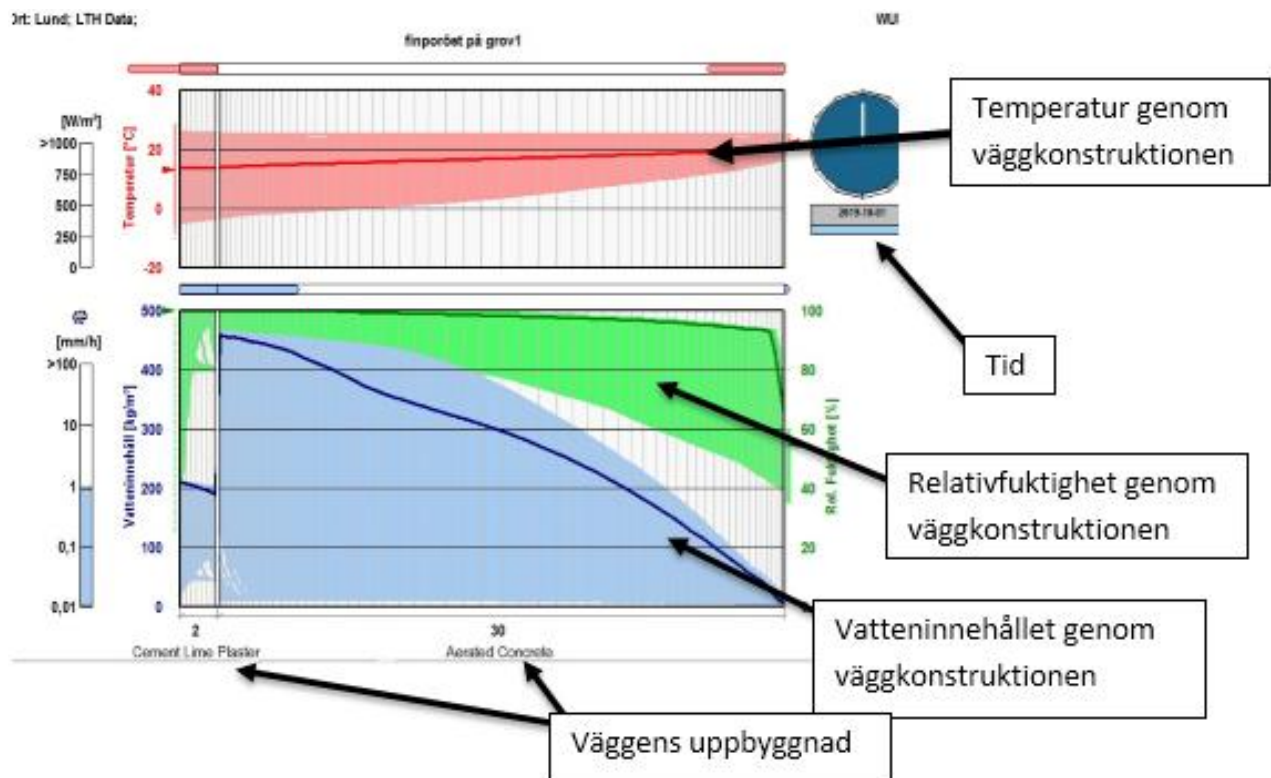
Beräkningsgången stegvis i Wufi PRO

1. Först valdes uppbyggnaden på fasaden, med material, monitorpositioner samt gitter. Här användes automatiskt gitter d.v.s. medel, då skillnaderna i beräkningarna m.h.t. gitter är försumbara. Inga ändringar gjordes i monitorpositioner då hela fasaden var av samma vikt för arbetet och inget specifikt lager eller skikt hade större vikt än något annat.
2. Efter uppbyggnad valdes därefter orientering mot sydost då slagregn i Stockholm domineras från denna riktning. Som höjd på byggnaden valdes ett lågt hus som i Wufi representeras av en byggnad på upp till 10 meter. Eftersom det handlade om en fasad valdes lutningen på byggnationen till 90°, det sista som bestämdes här var då regnbelastning. För att representera olika kraftiga regn ändrades exponeringsfaktorn samt uppsamlingsfaktorn för byggnaden vilket styr hur mycket regn belastar byggnationen.
3. Ingen ändring av ytövergångskoefficienter då värmeövergångar inte hade någon större betydelse. Något som kontrollerades här var absorptionstal för regnvatten, vilket genom tidigare inställningar, se punkt 2, ändrats automatiskt till "enligt konstruktion". Om inte inställningar ändras för regnbelastningen använts absorptionstal 0.7 som standard. Här valdes också inställningen att ingen ytbehandling fanns på ytskiktet på fasaden då en omålad puts eftersöktes i beräkningen.
4. Under begynnelsevillkor ändrades endast begynnelsefuktighet i fasaden för att se hur fasaden agerade med början som torr konstruktion samt med en början som blöt konstruktion. De alternativen som arbetades med var en begynnelsefuktighet med 80 % RF och en begynnelsefuktighet som inkluderade varje materials typiska byggfukt.
5. Beräkningsperioden som användes var med start 1 oktober, då detta anses vara en ogynnsam tidpunkt att bygga med tanke på hur fuktigheten ökar under vintern. Här börjades alltså beräkningen med att konstruktionen blir uppfuktad redan från start. Sedan pågick beräkningstiden i 3 år till 1 oktober igen. Anledningen till att perioden 3 år användes var för att få uppfuktning av konstruktionen 3 gånger för att se om den i regel torkade ut eller fuktades upp.
6. Vid numerik användes standardinställningar från programmet då endast mindre noggrannare resultat kunde fås genom ändring av dessa.

7. Sedan valdes position för fasaden, vilken var Stockholm. Här kunde då det kontrolleras med data från Lunds Tekniska Högskola hur mycket regn som i genomsnitt faller över staden samt vilket väderstreck som dominerar gällande detta. För inomhusklimat standarden EN 15026 vilket betyder att den lägsta inomhustemperaturen är 20 °C samt när utomhustemperaturen stiger gör även inomhustemperaturen det. Detta beror på att konstruktionen som beräknas antas vädras med utomhusluften på sommaren och därför uppgår temperaturen inomhus till samma temperatur som utomhus. Gällande fuktbelastning valdes normal fuktbelastning, för att inte få någon transport av fukt från insida till utsida pga. hög fuktbelastning inomhus.

8. Efter att dessa inställningar hade gjorts kunde beräkningen påbörjas. För båda konstruktionerna gjordes dessa beräkningar flera gånger, med olika begynnelsefuktigheter för att skillnaden mellan blöt och torr konstruktion skulle kunna ses.

9. Efter att beräkningarna färdigställts finns en funktion i Wufi som kallas filmvisning. Där ett program som heter Wufi Animation 1D öppnas(se figur 13) och redovisar förändringar i temperatur, RF och fuktinnehåll som en graf över tiden. I filmvisningen visas samtidigt när det kommer nederbörd på fasaden samt när den är belyst av solen. Med hjälp av detta filmklipp kunde svaren analyseras m.h.t. fuktrörelser i konstruktionens olika lager pga. nederbörd.



Figur 13 – Exempel på animations video Wufi Pro Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

6.1 Fasaduppbyggnader

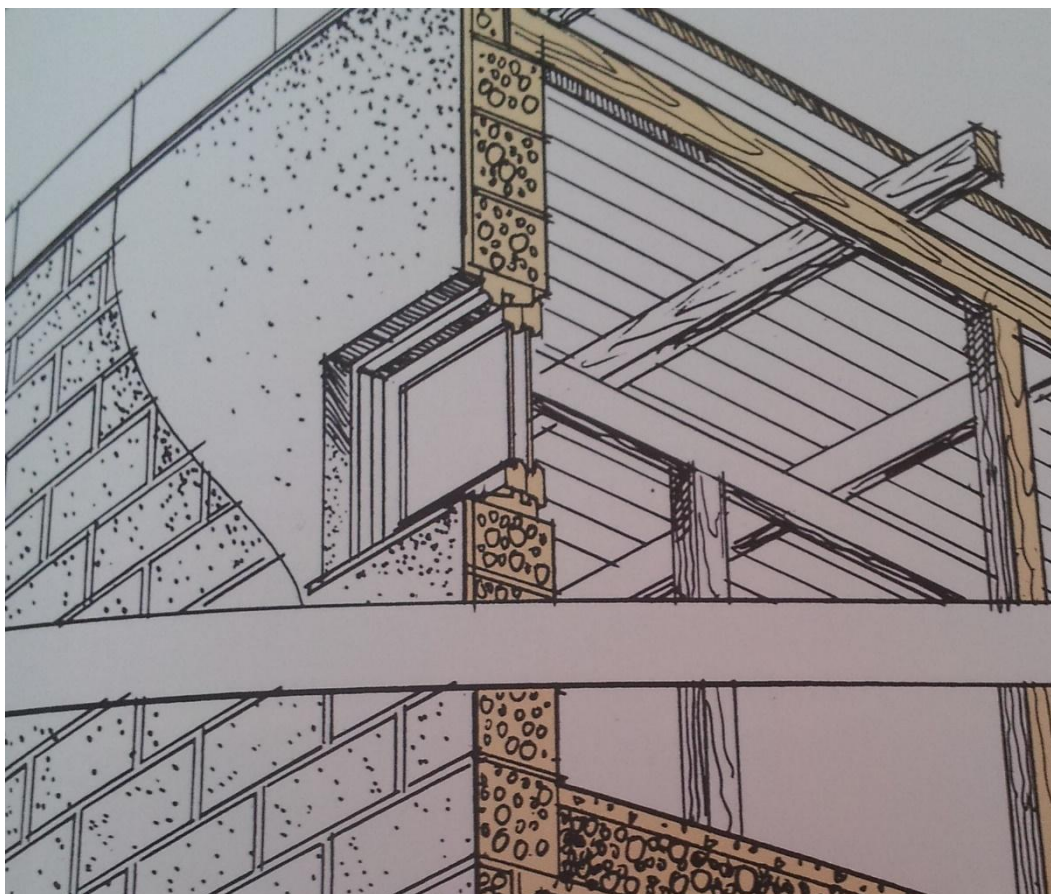
Under denna studie används två typer av fasaduppbyggnader som utgångspunkt. Ifrån dessa typfasader simuleras även förslag på renovering av dessa fasader för att förbättra deras motstånd mot fukttransporter.

Fasad 1 består av puts direkt anliggande mot lättbetong, med denna uppbyggnad består fasaden uppbyggd av, i förhållande till sig själva, ett finporöst material på ett grovporöst material.



Figur 13 – Konstruktionsexempel typfasad 1 - Så byggdes husen, Björk C, m fl

Fasad 2 består av puts direkt på tegel, vilket gör att uppbyggnaden av denna fasad blir, i förhållande till materialen själva, ett grovporöst material på ett finporöst material.

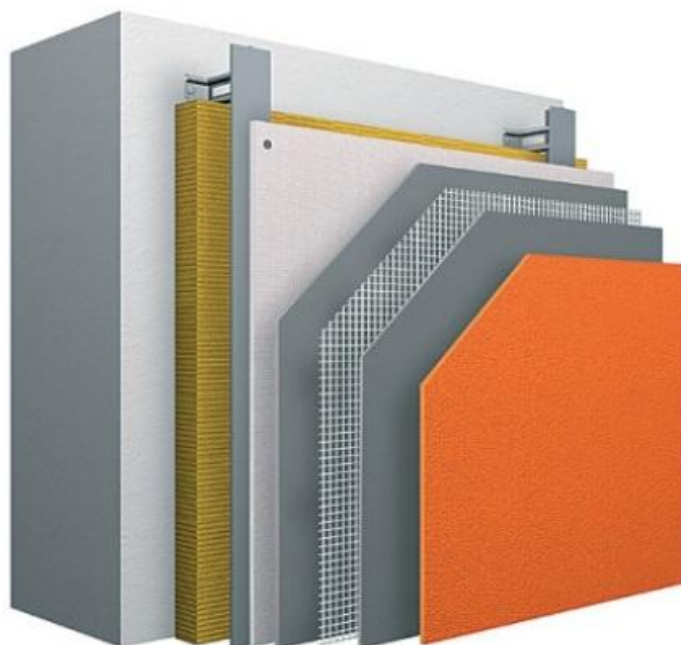


Figur 14 – Konstruktionsexempel typfasad 2 – Så byggdes husen, Björk C, m fl

Renoveringsförslag

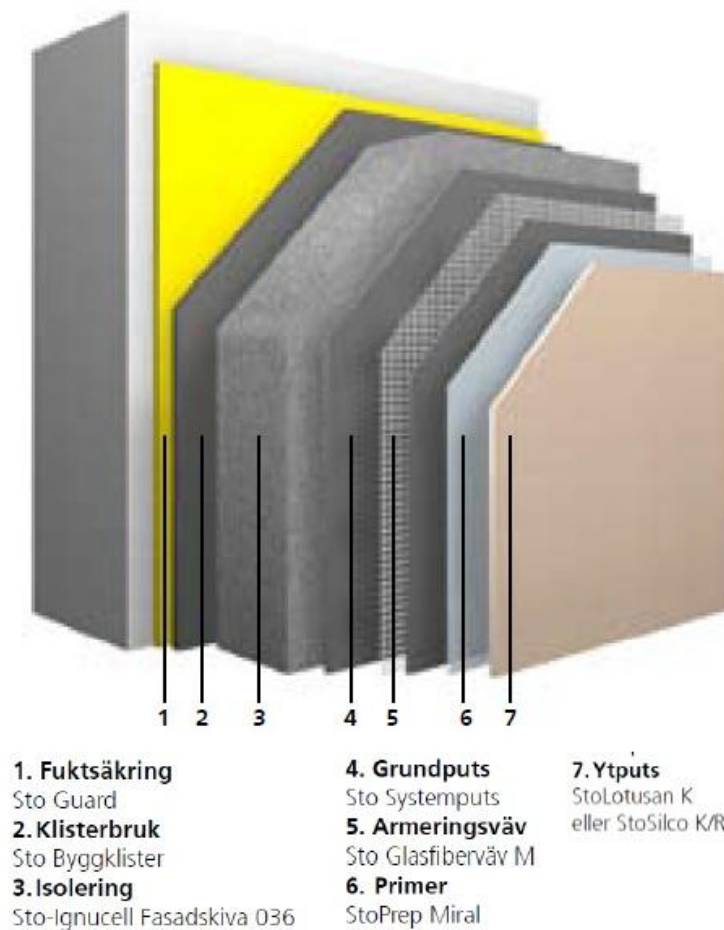
Under renoveringsförslagen används två olika principer, där det första förslaget använder sig av en luftspalt, och det andra förslaget använder sig av ett dränerande skikt.

Renoveringsförslag 1: puts som består av en ytputs samt en grundputs, enligt tillverkare blir detta skikt homogent) sedan en putsbärande skiva, luftspalt, en isolerskiva, vindskena och sedan då antingen lättbetong eller tegel beroende på vilken typfasad som renoveringen utgick ifrån.



Figur 15 – Konstruktionsexempel renoveringsförslag 1 –Claesson, J, STO

Renoveringsförslag 2 innehåller fler lager. Samma putssystem som renoveringsförslag 1 används som ytskikt och är putsad direkt på en dränerande isolerskiva som sitter med klisterbruk på ett lufttätt fuktsäkrande stomskydd. Beroende på typfasad antingen lättbetong eller tegel som stomme.



Figur 16 – Konstruktionsexempel renoveringsförslag 2 – Claesson, J, STO

Detta betyder att Fasadtyp 1 med puts och lättbetong blir "finporös på grovporös" och att Fasadtyp 2 med puts och tegel blir "grovporös på finporös".

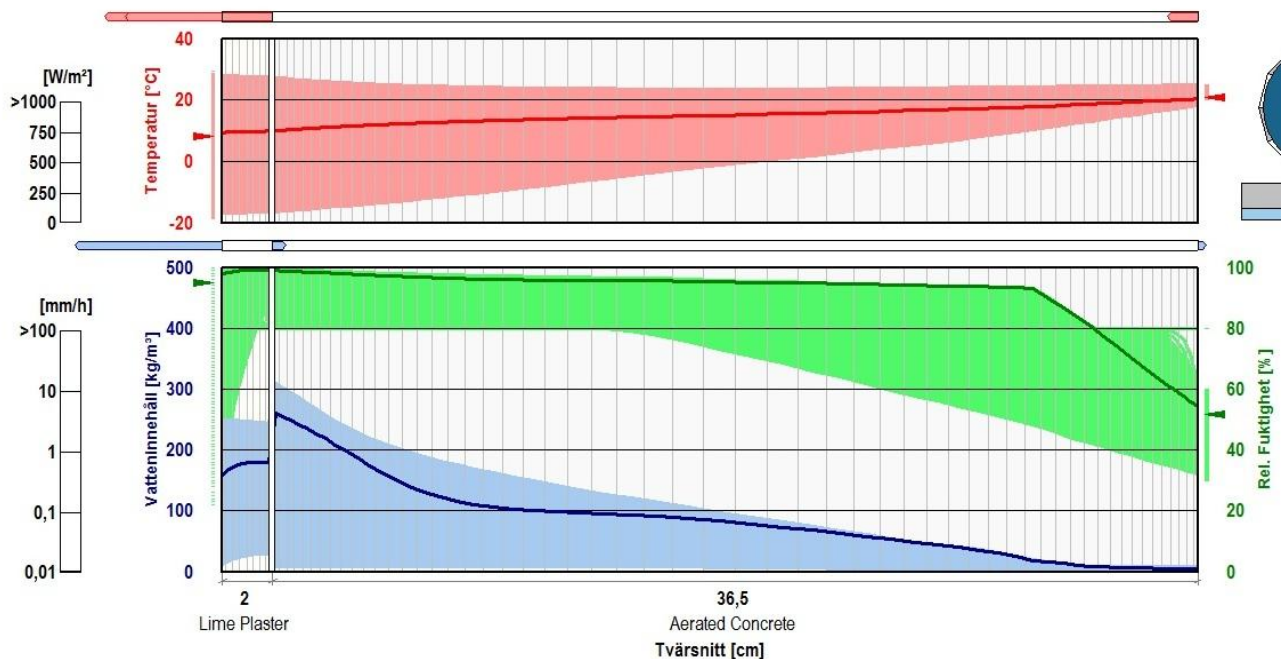
7. Resultat och analys

7.1 Simuleringar

7.1.1 Utgångsfasader

Fasad 1 finporös på grovporös

Ort: Stockholm; LTH Data;



Graf 1 – Puts på lättbetong

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Graf 1 är tagen i oktober, i slutet av uttorkningsperioden. Av den blåa kurvan kan vatteninnehållen i materialen läsas ut, puts och lättbetong är lika varandra när det kommer till fuktinnehåll jämfört med relativ fuktighet. Det är av den anledningen som den blåa kurvan för puts och den blåa kurvan för lättbetong nästan kopplas ihop. För att se hur transporten sker mellan dessa material bör det fokuseras på vatteninnehållet i denna graf.

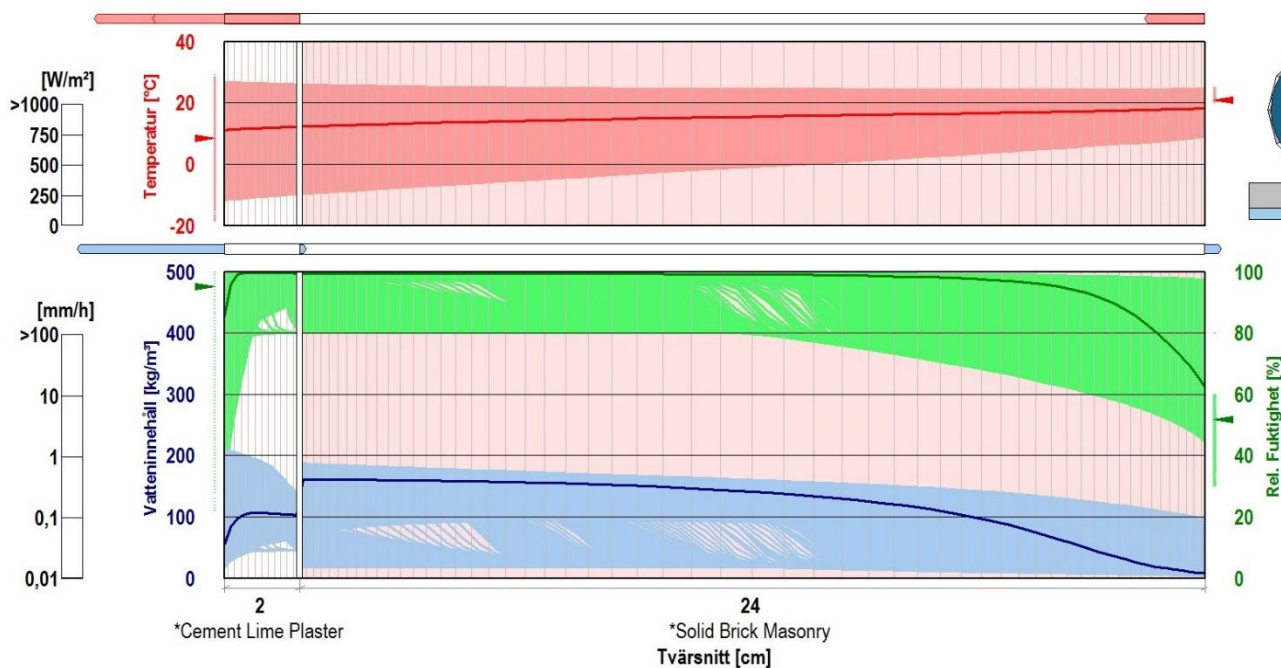
Det målade området i blått visar inom vilka områden vatteninnehållet har rört sig under simuleringstiden. Detta visar att denna fasad inte har lagrat några större mängder fukt i de inre delarna av lättbetongen. Den blå linjen visar att det aktuella vatteninnehållet i fasaden inte är långt ifrån det högsta värdet i fasaden, detta trots att bilden är tagen i slutet av uttorkningsperioden.

De gröna områdena visar hur den relativa fuktigheten har avancerat i fasaden. Dessa visar att den relativa fuktigheten har höjts in till ett visst avstånd från insida där den torkar ut.

Samtidigt visar den relativa fuktighetskurvan att kapillärmättnad inte har uppstått inne i materialet då den relativa fuktigheten inte har kommit upp till 100 % förutom i skiktgränsen.

Fasad 2 Grovporös på finporös

Ort: Stockholm; LTH Data;



Graf 2 – Puts på tegel

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Graf 2 är tagen i oktober, i slutet på uttorkningsperioden

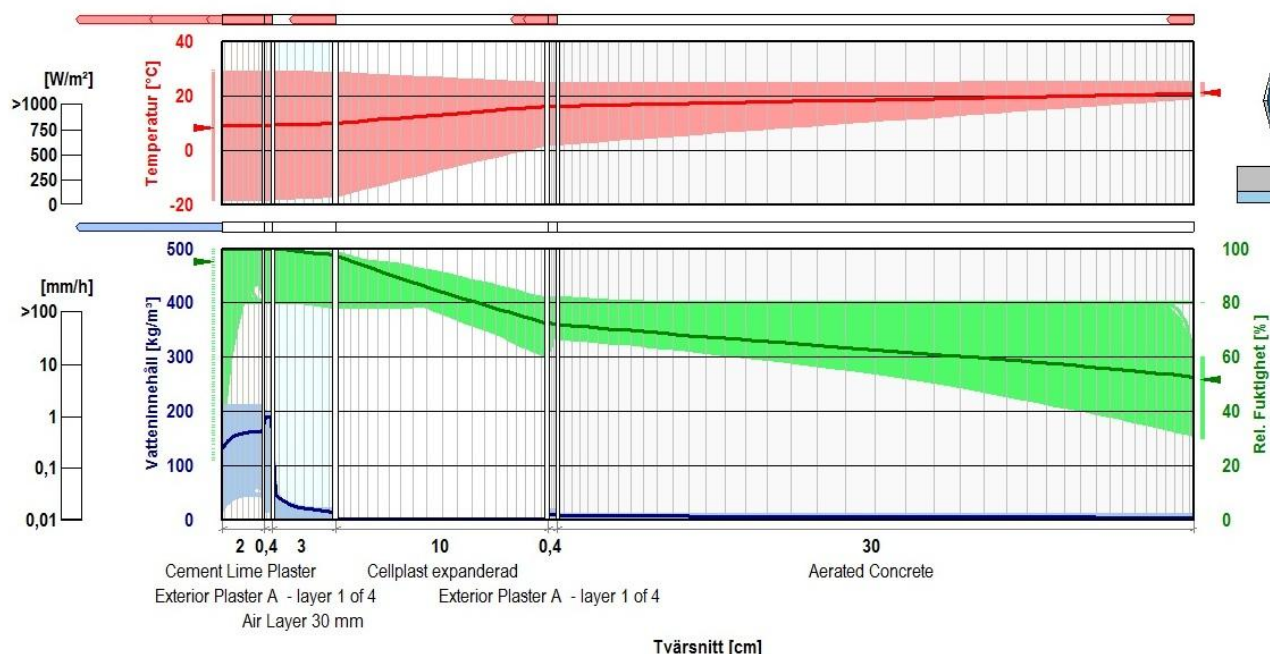
I denna graf visar kurvorna att den relativa fuktigheten i putsen håller på att torka ut medan den samtidigt blir uppfuktad av teglet innanför. Eftersom teglet inte kan innehålla lika mycket fukt som putsen kan det vara ofördelaktigt att endast se till de blå vatteninnehållskurvorna, istället ger RF-kurvorna en mer rättvis bild av förloppet.

Som de färgade områdena visar i denna figur har fukten kunnat ta sig långt in i det putsbärande materialet, teglet, och sedan inte torkat ut därifrån. Denna bild är tagen efter att 3 år har passerat och tiden är i oktober 2016. Det betyder att uttorkningsperioden snart är över dock har inte den aktuella fuktnivån sjunkit märkvärt från sin högstanivå om man ser till vatteninnehåll. Om man ser till kurvan för relativ fuktighet visar denna att den relativa fuktigheten i materialets större delar är 100 %. Dock kan denna kurva inte gå högre än 100 % vilket betyder att porerna fylls med vatten i vätskefas.

7.1.2 Renoveringsförslag

Renoveringsförslag 1 med lättbetong

Ort: Stockholm; LTH Data;



Graf 3 – Renoverad lättbetongfasad med luftspalt Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Graf 3 är tagen i slutet av uttorkningsperioden i början av oktober med 3 års simulering.

På denna bild kan man se precis som tidigare bilder hur den relativa fuktigheten har ändrats över tiden genom att se till de gröna områdena. Skillnaden mot tidigare fasader är att denna fasad är renoverad med en luftspalt, samt ett skikt med isolering som gränsar mot luftspalten. Här kan man då se hur den relativa fuktigheten i konstruktionen sjunker innanför luftspalten och cellplasten.

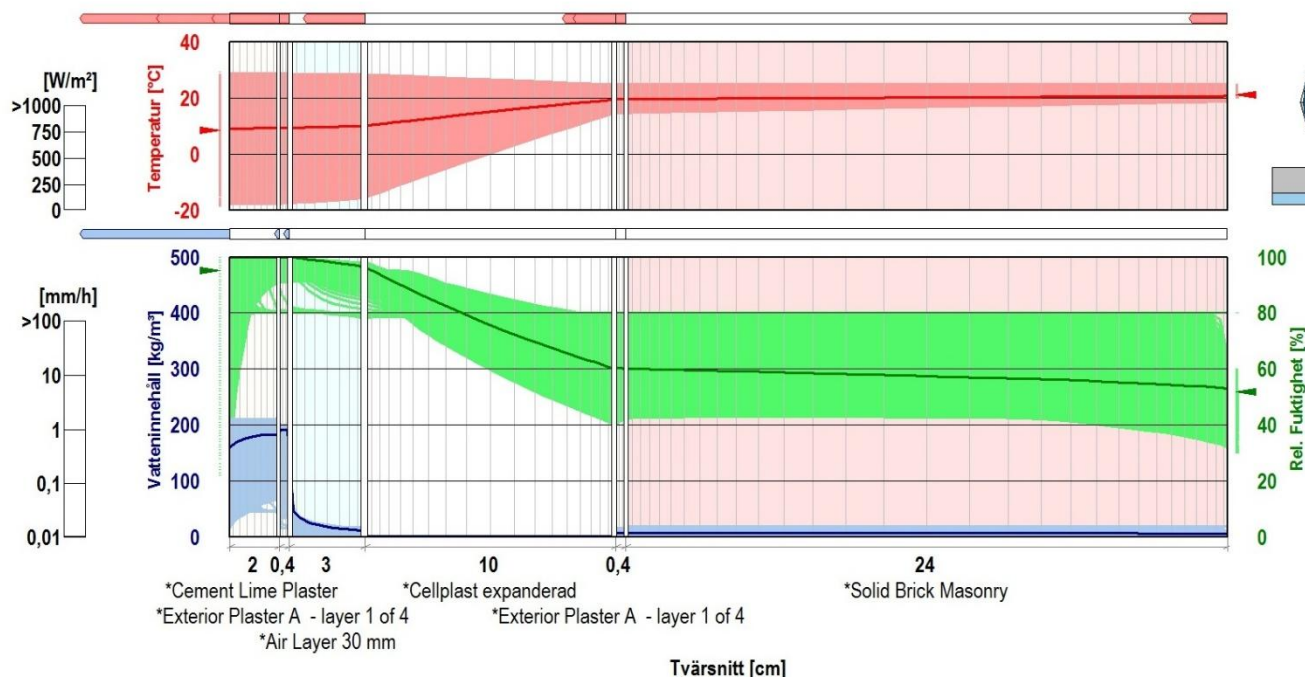
Observeras vatteninnehållet i konstruktionen så kan det utläsas att denna inte har förändrats märkbart under tiden för simuleringen då inga större områden är blåfärgade. Det skikt som har haft störst förändringar i vatteninnehåll över tiden för denna konstruktion är putsen. I tidigare försök med puts direkt på lättbetong hade även lättbetongen stora förändringar i vatteninnehåll.

Observeras den relativa fuktigheten kan det konstateras att den är 100 % i putsen men sedan i luftspalten börjar den att sjunka för att fortsätta sjunka genom isoleringslagret och sedan fortsätta att sjunka, inte fullt lika snabbt, genom lagret av lättbetong. Det yttersta

skiktet av lättbetongen alltså den del som är närmast isoleringen ligger den relativa fuktigheten på ca 70 % för att sedan gradvis sjunka till ca 50 – 55 % vid insidan.

Renoveringsförslag 1 med tegel

fr: Stockholm; L I H Data;



Graf 4 – Renoverad tegelfasad med luftspalt

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

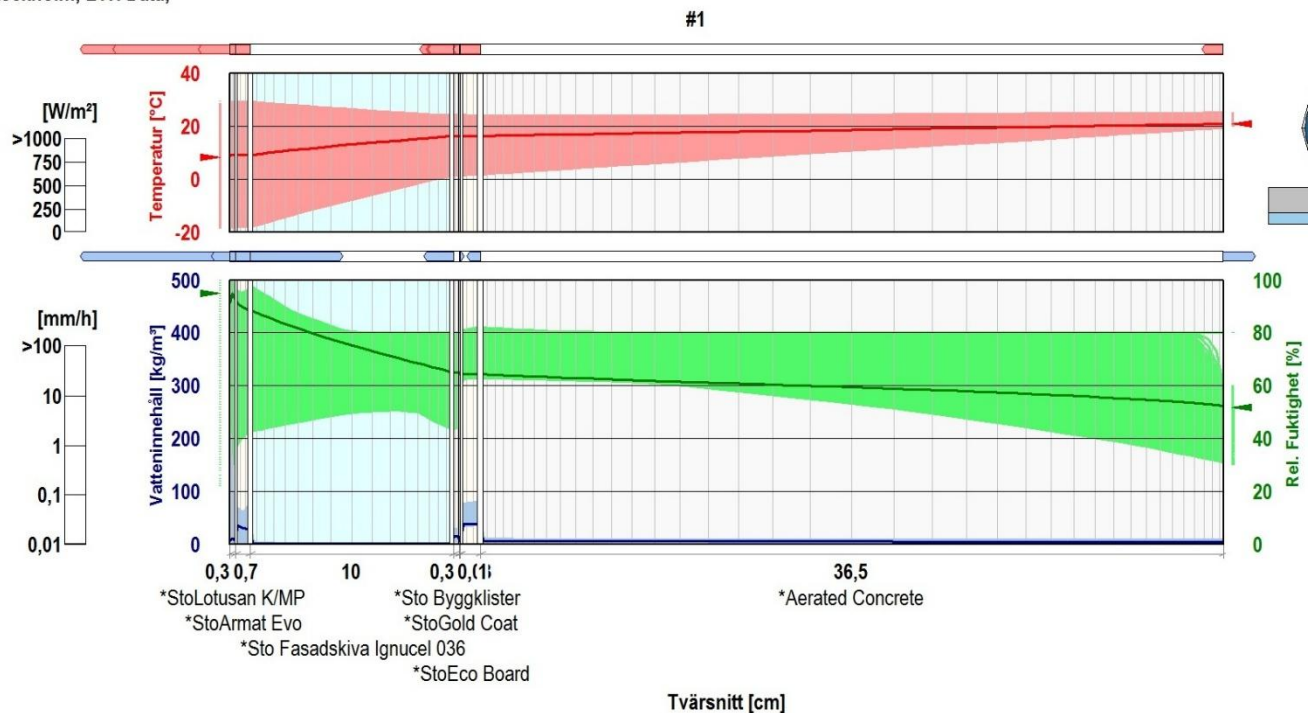
Graf 4 är även den tagen i oktober d.v.s. slutet av uttorkningsperioden.

På denna bild kan det observeras att även på denna konstruktion precis som den renoverade lättbetongfasaden med luftspalt, har putsskiktet de största skillnaderna i vatteninnehåll. Vatteninnehållet i teglet har även i denna konstruktion inte förändrats nämnvärt utan konstruktionen håller sig torr.

Det kan även observeras att konstruktionen torkar ut i jämt i hela tegelskiktet. Den relativa fuktigheten har som lägsta registrerade värde varit nere på 40 %, alltså hälften av utgångsvärdet. Vid slutet av simuleringen ligger den relativa fuktigheten jämnt på 60 %. Det kan även ses att den relativa fuktigheten börjar sjunka i luftspalten och fortsätter sjunka i isolerskiktet för att sedan jämnas ut över teglet.

Renoveringsförslag 2 med lättbetong

ort: Stockholm; LTH Data;



Graf 5 - Renoverad lättbetongfasad med dränerande skikt

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Graf 5 är även den tagen i oktober d.v.s. slutet av uttorkningsperioden.

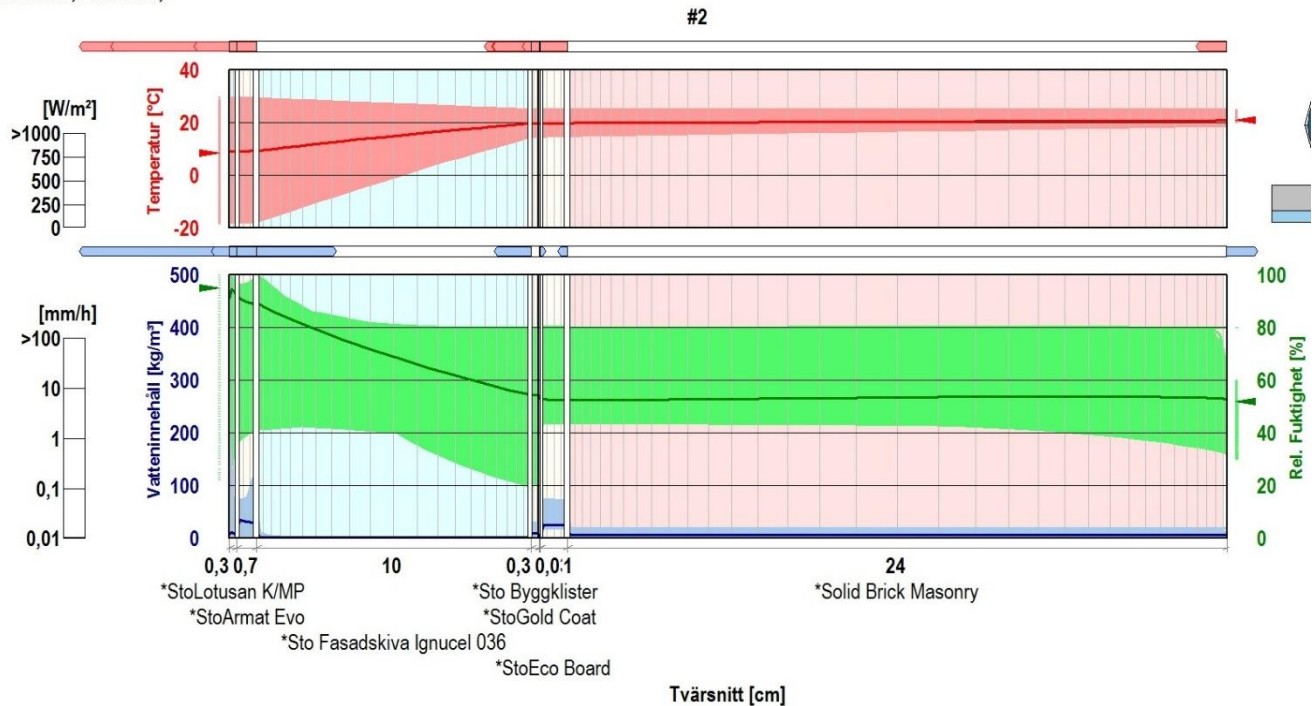
Denna konstruktion är STOs egna, där fasaden renoveras med hjälp av i huvudsak ett dränerande isoleringsskikt.

I detta dränerande skikt som är det tredje skiktet sett från vänster, sjunker den relativa fuktigheten som kraftigast och är den stora anledningen till att fuktinnehållet i denna konstruktion sjunker. I lättbetongskiktet kan det konstateras att den relativa fuktigheten sjunker från 80 % och lägger sig på en jämn nivå av 60 %.

Ses det till vatteninnehåll, har detta precis som tidigare fall av renovering med luftspalt inte förändrats nämnvärt utan konstruktionen håller sig torr utan att fuktas upp.

Renoveringsförslag 2 med tegel

Ort: Stockholm; LTH Data;



Graf 6 - Renoverad tegelfasad med dränerande skikt

Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

Tidpunkten för Graf 6 är i oktober i slutet av uttorkningsperioden.

Även denna konstruktion är STOs egna. Det är samma konstruktion som Graf 5 med lättbetong och skillnaden är i detta fall tegel istället för lättbetong som stommaterial.

Enligt graf 6 har teglets vatteninnehåll ej ändrats nämnvärt, utan det är återigen den relativa fuktigheten som bär mest information. Den relativa fuktigheten i tegelskiktet ligger på en jämn nivå strax under 60 % för att sedan öka i det dränerande skiktet och sedan nå väldigt höga nivåer i putsskiktet.

7.2 Analys av simuleringar

7.2.1 Finporös puts på grovporöst underlag - lättbetong

Finporös puts på lättbetong (grovporöst) genererar stora fuktrörelser som i regel enligt Wufi torkar ut konstruktionen. Dock är det stora mängder fukt som rör sig fram och tillbaka genom konstruktionen. Används exponering 2 och uppsamling 2 fylls dock konstruktionen.

Vid exponering 2 och uppsamling 1 fylls ej konstruktionen samtidigt som tendensen till

snabbare rörelser kan iakttas.

I simulering med denna konstruktion kan även förloppen följas via vatteninnehållskurvan då de båda ligger nära varandra i porositet och möjligt fuktinnehåll.

7.2.2 Grovporös puts på finporöst underlag - tegel

Grovporöst puts på tegel (finporöst) genererar fuktrörelser långt in i teglet. Detta beror antagligen till stora delar på att det är svårare att fylla den grovporösa putsen med vatten då den torkar ut snabbare. De mindre porerna i teglet leder till att sugkraften som ligger till grund för fukttransporten är hög i teglets små porer. Dessa små porer ger upphov till en inbromsning av hastigheten på fuktrörelsen som kan liknas vid en bilkö. Detta gör att uttorkningen hos teglet går långsammare och fukt kan då stanna längre i teglet samt transporteras längre in i materialet. Tendensen som går att se är att över årets gång torkar inte teglet direkt mycket utan fukten byggs på år efter år samtidigt som temperaturen skiftar. Om putsen skulle fyllas kapillärt av vatten antas uppfuktningen gå snabbare in i teglet medan uttorkningen fortfarande skulle ta lång tid. Simuleringar med denna typ av konstruktion är förloppen svåra att följa genom att endast se på vatteninnehållskurvan då skillnaden i kapacitet för vatteninnehåll är stora. Detta leder till att RF-kurvan måste iakttas för att transporten och beteendet skall kunna bedömas.

7.2.3 Renoveringsförslag

De renoverade fasaderna har avsevärt bättre motstånd mot fukt i förhållande till utgångsfasaden. Detta kan till stor del bero på luftspalten i renoveringsförslag 1 och i renoveringsförslag 2 det dränerande isoleringslagret. Båda dessa lager bryter transporten så att fukten inte kan sugas rakt in i den bärande konstruktionen/stommen. I fallet med luftspalt försvinner även tryckskillnaden vilken spelar stor roll vid fukttransporten in i fasaden. I fallet med den dränerande spalten kan fukt i vätskefas rinna ner genom denna och komma ut, medan vattenånga som kan ta sig vidare stoppas av en diffusionsspärr bakom. Detta gör att det inte kommer in större mängder fukt. I båda fallen med renoverad fasad utan någon större fuktproduktion inomhus kommer både lättbetongen och teglet torka ut. Då denna uttorkning sker mestadels inåt innebär detta inte några större problem om inte det finns någonting på insidan av väggen som stoppar transporten eller någonting organiskt som mögel kan växa på. Efter ett par år kommer konstruktionen dock vara torr invändigt och inte vara källa till några större fuktproblem. Även om inre delen av konstruktionen blir torr

kommer inte den yttre delen vara det, men å andra sidan gör det precis det den är till för, nämligen skydda de inre delarna. Putsen blir inte fuktigare än vad den blev i de orenoverade fallen vilket inte tillför något extra problem för konstruktionen. På det hela verkar det rimligt att dra slutsatsen att ur fuktsynpunkt är det fördelaktigt att renovera en äldre putsfasad där putsen bärs direkt av lättbetong eller tegel.

Det skall tilläggas att den värsta riskkonstruktionen är när det är putsat direkt på tegel då fukten stannar inne i konstruktionen längre samt lagras istället för att torkas ut. Kommer det en väldigt torr sommar kommer lättbetongväggen att torkas ut betydligt snabbare än tegelväggen.

7.3 Fukttransportskoefficienter

Istället för att ett material har konstant genomsläpplighet mot fukt i ång- och vätskefas har det kommit forskning som tyder på att det är ett förhållande som varierar med RF i materialet. Detta skulle betyda enligt forskningen att ett blötare material släpper igenom mer fukt, d.v.s. transporten går snabbare. Om detta beaktas vid uttorkning, innebär det att ett skikt i ytterkant på t.ex. putsbärande lättbetong när det är fuktigt kan torka ut snabbt, men över tiden när detta skikt blir torrare kommer transporten ut ur material bli mer och mer långsam. Detta leder i sin tur till att uttorkningstiden ökar vilket innebär att ju torrare ytterskikt desto längre tid kommer inre delar av konstruktionen vara fortsatt fuktiga.

7.3.1 Svenska koefficienter

Sättet som används i Sverige för att beskriva fukttransporter i material är under omvärdering. Tidigare har den som studerat fukt fått lära sig att det finns en ånggenomsläpplighet δ [m^2/s] samt ett ånggenomgångsmotstånd Z [s/m] för material. På initiativ av Professor Lars-Olof Nilsson, LTH, bör dessa begrepp nu utgå och med fördel ersättas av de nya begreppen fukttransportskoefficient δ [m^2/s], samt fuktmotstånd Z [s/m]. Anledningen till denna förändring är att även om drivkraften bakom fuktrörelsen är en skillnad i ånghalt kommer denna fukttransport inom materialet vid högre fuktnivåer agera i både ångfas samt vätskefas. Som beskrivs nedan i kombination av ång- och väsketransport.[4]

Detta innebär att materialets fukttransportskoefficient δ , kommer att variera i takt med materialets fuktinnehåll på samma sätt som ånggenomsläppligheten tidigare varierade i takt med materialets fuktinnehåll. [4]

Praktiskt betyder detta att vid t.ex. uttorkning kommer det yttersta skiktet på ett material torka först och därmed blir detta skikt torrt, samtidigt som tätheten ökar d.v.s. fukttransportskoefficienten minskar. I steg två måste då den fukt som existerar längre in i materialet transporteras genom det tätare yttre skiktet för att kunna lämna materialet. Detta leder till att transporthastigheten sänks när fukten ska transporteras genom det torrare skiktet samt att t.ex. uttorkningstider kan bli långa.[4]

I ett material består inte porsystemen av enkla kapillärrör utan de är väldigt komplicerade. Dessa porsystem har en principiell koppling till sugning i kapillärrör. Grovporösa material lägre sugkraft, lägre maximal sughöjd men större sughastighet, för finporösa material gäller hög sugkraft, hög maximal sughöjd samt låg sughastighet. [3]

När det talas ren ångtransport är principiellt alla porer luftfyllda, medan vid renodlad kapillärsugning är samtliga porer i princip vattenfyllda. Dessa två extremfall är i praktiken ovanliga, istället sker oftast fukttransporten som en kombination av både ång- och väsketransport. Inom denna kombination sker då transporten i större porer i ångfas och inom de mindre porerna sker transporten i vätskefas. Vid högre fukttillstånd är därmed en större andel porer vätskefyllda och därigenom sker fukttransporten i huvudsak genom

kapillärsugning. Övergången mellan i huvudsak ångtransport till i huvudsak vätsketransport sker successivt när fukttinnehållet ökar i materialet. Detta medför svårigheter vid beräkning då transportkoefficienter för de olika faserna varierar mycket kraftigt. Med hänsyn till dessa variationer har praktiska överslagsberäkningar beaktats vid beräkning av fukttransporter. Detta har lett till att upp till ca 95-98% relativ fuktighet beräknas transporten som ångtransport och först därefter räknas transporten som kapillärsugning. [3]

Detta kan vara en orsak till att i Sverige räknas det med variabel fukttransportkoefficient δ , tidigare ånggenomsläpplighet. [1]

I och med de nya termerna som föreslås av Lars-Olof Nilsson skulle en förståelse för hur fukttransporter fungerar i verkligheten komma direkt från användning av termerna. Denna förståelse för transportens egentliga natur blir missvisande då de termer som använts fram till nu har kallats ånggenomsläpplighet samt ånggenomgångsmotstånd. Dessa namn har varit korrekta för det sättet som fukttransporter räknas på i Sverige, men samtidigt inkorrekta för att ge en direkt förståelse för fukttransportens egentliga natur.[1]

Dessutom saknas det i dagsläget en viktig del i beräkningsgången för att kunna beräkna vätsketransport för olika material i Sverige nämligen s.k. suctionskurvor. Dessa suctionskurvor beskriver transportflödes hastigheten i förhållande till fukthalten i material, därigenom saknas det information för att kunna genomföra kvalitativa beräkningar med porvattenundertryck som drivkraft.[1]

Detta kan vara ännu en orsak till att i Sverige räknas det först och främst med ångtransport inom material.[1]

$$g = -Dw \times \frac{dw}{dx} \quad [\text{Ekvation 1}]$$

g = Fuktflödet [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

Dw = Fukttransportkoefficient [m^2/s]

dw/dx = Flödespotential,

denna ekvation beskriver fuktflöde diffusivitet. Svårigheten är att hitta värden till Dw [m^2/s].

Denna ekvation använder sig av skillnaden i fukthalt som drivkraft för transport.

I Sverige används ekvationen $g = \delta \times \frac{v_1 - v_2}{Z}$, [Ekvation 2]

g = Flöde

δ = Ånggenomsläpplighet

v_1 = Ånghalt 1

v_2 = Ånghalt 2

Z = Ånggenomgångsmotstånd

för att beskriva fuktflödet med skillnaden i ånghalt som drivkraft för transport.[1]

7.3.2 Tyska koefficienter

I Wufi används en annan metod än det svenska sättet att räkna fram fukttransport. Det som skiljer transporterna åt är att Wufi sätter diffusionstransporten till ett konstant värde och använder sig istället av vätsketransporter, där värdena varierar. [14]

Den dominanta vätsketransporten i ett material är den kapillära vätsketransporten. Det är ett vanligt fuktuttryck och måste vara specifikt i sammanhang inom byggfysik. Formeln för vätsketransport i Wufi lyder:

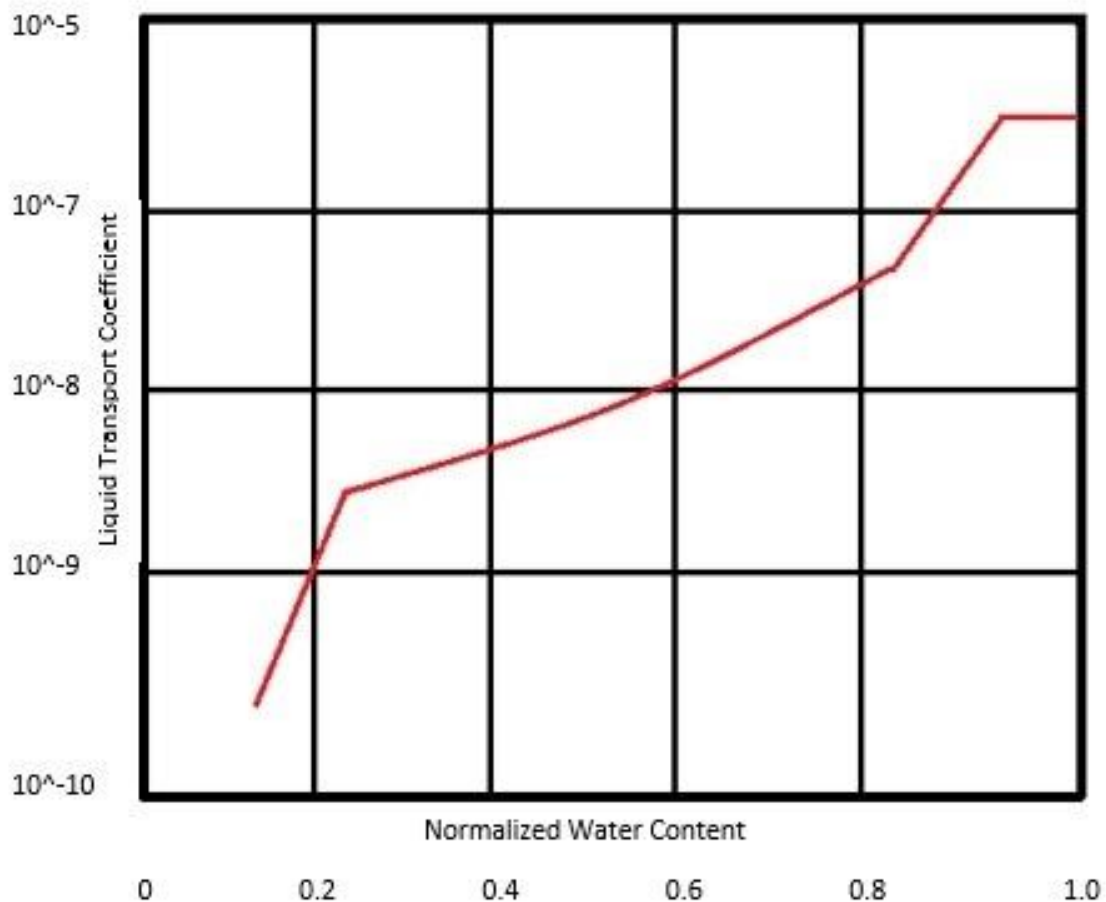
$$Gw = -Dw(w) \times grad w \quad [Ekvation 3]$$

Gw : Flödes hastighet vätsketransport [kg/m^2s]

w : Fukthalt [kg/m^3]

Dw : Fukttransportskoefficient [m^2/s],

vätsketransport koefficienten Dw är vanligen beroende av fukthalten. Huvudskälet till varför vätsketransporten kan bli förklarad genom diffusions formeln är på grund av att den reproducerar den linjära ökningen av vätskehalten över roten av tiden. Se graf 7 nedan. Vätsketransport koefficienten visar mer eller mindre ett exponentiell-beroende av fukthalten. Wufi använder därför logaritmisk interpolering mellan tabellposterna. [14]



Graf 7 – Linjära ökningen av vätskehalt över roten av tiden Av: Marcus Hägg, skärmbild Wufi Pro

WUFI använder sig av två vätsketransport koefficienter för varje material. Koefficient som används är beroende av vilka randvillkor som sätts (regn eller inget regn). Varje koefficient skrivs in i enskild kolumn. [14]

Vätsketransport koefficienten för kapillärsugning D_{ws} beskriver det kapillärt upptagna vattnet när ytan är helt täckt i vatten. Inom byggfysiken används detta vid bland annat slagregn mot en husfasad. [14]

Vätsketransport koefficient för omfördelning D_{ww} beskriver spridningen av indränkt vatten i materialet när uppfuktningen är färdig. [14]

Vätsketransport koefficienten är bara tillgänglig för en liten del av alla material. Det är därför önskvärt om man kan sätta värden själv, utifrån standardvärden. [14]

När D_{ws} ökar så ökar också fukttinnehållet och kan framräknas med hjälp av en exponentiell funktion, som för de flesta material har en spännvidd på tre tiopotenser. Under dessa förutsättningar så har D_{ws} och A-värdet följande relation:

$$D_{ws}(w) = 3.8 \cdot (A / w_f)^2 \cdot 1000^{(w/w_f)-1} \quad [\text{Ekvation 4}]$$

D_{ws} : Vätsketransport för kapillärsugning [m^2/s]

A: Vattenupptagnings koefficient [$\text{kg}/\text{m}^2\sqrt{\text{s}}$]

w: Fukthalt [kg/m^3]

w_f : Fri vattenmängd [kg/m^3]

Wufi kan på detta sätt generera tabellvärden med uppskattade värden av vätsketransport koefficienten för kapillärsugning. Genom att skriva in absorptionskoefficienten kommer Wufi använda denna tillsammans med sorptionskurvan och ovanstående formel för att redovisa dessa poster:

w [kg/m^3]	D_{ws} [m^2/s]
0	0
w_{80}	$D_{ws}(w_{80})$
w_f	$D_{ws}(w_f)$

Tabell 1 - När mängden vatten är noll är också kapillärsugningsförmågan noll. När vattenmängden ökar, ökar också kapillärsugningen.

[14]

8. Slutsats

Som svar till frågeställningen som låg till grund för detta arbete blir det korta svaret ja, Wufi kan simulera en putsad fasad där materialen har olika porositet på ett effektivt sätt. Dock krävs det en djupare förklaring för att visa hur denna slutsats dragits.

När det gäller puts som ligger direkt mot lättbetong eller tegel bör flera olika aspekter beaktas. Den första aspekten är hur konstruktionen ser ut på insidan, alltså vad för material, om något, gränsar mot putsbäraren på insidan av fasaden. Om det finns ett organiskt material hur tätt är då detta material? Om ett oorganiskt material finns där, hur tätt är då detta? Tätheten på detta material styr uttorkningen i det putsbärande lagret.

För att denna konstruktion skall ha någon chans överhuvudtaget måste det kunna torka ut inåt då uttorkningen utåt genom putsen blir som tidigare visats svår.

En annan aspekt är hur väl bevarad är fasaden? De simuleringar som gjorts i detta arbete har fokuserat på fasader som är oskadade. Ett fåtal simuleringar gjordes där en fuktkälla sattes i putsen för att symbolisera en läckande fasad, d.v.s. att fasaden har en t.ex. spricka eller otät ytskikt vid balkong eller fönster. Gemensamt för dessa simuleringar var att alla hade väldigt stora fukttransporter in i konstruktionen som gjorde att uttorkningen var knappt existerande.

En tredje aspekt gäller fastigheten, då position av denna har betydelse för exponeringen för regn samt miljön runt fastigheten. Om det är en skyddad miljö med liten vindlast blir fukttransporten mindre än om vindlasten är större och en oskyddad miljö omger fastigheten.

Vad gäller själva programmet Wufi och dess beräkningar bör några förhållanden beaktas. Det första inom programmet är dess materialdata, då detta program använder sig av den Tyska arbetsmodellen och då suctionskurvor för att bestämma transporten. Kurvorna som finns i Wufis materialdatabas har linjära kurvor för suction, vilka är en förenkling av den egentliga kurvan om man ser till en av de fåtal kurvor som finns presenterade av Svensk forskning i fukthandboken.

Det andra gäller själva beräkningssättet som används, då detta sätt ej är samma sätt som används i Sverige blir det svårare att få uppfattningar om rimlighet och hur de olika materialdatan påverkar resultaten i slutändan.

Slutsatser gällande konstruktionen fås genom jämförelse av analyser av de olika resultaten från simuleringarna.

När de två ursprungsfasaderna med puts direkt på lättbetong eller tegel analyseras är blir slutsatsen att den farligaste konstruktionen, utifrån de kunskaper som besitts idag med bakgrund i de fuktkurser som finns på KTH, är den fasad som är uppbyggd av tegel. Denna konstruktion blir den farligaste inte på grund av vatteninnehållet utan på grund av att fukten stannar inne i materialet under en längre tid samt att den relativa fuktigheten, som är drivkraft vid transport på det Svenska beräkningssättet, är hög i materialet. Om konstruktionen är i lättbetong så transporteras fukten snabbare in och ut genom materialet vilket gör att både uppfuktning och uttorkning av materialet går snabbare än med tegel. Detta är bakgrund till att tegel blir det material med de största riskerna.

Genom att renovera upp tegel- och lättbetongfasaderna till tvåstegstätade fasader skulle dessa konstruktioner bli torrare, varmare samt sluta transportera in fukt från putsen till inomhusmiljön. Detta skulle då leda till att fuktrelaterade problem i inomhusmiljön undviks mer effektivt.

Termer

Då en internationell beräkningsstandard skulle underlätta beräkningar med information från andra länder i världen skulle ändringen av ånggenomsläpplighet och ånggenomgångsmotstånd med fördel ändras till det föreslagna fukttransportskoefficient och fuktmotstånd. Detta skulle vid vidare utveckling av beräkningsprogram som Wufi förenkla användningen för alla inblandade. Detta skulle dessutom ge en mer korrekt bild av hur fukttransporter genom material och konstruktioner egentligen sker istället för just de förenklade versioner som används idag.

9. Rekommendationer

Rekommendationen som ges med slutsatser dragna från detta examensarbete blir då att renovera de fasader som består av puts direkt på lättbetong eller tegel. I och med renovering av dessa fasader kan fukttransporten inne i konstruktionen brytas och därmed de grava konsekvenser som kan uppstå av fuktiga konstruktioner kan undvikas.

I BBR kan det läsas att "Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa." [6]

Detta krav blir lättare att uppnå om en fastighet med puts direkt på lättbetong eller tegel, renoveras med hjälp av någon av de ovan nämna renoveringsalternativen.

En rekommendation angående de nya fukttermerna är att dessa med fördel används då detta skulle öka förståelsen för hur fukt transporteras och påverkar de material som används vid byggnation.

Det som kan göras för att underlätta fortsatta simuleringar och beräkningar är att ta fram mer materialdata för fler material än de som finns i Wufi.

Kommande examensarbete kan göra en större jämförelse mellan den tyska och svenska beräkningsmetoden, alltså vilka beräkningsmetoder som stämmer mest överens med verkligheten.

Referenser

Trycka källor

- [1] Nevander, L E. & Elmarsson, B, Fukthandbok Praktik och teori,
Stockholm: AB Svensk Byggtjänst, 1994
- [2] Burström, P-G. Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper,
Lund: Studentlitteratur, 2001
- [3] Sandin, K, Praktisk byggnadsfysik
Lund: Studentlitteratur, 2010
- [4] AK-Nyhetsbrev 2013-04-30
- [5] Björk, C, Så byggdes husen 1880-2000, Arkitektur, konstruktion och material i våra
flerbostadshus under 120 år, Stockholm: Formas, 2008, sjätte upplagan

Internet källor

- [6] <http://www.boverket.se/Global/bygga-o-forvalta-ny/dokument/regler-om-byggande/boverkets-byggregler-bbr/bbr-19/bfs-2011-26-6.pdf> 2013-05-06
- [7] <http://www.akkonsult.com/om-ak/affarside> 2013-04-29
- [8] <http://www.byggai.se/> 2013-06-08
- [9] <http://www.johex.se/varor.html> 2013-06-08

Muntliga källor

- [10] Claesson Johan, Produktchef fasad Sverige, STO Scandinavia AB
- [11] Anders Sjöberg, Konceptansvarig affärsområde hus, STO Scandinavia AB
- [12] Kumlin Anders, Senior konsult, AK-Konsult Indoor Air AB
- [13] Nilsson Lars-Olof, Professor i byggnadsmaterial, LTH

Datorprogram

[14] Wufi PRO 5.0, hjälpfunktion

Bilagor

I bilaga 1 finns de inställningar som gjorts i Wufi Pro för att få de resultat som vi har kommit fram till i detta examensarbete.

Bilaga 1

Fasadtyp	Material	Tjocklek	Orientering	Slagrenskoefficienter		Begynnelsevilkor	Tid	Ort	Inomhusklimat
				Exponeringsfaktor	Uppsamlingsfaktor				
Puts på lättbetong	Lime plaster	0,02 m	Sydost	2	1	80% RF	Start/Slut: 1 Oktober Period 3 år	Stockholm	Standard: EN 15026 Normal fuktbelastning
	areated concrete	0,365 m							
Puts på tegel	Cement lime plaster	0,02 m	Sydost	2	1	80% RF	Start/Slut: 1 Oktober Period 3 år	Stockholm	Standard: EN 15026 Normal fuktbelastning
	Solid brick masonry	0,24 m							
Renoveringsförslag 1	Cement lime plaster	0,02 m	Sydost	2	1	80% RF	Start/Slut: 1 Oktober Period 3 år	Stockholm	Standard: EN 15026 Normal fuktbelastning
	Exterior plaster A	0,004 m							
	Air layer	0,03 m							
	Cellplast expanderad	0,1 m							
	Exterior plaster A	0,004 m							
	Aerated concrete	0,3 m							
Renoveringsförslag 2	StoLotusan K/MP	0,003 m	Sydost	2	1	80% RF	Start/Slut: 1 Oktober Period 3 år	Stockholm	Standard: EN 15026 Normal fuktbelastning
	StoAmat Evo	0,007 m							
	Sto ignucel 036	0,1 m							
	Sto byggklister	0,003 m							
	StoGold Coat	0,001 m							
	StoEco Board	0,01 m							
	Aerated concrete	0,365 m							