

Fuktproblem i uteluftade  
krypgrunder-  
Tekniska åtgärder

Moist problems in outdoor  
ventilated crawls spaces-  
Technical measures

**Moses Padt**

Handledare: Gudni Jóhannesson

KUNGL TEKNISKA HÖGSKOLAN  
AVD FÖR BYGGNADSTEKNIK

### **Förord**

Detta examensarbete är utfört vid och i samarbete med Institutionen för Byggnadsteknik, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm. Initiativet till arbetet är taget i samråd med handledare och examinator Gudni Jóhannesson (KTH). Arbetet är avlagt av student Moses Padt från Väg- och Vattenbyggnadsteknik, KTH.

Bakgrunden till arbete är att det trots år av forskning ännu inte finns någon entydig lösning på krypgrundsproblematiken i befintliga uteluftsventilerade krypgrunder. Det finns i dag en mängd olika lösningar, visa vilka angriper grundproblematiken medan andra mer förebygger symptomen. Min tanke har varit att undersöka vilka lösningar som idag finns tillgängliga. Finns det möjlighet till utveckling av dessa. Är det möjligt att genom kombinationer av kända lösningar få en mer långsiktig lösning på fuktproblematiken i uteluftsventilerade krypgrunder.

Innan arbetet slutfördes fick jag jobb på konsultfirman WSP Environmental (tidigare J&W) och avdelningen byggnadsfysik. I mitt arbete som konsult har jag många gånger fått användning av de kunskaper jag fått genom utförandet av mitt examensarbete.

De personer som har varit till stor hjälp och som Jag vill rikta ett särskilt TACK till är: Gudni Jóhannesson som varit min handledare och alltid mött mig med en positiv inställning, Jan Akander som tagit sig tid att försöka hjälpa till med bl.a. simuleringsprogrammet, Folke Björk för korrekturläsning samt hjälp och tips med rapporten.

Stockholm september 2003

Moses Padt



### **Abstract**

Crawls spaces is a group name for foundations with a space between floor structure and ground. The construction can be made in several ways, ventilated, unventilated, well insulated and with less insulation in floor structure. Depending on how the constructions are made the problems differs. Thus it's very important not to mix up the different types of crawlspaces. Crawlspace treated in this work are outdoor ventilated foundations with high insulation in floor structure.

Foundation with crawlspaces involves risks with moisture that can lead to rot, mould and problems with bad smell. These problems have been known since the reintroduction of this construction type in the 1950-1960. In the beginning the moisture, mould and problems with bad smell were explained by bad building technique, low ventilation and high evaporation from the ground. Between 1960-1980 research and investigations have led to directions about smallest areas of ventilation and covering the ground with plastic sheet. Solutions that have appeared during the years have solved most problems with putrefaction but the problems with mould and bad smell is still not sorted out.

Research and investigations have proved that the problems in crawl spaces mostly depend on temperature which has been shown by e.g. Elmroth (1975), Kurnitski (2000) and Svensson (2001). The problem is caused by outdoor and crawlspace temperature being different due to the inertia of the crawlspace and ground. During spring and summer the crawlspace will be cold down from ventilation air and the RH (relative humidity) will increase. Under this period there is a risk that RH reaches levels that can lead to condensation and problems with biological activity. The conditions during wintertime are reversed and the ventilation air will be warmed by the stored heat of the reducing RH. The moisture in air is however enough to cause high humidity levels, even in a well build construction. Ground evaporation and bad solution of construction only makes the risks and problems larger.

The purpose of the work has been to find solutions of the high relative humidity problems in existing crawlspaces. The conclusions are based on literature studies and simulations. The simulations have been performed using a mathematical model of a crawlspace. The model is one-dimensional and considers the materials heat capacity but not the moist capacity. Different solutions that have been tested for reducing the moist levels in crawlspaces is covering the ground with PE-foil, mineral wool, EPS-insulation and combinations of those with either air dryer or heating.

### **Conclusions**

The most efficient and simplest solution to prevent good conditions for mould grows is a thermal insulation material with low heat capacity, high diffusion tightness in combination with extra heating. Heating has advantages in comparison to air dryer because it's a cheaper and simpler solution. The air dryer needs more maintenance and cost more in investment compared to a radiator. The time when the extra heat is needed is during the summer. A good and cost efficient solution can perhaps be a solution with a solar collector that distributes the heat to the crawlspace. However more accurate calculations have to be undertaken to verify this.

A solution merely consisting of a ground cover is not enough to eliminate the risk for mould growth. A tighter ground cover material like PE-foil and EPS insulation reduces moist level during the colder periods of the years but it stops the moist flow from air to ground during the warmer period which can lead to a higher mould risk than without a ground covering.

Tighter ground covering material reduces the total risk seen over the year but increases the maximum risk in comparison with uncovered ground or a diffusion open material. A material more open for diffusion like mineral wool gives slightly higher total years risk than EPS-insulation but the maximum risk is much lower because the moist flow to the ground is not prevented during the summer when the outdoor air is warmer than crawlspace. A solution to prevent mould growths has to be a combination with heating or air drying and ground covering. In the cases with ground covering in combination with either air dryer or heat a tighter materials such as EPS-insulation or PE-foil is better than an open material as they effectively hinders ground evaporation.



### **Sammanfattning**

Kryppgrunder är ett samlingsnamn för grunder med ett utrymme mellan bjälklag och mark. Konstruktionen finns i ett flertal utföranden, ventilerad, oventilerad, och med välisolerat eller mindre väl isolerat bjälklag. Beroende på hur konstruktionen är utformad ser problemen delvis olika ut. Det är därför mycket viktigt att inte blanda ihop de olika varianterna av kryppgrunder. Den kryppgrundstyp som behandlas i detta arbete är uteluftsventilerad kryppgrund med välisolerat bjälklag.

Grundläggning med kryppgrund medför risker för problem med fukt, mögel och elaklukt. Problemen har varit kända sedan åter introduktionen av konstruktionen runt 1950-60. Till en början förklarades orsaken till problemen med byggfusk, hög markavdunstning och dålig ventilation. Forskning och undersökningar under 1960-1980 ledde bl.a. till föreskrifter om minsta ventilareor och marktäckning med plastfolie. De åtgärder som tagits fram under åren har till stor del lyckats lösa problemen med röta. Men problemen med mögel och elaklukt är ännu inte lösta.

Åren av forskning och undersökningar har visat att problemen i kryppgrunder till största delen är ett temperaturproblem vilket visats av Elmroth (1975), Kurnitski (2000) och Svensson (2001) m.fl. Uteluftens- och kryppgrundens temperaturer ligger inte i fas pga kryppgrundens och markens värmetröghet. Under vår och sommar kommer ventilationsluften i krypprummet att kylas ner vilket innebär att den relativa fuktigheten (RF) stiger. Under dessa perioder finns det risk för att RF i kryppgrunden blir så hög att kondens och mögelproblem kan uppstå. Under vintern är förhållandena omvända och ventilationsluften kommer istället att värmas och sänka RF. Den fukt som finns i luften är alltså tillräcklig för att åstadkomma höga fuktnivåer, även i en välutförd konstruktion. Markavdunstning och dåliga konstruktionslösningar innebär endast att riskerna blir större.

Syftet med arbetet har varit att försöka komma tillrätta med problemen med höga fuktnivåer i befintliga kryppgrunder och bygger på litteraturstudier samt simuleringar. Simuleringarna har gjorts med hjälp av en matematiskmodell av ett krypprum. Modellen är endimensionell och tar hänsyn till materialens värmekapacitet men inte deras fuktkapacitet. De olika lösningar prövats för minska fuktnivåerna i kryppgrunden är marktäckning med PE-folie, mineralull, cellplast samt kombinationer av marktäckning och avfuktare eller tillskottsvärme.

### **Slutsatser/resultat**

Den effektivaste och enklaste lösningen för att förhindra gynnsamma förhållanden för mögeltillväxt är en värmeisolerande marktäckning med låg värmekapacitet, hög diffusionstäthet i kombination med tillskottsvärme. Värmetillförsel har i jämförelse med avfuktning fördelar genom att det är en billigare och enklare lösning. En avfuktare kräver större underhåll och är dyrare i inköp än värme från t.ex. en radiator. En solfångare som distribuerar värmen vidare till kryppgrunden kan mycket väl vara ekonomisk och fungerande lösning, eftersom tillskottsvärmen behövs under sommaren när solinstrålningen är som störst.

En lösning med enbart marktäckning räcker inte för helt eliminera risken för att mögeltillväxt. En tätare marktäckning som PE-folie och EPS-isolering, sänker fuktnivån i krypprummet under den kallare perioden av året men under den varma delen förhindras fuktflödet från krypprumsluft till marken vilket innebär att risken för mögeltillväxt kan bli större än utan marktäckning. Tätare marktäckningar minskar totalårsrisken för mögeltillväxt men höjer maxrisken i jämförelse med en kryppgrund med otäcktmark eller en diffusionsöppen marktäckning.

En diffusionsöppen marktäckning som mineralull har ger något högre totalårsrisk än tex EPSisolering. Däremot blir maxrisken under sommaren betydligt lägre vilket beror på att fuktflödet från luft till marken under sommaren när uteluften är varmare än krypprummet inte förhindras. För att mögeltillväxt inte skall uppstå i en kryppgrund krävs en lösning med värme eller avfuktning i kombination med en marktäckning. I fallen med marktäckning i kombination med avfuktning eller värmetillskott är en tätare marktäckning som EPS eller PE-folie bättre än diffusionsöppet genom att dessa effektivt förhindrar markavdunstningen.



## Fuktproblem i uteluftsventilerade krypgrunder - Tekniska åtgärder

1	Inledning .....	10
2	Bakgrund.....	10
3	Syfte .....	10
4	Metod .....	10
5	Historik.....	11
6	Kryprumsgrunder.....	12
6.1	Krypgrundens uppbyggnad .....	12
6.2	Krypgrundstyper .....	13
7	Problembeskrivning .....	14
8	Klimatet i krypgrunder.....	16
8.1	Värmetransport.....	16
8.2	Värmefaktorer .....	17
8.3	Fukt .....	18
8.4	Fukttransport .....	18
8.5	Fuktfaktorer.....	19
9	Tidigare undersökta åtgärder.....	21
9.1	Ventilation.....	21
9.2	Marktäckning .....	23
9.3	Markisolering.....	23
9.4	Rensning av marken från organsikt material .....	25
9.5	Isolering av bjälklag.....	25
9.6	Utbyte av material .....	25
9.7	Fungicidbehandling av material i krypgrunden .....	25
10	Mikroorganismer i byggnader.....	26
10.1	Tillväxtfaktorer för mikroorganismer.....	26
10.2	Utveckling, överlevnad och död.....	27
10.3	Mögel.....	27
10.4	Röta.....	28
10.5	Skadlighet för människor .....	29
11	Beskrivning av simuleringsmodell.....	30
11.1	Fourier serier och temperatur svängningar .....	30
11.2	Dynamiska temperatur beräkningar.....	31
12	Beräkningsgång vid simulering.....	33
12.1	Värmebalans .....	33
12.2	Fuktbalans .....	35
12.3	Avfuktarens funktion.....	38
12.4	Klimatdata .....	38
12.5	Materialdata .....	39
12.6	Tid för mögeltillväxt .....	40
13	Simulering.....	41
14	Resultat av simuleringarna.....	43
14.1	Simulering med minskad isolering i bjälklaget.....	60
15	Diskussion .....	64
16	Slutsatser .....	68





## 1 Inledning

Bland många människor finns det en uppfattning om att torpargrunder (kryppgrunder) är en gammal och beprövad grundläggnings metod och därmed även en säker konstruktion. Även om grundprincipen är densamma nu som då så har konstruktionen förändrats och finns idag i flera olika utförande vilket gör att klimatförhållandena är inte desamma. Även materialen i kryppgrunderna har förändrats. Det är därför viktigt att inte blanda ihop gamla, nya och olika typer av kryppgrunder.

De modernare uteluftsventilerade kryppgrunderna har fått ett kallare klimat än de tidigare torpargrunderna. Denna typ av grund har visat sig vara en riskabel konstruktion där det finns risk för fukt- och mögelskador.

## 2 Bakgrund

Uteluftsventilerade kryppgrunder har visat sig vara en riskkonstruktion när det gäller röt- och mögelskador. Den har av vissa jämförts med den mycket problematiska grundläggningstekniken, platta på mark, med ovanliggande isolering. Orsaken till att mögelskador uppstår i uteluftsventilerade kryppgrunder, sägs ofta bero på felaktiga konstruktionslösningar och dålig ventilation. (Andersson, 1991, Carlsson, 1974, m.fl.). Dessa faktorer bidrar visserligen till problemen men fysikaliska förhållanden är den grundläggande orsaken, vilket har visats i ett flertal arbeten bl.a. Svensson, (2001), Kurnitski, (2000) och redan av Elmroth (1975). De temperatursvängningar som uppstår i en kryppgrund ligger inte i fas med utelufts svängningar pga marken och de olika konstruktionsdelarnas värmetröghet i kryppgrunden. Detta innebär att kryppgrunden kyls ner under vintern, av den kalla uteluften. Under våren när varmare luft med hög ånghalt förs in i grunden är kryppgrundens ytor kallare än luften. Detta leder till att luften kyls ner och den relativa fuktigheten i luften i grunden ökar. Mot slutet av hösten och under vintern får man motsatt effekt. Kryppgrunden har då successivt värmts upp under den varma perioden. Kall uteluft med låg ånghalt kommer då istället att värmas av konstruktionens värmekapacitet och RF i luften sjunker. Under vintern finns möjligheter att grunden kan torka ut.

## 3 Syfte

Syftet med detta arbete är att jämföra olika metoder för att lösa fukt- och mögelproblemen med befintliga uteluftsventilerade kryppgrunder. Metoderna är inte tänkta att användas vid nybyggnad, eftersom det då finns betydligt större frihet i valet av konstruktionsutformning. De tänkbara lösningarna på kryppgrundsproblematiken skall jämföras genom simuleringar för att se vilken metod som kan ge det bästa skyddet mot röt- och mögelskador.

Vid simulering skapas en modell av verkligheten som ska efterlikna verkligt klimat. Detta innebär alltid att man måste göra flera antaganden och även begränsningar. Den modell som skapas kommer därmed att ge en förenklad bild av verkligheten. För att se hur väl de olika lösningarna fungerar i fält måste fullskaleprov utföras.

De lösningar som prövats med hjälp av den skapade modellen är inte menade att ge ett komplett svar på om de fungerar eller ej. Modellen är istället tänkt att ge en bättre möjlighet att förstå verkligheten. Genom att förhållandena i konstruktionen vid simulering kan hållas lika, ges en god möjlighet att jämföra olika alternativ med varandra.

Åtgärderna som prövas skall vara relativt billiga och möjliga att utföra utan större ombyggnader av grunden. Anledningen till att lösningarna inte är tänkta för ny byggnad är att det finns helt andra och bättre metoder kan vara aktuella utan att detta innebär stora extrakostnader, vilket blir fallet om de skall användas på befintliga grunder.

## 4 Metod

Detta arbete har gått ut på att försöka komma till rätta med fukt- och mögelproblematiken och öka säkerheten i existerande kryppgrunder. För att försöka hitta lösningar på problemen har olika åtgärder prövats med hjälp av simuleringar.

Arbetet har bestått i fyra moment, litteraturstudier, framtagning av en simuleringsmodell, simulering och fallstudier samt sammanställning i rapport. De olika momenten har delvis skett parallellt

Första steget har varit att inhämta och studera litteratur som behandlar problematiken med kryppgrunder, dvs. fukt och temperaturförhållanden i olika varianter av kryppgrunder, tidigare prövade lösningar samt betingelser för möglets tillväxt. Litteraturstudierna har legat till grund för utvecklingen av den simuleringsmodell med vilken simuleringarna sedan utförts.

Simuleringsmodellen som tagits fram är skriven i programmet Mathcad och är ursprungligen skapad av Tekn. Dr. Mao Goufeng för att simulera ett golvvärmsystem i en betongplatta. Modellen har modifierats för att simulera klimatförhållandena i ett krypprum.

Med modellens hjälp har simuleringar av olika tekniska lösningar på kryppgrunder utförts med tre olika typer av bjälklag: trä-, lättbetong- och betongbjälklag.

Slutsatserna i arbete har till största delen dragits utifrån mina egna simuleringsresultat. Men en del slutsatser har dragits med hjälp av litteraturstudierna och tidigare prövade lösningar.

## 5 Historik

Traditionen att bygga hus med kryppgrunder sträcker sig långt tillbaka i tiden och tekniken används än idag. Under en lång period var platta på mark den förhärskande grundläggningstekniken, men på 1950-talet började man återigen att bygga uteluftsventilerade kryppgrunder i Sverige och på 1960-talet blev kryppgrunder återigen en vanlig grundläggningsteknik. Idéerna till de nya kryppgrunderna var till en början försöksverksamhet och kom från USA, där man vid den tiden låg långt fram i tillämpningen av krypprumsgrundläggning (Svensson, 2001).

Redan under återintroduktionen uppmärksammades det dock att det fanns problem med uteluftsventilerade kryppgrunder. Detta ledde till ett intensivt forsknings- och utvecklingsarbete inom området under senare hälften av 1960-talet och början av 1970-talet. Forskningen koncentrerades på kryppgrundens fukt- och temperaturförhållanden och de skaderisker som dessa gav. Man ansåg då att låga krypprumshöjder, hög markavdunstning, dålig ventilation och dränering var orsaken till fuktproblemen. Man förklarade också problemen med att ventiler skyddades av buskar, altaner eller på annat sätt låg vindskyddade vilket resulterar i dålig ventilation (Andersson, 1991, Carlsson, 1974).

De skador man fann under denna tiden var förutom nedbrytande processer som röta, även mögelpåväxt och ”elak lukt” (Carlsson, 1974).

På grund av de uppmärksammade skadorna och problemen förändrades kryppgrundens konstruktion bl.a genom att trä som vette mot kryptrymmet skyddades. Detta gjordes genom att blindbotten kläddes in med asfaltimpregnerad porös träfiberskiva eller asbestcementskiva. Man använde tryckimpregnerat virke i syllar och till annat trä som exponerades i kryppgrunden, såsom bärlinor och blindbotten. Genom att använda behandlat trä ansåg man att det gick att förhindra biologiskt angrepp. En annan åtgärd var att kryppgrundsventilationen säkrades med krav på minsta ventilareor (Svensson, 2001, Carlsson, 1974).

Under energikrisen 1973-1975 uppstod krav på lufttätare och mer välisolerade byggnader för att spara energi. De nya husen som byggdes fick bl.a lufttätare bjälklag, också äldre hus gjordes lufttätare genom golvmattor av PE-folie. I de äldre husen kunde den nyvunna lufttäteten och tilläggsisoleringen leda till fuktproblem i kryppgrunden (Svensson, 2001).

Forskningen under 1960- och 1970-talet resulterade både i en stor mängd publikationer i ämnet och särskilda anvisningar i den nya byggnormen som kom 1975, SBN 1975 (Svensson, 2001).

Man har genom åren prövat och tagit fram en mängd olika lösningar och åtgärder för att fuktsäkra krypgrunder och till stor del lyckats lösa problemen med rötskador. Problemen med mögel och lukt är ännu inte lösta ( Åberg, 1999).

## 6 Kryprumsgrunder

När en byggnad anläggs med ett slutet utrymme under bottenbjälklaget, kallas detta för kryprumsgrund. Utrymmet under huset är ofta så lågt att det nätt och jämt går att krypa i det, var av namnet. Metoden att bygga krypgrunder är relativt billig eftersom den ger en god anpassning till olika markförhållanden, både plan och lutande mark, utan att stora markarbeten behöver göras. Tekniken är också lätt att anpassa till montagebyggande vilket har inneburit att många tillverkare av färdighus använder sig av denna typ av grund (Mårdberg, Byt 3, 1985).

En av fördelarna med krypgrunder är att den värme som läcker genom bjälklaget, ökar temperaturen i marken och minskar risken till tjälskador. Genom att marken runt byggnaden blir varmare är det möjligt att bygga med reducerat grundläggningsdjup. För att tillgodoräkna sig denna värme måste dock grundmurrarna ha ett tillräckligt värmemotstånd (Nevander och Elmarsson, 1994).

Krypgrunden är en gammal grundläggningsteknik och kallas i sitt äldre utförande för torpargrund. Det finns idag ett antal olika varianter på den äldre torpargrunden och kryprumsgrunder kan därför sägas vara ett samlingsnamn för grunder med ett utrymme mellan bottenbjälklaget och marken. De olika grunderna bygger alla på samma grundprincip, men deras fysiska egenskaper är inte desamma. Det är därför viktigt att inte blanda ihop de olika typerna av krypgrunder, vilka beskrivs närmare i avsnitt 3.

### 6.1 Krypgrundens uppbyggnad

En krypgrund består av ett ventilerat utrymme som innesluts av bjälklaget vilket vilar på husets grundmur. Grundmuren kan bestå av murblock, betong eller som i tidigare krypgrunder natursten som staplats på varandra. I fallet med betongmur är dessa ofta förtillverkade och upplagda på platsgjutna eller förtillverkade betongplintar (Mårdberg, Byt 3, 1985).

En av fördelarna med krypgrunder är att dessa kan anläggas med reducerat grundläggningsdjup under visa förutsättningar. Byggnaden måste minst vara 4 m bred, grundbottens värmemotstånd får inte överstiga  $3,8 \text{ m}^2\text{K/W}$  och grundmuren måste ha ett minsta värmemotstånd vilket varierar mellan  $2,5 - 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  beroende på temperaturzon. Ett annat villkor för att använda reducerat grundläggningsdjup är att innetemperaturen inte understiger  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Under dessa förutsättningar kan minsta grundläggningsdjupet sättas till 0,35 m. Om grundbottenisoleringens värmemotstånd överstiger det som är föreskrivet måste grundkonstruktionen förses med utvändigt randisolering, alternativt ökas grundläggningsdjupet (Åberg, 1995).

Grundmuren kan också vara isolerad vilket kommer att påverka temperaturförhållandena. Om konstruktionen är isolerad på utsidan medverkar grundmurens värmekapacitet i grunden, medan en invändigt placerad isolering tar bort en del av värmekapaciteten hos muren.

Bjälklagen hos olika krypgrunder varierar i utförande, material samt isoleringsgrad. Det kan bestå av trä, betong eller lättbetong och värmemotståndet varierar beroende på vilken typ av bjälklag och krypgrund man har.

Träbjälklag kan vara platstillverkade eller förtillverkade som fribärande bjälklagselement vilka lyfts på plats. Blindbotten på bjälklaget består ofta av ett någorlunda fukttåligt material (Mårdberg, Byt 3, 1985).

Lättbetongbjälklag består av förtillverkade bjälklagselement i tjocklekarna 200 – 250 mm beroende på last och spännvidd. För att klara värmeisoleringskraven förses konstruktionens ovansida med isolering

av cellplast eller mineralull. Golvet läggs sedan antingen på reglar eller flytande ovanpå isoleringen (Mårdberg, Byt 3, 1985).

Betongbjälklag finns både som kombination av balkar och plattor eller som fribärande element. Även betongbjälklagen måste tilläggsisoleras vilket oftast sker på ovansidan. Golvet läggs sedan på samma sätt som vid lättbetongbjälklag (Mårdberg, Byt 3, 1985).

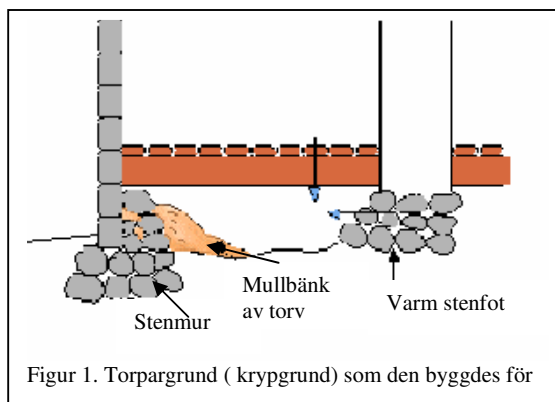
### 6.2 Krypprundstyper

Begreppet krypprunder kan sägas bestå av tre olika huvudprinciper av grundkonstruktioner. De olika typerna av grunder kan sedan ha olika utförande och variationer. De tre huvudtyperna är:

- oventilerad krypprund
- varmgrund (innetluftventilerad)
- uteluftsventilerad krypprund

#### **Torpargrund**

Äldre krypprunder eller s.k. torpargrunder består av en ringmur av stenar längs husets ytterväggar. Se figur 1. Stenarna kan vara sammanfogade med bruk eller bara staplade på varandra. Det ovanliggande bjälklaget består av reglar och blindbotten vilken kan vara tätad för luftläckning med papp, näver eller dylikt. Isolering materialet i bjälklagen kan vara av torv, koksaska, kutterspån eller en blandning av dessa. Gemensamt för dessa material är att deras värmeisolerande förmåga inte kan jämföras med modernare isoleringsmaterial eftersom de har lägre värmeisoleringsförmåga. I äldre krypprunder står fundamentet till skorstenen i krypprunden. Detta medför att när man eldar värms skorstenens fundament upp och avger värme till grunden.



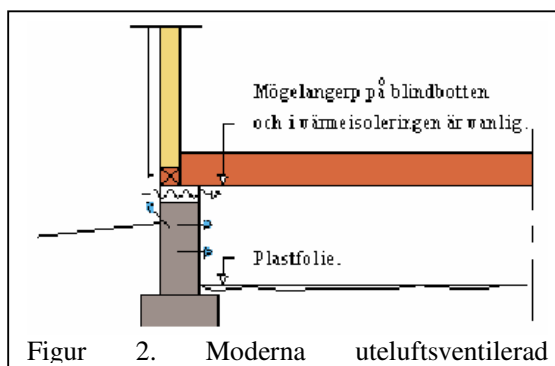
Figur 1. Torpargrund ( krypprund) som den byggdes för

Utrymmet mellan bjälklag och mark är ofta mycket lågt vilket gör att det är svårt att inspektera äldre krypprunder. Ventilationen utgörs av små gluggar (kattgluggar) vilka ofta stängdes igen under vintern för att minska golvdrag och nedkylning av golvet. För ytterligare minska kalla och dragiga golv skottade man också upp snö längs grunden för att få extra isolering och lufttätning (Svensson, 2001). Torpargrunden har ett varmare klimat än den modernare krypprunden beroende på sämre värmeisolerings i bjälklaget samt att man ofta får tillskottsvärme från murstocken när det eldas.

#### **Dagens uteluftsventilerad krypprund**

Dagens eller senare tiders krypprunder började byggas runt 1950 (Åberg, 1995) och kan ses om en utveckling av den äldre torpargrunden. Se figur 2.

Skillnaderna ligger dels i att murstocken saknas, bjälklaget är mer välisolerat än tidigare och materialen har bytts ut mot modernare. Grundmuren av stenar har ersatt med en mur av murblock eller betongelement vilka ofta är förtillverkade. Ventilationen kan vara naturlig eller mekanisk och sker via gallerförsedda gluggar i grundmuren.



Figur 2. Moderna uteluftsventilerad

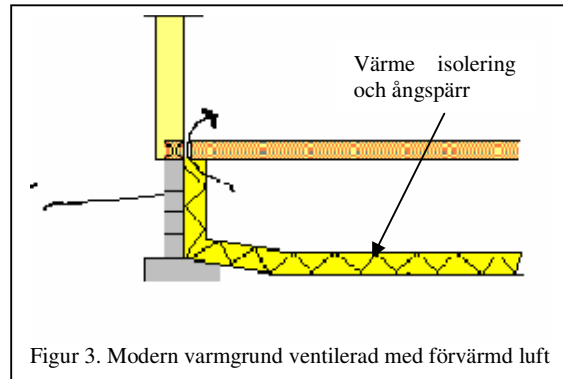
Muren kan vara isolerad eller oisolerad. Bjälklaget, som oftast isoleras på ovansidan, kan vara av betong, lättbetong eller trä. Beroende på vilken typ av bjälklag och värmeisoleringsmaterial som används ser konstruktionen olika ut.

Konstruktionens materialsammansättning och utformning, innebär att risken för skador och skadornas verkan, ser olika ut.

De uteluftsventilerade krypgrunderna kan delas in i två grupper beroende på hur välisolerat bjälklaget är, relativt kalla respektive relativt varma krypgrunder.

### Varmgrunder.

Varmgrunder finns i tre olika grund utförande och skiljer sig fukttekniskt från den uteluftsventilerade krypgrunden. Konstruktionen finns både som ventilerad och oventilerad. Den oventilerade varianten kallas för leca-grund. Den ventilerade varmgrund ventileras med antingen med inneluft som förs ned i grunden och vidare ut via ventiler i grundmuren. I detta fall är marken i krypgrunden oftast oisolerad.



Den andra varianten av ventilerad varmgrund den s.k TEEG-grunden ventileras med uteluft vilken förvärms i grunden och sedan förs vidare in i huset via springor i bjälklagets ytterkanter. I detta fall är bjälklaget inte värmeisolerat utan värmeisolerings och diffusionsspärr är placerade på mark och grundmurar. Se figur 3. I och med att det inte finns någon större temperaturgradient mellan grunden och bostaden uppstår inte någon fuktgradient och därför inte heller fuktproblem pga temperaturskillnader i bjälklaget. Denna typ av konstruktion fungerar bra om man lyckas med att åstadkomma en mycket tät fuktspärr mot marken och att grundens fukt- och värmeisolerings ansluter väl till ovanliggande ytterväggars ångspärr och värmeisolerings.

Funktionen hos varma krypgrunder skiljer sig väsentligt från uteluftsventilerade krypgrunder och kommer inte att behandlas utförligare i detta arbete.

## 7 Problembeskrivning

Problematiken med uteluftsventilerade kryprumsgrunder är att det under perioder finns risk för att höga fuktnivåer uppstår vilket kan leda till biologisk aktivitet. Den biologiska aktiviteten kan ge upphov till elak lukt, röta och mögel vilket kan vara till skada för både byggnad och dess invånare. Beroende på hur konstruktionen är uppbyggd, vilka material den består av, är riskerna för skador och skadornas verkan olika. (Elmroth, 1975, Carlsson, 1974, Andersson, 1991, Svensson, 2001, Kurnitski, 2000, m.fl). Kriterierna för biologisk aktivitet beskrivs i avsnitt 6.

Om det finns organiska material i bjälklaget kan dessa angripas av röta och mögel. De skador som uppstår är i första hand av sanitär karaktär, så som elak lukt men kan även direkt påverka hållfastheten. En mögelskada som i sig inte ger några direkta konstruktionsmässiga skador kan dock leda till att fukt hålls kvar och orsakar en rötskada i ett senare skede.

Även i krypgrunder där det inte finns organiskt material i bjälklaget kan problem uppstå. Jordbakterier, kvarlämnat byggspill eller annat organiskt material kan ge upphov till mögel och elak lukt. Det är därför mycket viktigt att marken i krypgrunder och bjälklagen är renade från allt organisk material (Elmroth, 1975, Hilling och Palmgren, 1993, Svensson, 2001, Kurnitski, 2000 m.fl).

Elak lukt som bildas i samband med biologisk aktivitet som röta, mögel eller jordbakterier behöver inte orsaka problem, så länge luften inte når bostaden. Men pga konvektion och diffusion finns det alltid risk för att lukten kan spridas till bostaden genom läckor och otätheter (Elmroth, 1975, Hilling och Palmgren, 1993).

Ett annat fuktrelaterat problem som uppmärksammas med krypgrunder är armeringskorrosion i betong- och lättbetongsbjälklag vilket beskrivs bl.a i Arne Elmroths skrift "Krypgrundsläggning" (1975). Problem med armeringskorrosion behandlas dock inte närmare i detta arbete.

Orsakerna till att mögeltillväxt förekommer i krypgrunder är höga fuktnivåer, temperaturförhållanden, näring i form av organiskt material samt tillgång på sporer vilka för övrigt alltid finns i omgivningen.

De höga fuktnivåerna har man tidigare trott bero på dåliga konstruktionslösningar, låg luftomsättning, hög markavdunstning eller inläckande vatten, vilket finns beskrivet av bl.a Elmroth (1975), Carlsson (1974), m.fl.

Andersson B.I (1991) anger generellt att orsakerna till fukt och mögelskador är:

- Hög markavdunstning
- Hög avdunstning från grundbalkar/-murar
- Hög avdunstning av byggfukt från grundkonstruktionen
- Stort luftutbyte i kryprum under sommar och höst
- Läckage från vatten- och avloppsledningar
- Inrinnande ytvatten
- Användning av material med svampangrepp
- Brister i arbetsutförande

Dessa förhållanden bidrar visserligen till problematiken men senare tids forskning bl.a Kurnitski (2000) och Svensson (2001) med flera, har visat att problemen har mera fysikaliska grunder. Man har under åren av forskning konstaterat att de höga fuktnivåerna uppstår, eftersom temperaturen i krypgrunden inte följer med i utelufts svängningar, på grund av markens värmetröghet, vilket Elmroth redan visade 1975.

Klimatet i krypgrunder varierar under året och kan delas in i ett vinterfall och ett sommar fall (Kurnitski, 2000, Elmroth, 1975, Svensson 2001, m.fl).

### Vinterfall

Under vintern är uteluften kall och dess ånghalt är låg. Den relativa fuktigheten är dock hög och ligger runt 90 %. När den kalla uteluften kommer in i krypgrunden värms den upp av markens och övriga ytors lagrade värme. Temperaturhöjningen av luften leder till att RF sjunker och under vinterhalvåret finns det möjlighet för uttorkning. Vartefter man ventilerar kommer dock marken och omgivande ytor i krypgrunden att kylas ner och någon gång under våren sker en brytpunkt när uteluften är varmare än krypgrundsluften och sommarfallet inträffar.

Sommarfallet innebär att uteluften är varmare och har högre ånghalt än i vinterfallet, RF ligger under senvåren till någon gång i mitten av hösten runt 70 – 80 %. Eftersom kryprummet har kylts ner under vinterhalvåret kommer ventilationsluften kylas ner av ytorna i krypgrunden, vilket leder till att den relativa fuktigheten stiger. Under vissa perioder blir RF så pass hög att mögel och röttillväxt kan ske, samtidigt som temperaturen också är gynnsam för mögel och röta. Villkoren för mikrobiell aktivitet vilka beskrivs i avsnitt 6, uppfylls normalt under sommaren och hösten i uteluftsventilerade krypgrunder (Nevander och Elmarsson, 1994).

## 8 Klimatet i krypgrunder

Höga fuktnivåer och eventuell biologisk aktivitet beror på klimatförhållandena i krypgrunden. Dessa styrs av ett antal parametrar, vilka kan delas in i värme- och fuktfaktorer. Vissa av klimatfaktorerna påverkar både fukt- och värmeförhållandena medan andra endast påverkar en av faktorerna.

Informationen till fukt och värme avsnitten är till största delen hämtade ur fukthandboken av Nevander och Elmarsson (1995) om inte annat anges.

Faktorer som styr klimatet är

### Värme

- ventilation
- bjälklagsisolering transmission/läckning
- grundmursisolering
- markisolering
- värmestillskott

### Fukt

- ventilation
- markavdunstning
- temperatur
- avfuktning
- vattenläckor
- fuktstillskott genom läckor i bjälklag och grundmur
- nederbörd

Hur de olika fukt- och värmefaktorerna fungerar, styrs och påverkar kryprumsklimatet beskrivs närmare i följande avsnitt uppdelat på dels värmetransport och dels fukttransport.

### 8.1 Värmetransport

Värme kan i huvudsak transporteras på tre sätt, genom konvektion, strålning samt ledning.

#### Konvektion

Värmeutbyte mellan fasta material och omgivning genom luft- eller vätskeströmmar kallas för värmekonvektion. (Se även fuktkonvektion avsnitt 8,4). Luftrörelserna kan vara naturliga eller påtvingade av fläktar eller vindtryck. Naturlig konvektion styrs av tryckdifferenser som uppstår pga temperaturdifferenser mellan kall och varm luft. Konvektion pga. temperaturdifferenser ger transport från varmt till kallt.

#### Strålning

Värmeutbyte genom strålning bestäms av den studerade ytans temperatur samt omgivande ytors temperaturer eller motstrålningens temperatur. Vid långvågig strålning, som är fallet vid de temperaturer som är aktuella i krypgrunder, beror strålningsutbytet mellan olika ytor på strukturen hos materialen och deras emissionstal, för vanliga byggmaterial ligger detta på ca 0,9. För blanka metaller är emissionstalet betydligt lägre, ner till ca 0,1.

#### Värmeledning

Värmeledningsförmågan eller värmekonduktiviteten som den även benämns, varierar för olika material och kallas  $\lambda$  (W/(m·K)). För porösa byggnadsmaterial är  $\lambda$ -värdet baserat på det värmeflöde som uppkommer på grund av en temperaturdifferens över ett materialskikt med en viss tjocklek. I ett poröst material sker emellertid en del av värmetransporten genom konvektion och i någon mån även genom strålning. Dessa två komponenter i flödet inkluderas normalt i  $\lambda$ -värdet och blir därmed betraktat som ledning.



Värmefflöde genom ledning beror på värmemotståndet hos ett materialskikt ( $R$ ,  $m^2K/W$ ) och temperaturskillnaden mellan de olika sidorna av materialet. Materialets värmemotstånd bestäms av kvoten mellan materialskiktets tjocklek och dess värmeledningsförmåga ( $\lambda$ -värde).

Vid stationära beräkningar, vilket innebär att man antar att hela materialet momentant ställer in sig vid en temperaturförändring, tas inte hänsyn till materialets värmekapacitet. Detta är inte fallet i verkligheten eftersom material har en tröghet mot temperaturförändringar genom att lagra och avge värme. Denna tröghet som beror av materialets värmekapacitet tas med vid dynamiska temperaturberäkningar.

Grundekvationen för dynamiska temperaturberäkningar tecknas i tre dimensioner. För konstruktionsdelar så som väggar och bjälklag är värmefflödet i huvudsak endimensionellt, vilket medför en avsevärd förenkling vid beräkningar.

## **8.2 Värmefaktorer**

Temperaturen i kryppgrunden bestäms av konstruktionens utformning och materialsammansättning, markförhållanden i och runt grunden, uteluftsens temperatur, grundmurens isoleringsgrad och ventilationens omfattning. Bostaden ovanför påverkar temperaturen i kryppgrunden genom flöden av luft och värme genom bjälklaget.

### Uteluftens temperatur

Uteluftens månadsmedeltemperatur varierar över året med en lägsta medeltemperatur över dygnet på vinter strax under  $-4^\circ C$  och under sommaren uppåt  $17^\circ C$  (Gäller för Bromma under perioden 1961-1991), (Nevander och Elmarsson, 1994). Uteluftens temperatur påverkar krypprumstemperaturen dels genom ventilationen och dels genom ledning genom mark och grundmur varför deras värmemotstånd är av betydelse.

Temperaturväxlingar hos luften leder till förändringar i den relativa fuktigheten. Temperaturen i grunden ändras betydligt långsammare än uteluftsens temperatur, genom markens och övriga konstruktionsdelars värmekapacitet. Varm luft, som förs in i kryppgrunden genom ventilationen kommer under vissa perioder kylas ned med resultatet att den relativa fuktigheten ökar.

### Bjälklag

Värmeutbyte mellan kryppgrund och bostad kan ske på två sätt, dels genom transmission och dels genom konvektion genom bjälklaget. Värmeutbyte pga transmission beror på bjälklagets motstånd. Det andra sättet värmeutbytet kan ske är genom konvektion. Konvektionsutbytet av värme mellan bostad och grund sker genom otätheter i bjälklag och anslutningar och innebär att värme transporteras med luftströmmar. Riktningen på luftströmmarna styrs av tryckförhållanden och temperatur varför riktningen på strömmarna kan variera, oftast går dock konvektionen från krypprummet till bostaden pga av tryckförhållandena. För att förhindra konvektionen skall bjälklaget och dess anslutningar vara täta.

### Marken i krypprummet

Marken i kryppgrunden påverkar temperaturen genom sin massa, värmekapacitet och värmeledningsförmåga. Eftersom massan och värmekapaciteten är stor har marken en stor tröghet vilket innebär att temperaturförändringar i marken sker långsamt och tar lång tid. Detta innebär att marken ofta har en annan temperatur än luften i kryppgrunden.

På ca 6 m djup håller marken en konstant temperatur året om, denna temperatur varierar beroende på var i Sverige man befinner sig. I Bromma som används som referensort vid simuleringarna, är markens temperatur  $6.3^\circ C$ . Temperaturen nära markytan, varierar med årstiderna och anpassar sig olika snabbt, beroende på vilken sammansättning marken har.

Genom att värmeisolera marken tas en del av trögheten mot temperaturförändringar bort, vilket innebär att grundytan snabbare närmar sig lufttemperaturen.

### Grundmur

Grundmurens uppbyggnad påverkar krypgrunden genom sin värmeisolerande förmåga, täthet mot luftläckning, samt värmekapacitet. Om grunden är värmeisolerad har placering av isoleringen betydelse. En invändig isolering innebär att man skärmar bort en del av värmekapaciteten hos grundmuren, medan en utvändigt placerad isolering medför att värmekapaciteten hos muren kommer att påverka klimatet i kryprummet.

## **8.3 Fukt**

Fukt är vatten i olika former, fast, flytande och gasfas.

### Luftfukt

Fuktig luft är en blandning av torr luft och vattenånga. Torr luft är i sin tur en blandning av många olika gaser. Vattenånga har molekylvikten  $M_v = 18,02$  kg/kmol och torr luft har molekylvikten  $M_l = 28,96$  kg/kmol. Torrluft är alltså tyngre än fuktig luft vilket innebär, att fuktig luft strävar uppåt i jämförelse med torr luft vid samma temperatur

Vid en given temperatur kan luft inte innehålla mer än en viss mängd vattenånga svarande mot mättnadsånghalten (daggpunkten). Mättnadsånghalten hänförs alltid till en viss temperatur varför den för tydligheten tecknas med  $v_s(T)$ . Mättnad kan uppnås, genom att i ett slutet utrymme med konstant temperatur tillföra vattenånga tills luften inte klarar att ta upp mer. Eller genom att vid en bestämd volym och ånghalt, sänka temperaturen tills daggpunkten nås.

Vid beräkningar kan man antingen använda ångtryck (Pa) eller ånghalt ( $g/m^3$ ). Vid oförändrad temperatur är de linjärt beroende av varandra. Vanligast är att använda förhållandet mellan verklig ånghalt och mättnadsånghalten, den relativa ånghalten, som förkortas RF (%).

### Markfukt

I marken kan fukt finnas i flera olika tillstånd. Vatten i den omättade zonen mellan markytan och grundvattenzonen kallas för markvatten. En del av detta vatten är bundet hygroskopiskt och kapillärt till jordpartiklarna, medan resten, som är överskottsvatten, perkolerar ner till grundvattenzonen. Tillförsel av vatten kan ske genom infiltration och kapillärsugning.

Grundvattennivån varierar med årstiderna beroende på de meteorologiska och klimatologiska variationerna. Variationerna av grundvattennivån mellan nederbördsrika och nederbördsfattiga år är betydande. Genomsläppligheten hos olika jordarter har också stor betydelse för grundvattennivån.

Normalt finns det så mycket vatten i marken genom infiltration och kapillärsugning, att man alltid bör räkna med att markens porer har 100 % RF (Elmroth, 1975).

## **8.4 Fukttransport**

Fukt kan transporteras både i fast, flytande och i gasform. Fukttransport eller fuktflöde tecknas alltid som produkten mellan en transportkoefficient och en potentialändring per längdenhet i flödesriktningen. Potentialen eller drivkraften för transporten kan vara ångtryck, ånghalt, fukthalt eller temperaturskillnader etc.

I byggnader sker fukttransporten i huvudsak i ångfas eller vätskefas. Transporten av fukt i ångfas sker i främst genom, konvektion, och diffusion och i vätskefas genom kapillärsugning eller tillrinning.

### Fuktkonvektion

Fuktkonvektion innebär att vatten i ångfas följer en luftström. För att luftströmmarna skall uppstå krävs totaltryckdifferenser. Dessa totaltryckdifferenser kan bildas av:

- Temperaturskillnader som orsakar densitets och tryckskillnader.
- Vindtryck
- Fläktar

Ur praktisk synvinkel är det betydelsefullt att veta i vilken riktning luftströmmen går. När fuktig luft kyls ner, finns det risk för kondensutfällning. Går luftströmmen från kallt till varmt, blir luftströmmen istället uttorkande.

### Fuktdiffusion

Fuktdiffusion styrs av luftens ånghalt, luft strävar efter att utjämna koncentrations nivåer, åstadkomma jämvikt. Fukttransport på grund av diffusion går alltid från luft med hög ånghalt till luft med låg ånghalt. Diffusion och konvektion kan vara motriktade Diffusionen går normalt från varmt till kallt, och skapar förhöjd RF som kan innebära att luftens mätnadsånghalt överskrider och kondens uppstår.

### Kapillärtransport och vattentryck

I vätskefas kan fukt transporteras i materialens porer. De två viktigaste drivkrafterna för denna transport är vattenövertryck och kapillärsugning.

Vid vattenövertryck fylls porsystemet av vatten och transporten sker främst genom de största porerna. Vattenövertrycket kan uppstå på grund av tillrinnande vatten, läckor eller grundvattenströmning.

Vid kapillärsugning kan de större porerna bli inaktiva eftersom dessa har minst sugkraft. Kapillärsugning går från områden med lågt till högt porvattentryck. För att transporten skall kunna ske måste vattnet i porerna bilda ett sammanhängande system. Fukt i materialet kan ha tagits upp direkt från luften eller från fritt vatten.

Olika material har olika förmåga att suga upp och transportera, beroende på porernas storlek:

- Stora porer -snabbt flöde, litet sug
- Små porer – långsamt flöde, stort sug

Vattnet kan också transporteras genom tillrinning eller läckage.

## **8.5 Fuktfaktorer.**

En byggnad utsätts för fukt från en mängd olika håll, former och omfattning, både i flytande form, som vatten och i gasform som ånga i luft. De fuktbelastningar som en byggnad utsätts för, kan delas upp i normal fuktpåverkan och i enstaka fuktpåverkan. Till normal fuktpåverkan räknas nederbörd, luftfukt inomhus och utomhus samt markavdunstning. Till enstaka fuktpåverkan räknas nederbörd under byggtiden, byggfukt och läckage (Svensson, 2001)

### Nederbörd

Nederbörd kan vara i form av regn eller snö och kan komma in i grunden genom att blåsa in genom ventiler och springor eller genom att rinna in som vatten i krypgrunden. För att förhindra detta är det mycket viktigt att huset är väl dränerat och att takavvattningen är rätt dimensionerad. ”Dagvatten från tak och mark skall avledas från byggnaden och hindras från att rinna in i krypgrunden. Marken skall luta från huset med lutningen 1:20 från huset och minst 3 m ut (Åberg, 1995).

### Luftfukt utomhus

Luftens ånghalt och relativa fuktighet varierar över året och påverkar klimatet i krypgrunden genom ventilationen. Under vinterhalvåret är ånghalten låg och relativa fuktigheten hög, medan under sommaren råder omvänt förhållande.

### Luftfukt inomhus

Luft från bostaden innehåller ofta mer fukt än uteluften. Detta beror på fuktproduktion inomhus från matlagning, människor, växter tvätt mm. Luftutbyte mellan krypgrund och bostad kan ske genom konvektion i otätheter i bjälklag, anslutningar vid väggar mm samt diffusion genom bjälklag. Åt vilket håll detta luftutbyte går beror på luftströmmar och tryckförhållandena, se konvektion och diffusion.

### Markavdunstning

Fukt tillförs även luften genom avdunstning från marken. Avdunstningen beror på tillgången av och markens förmåga att transportera fram vattnet. Tillgången på vatten bestäms av grundvattennivån, samt tillrinning av ytvatten och eventuella läckage.

Om marken består av kapillärsugande material kommer grundvatten att sugas upp till ytan för att avdunsta till luften. Ett material som inte är kapillärt sugande och står i kontakt med grundvattennivån, avdunstar betydligt mindre vatten än ett kapillärt sugande material.

Vattenavdunstningen från marken bestäms av

- Luftens RF och temperatur
- Egenskaperna hos marken och det material som täcker denna
- Temperaturen hos marken
- Nivån på grundvattnet

### Nederbörd under byggtiden

Under byggtiden finns det alltid risk för, att material som normalt inte utsätts för fukt, kommer i kontakt med fukt. Detta kan innebära, att fukt byggs in i konstruktionen och sedan inte kan torka ut. Det är därför viktigt, att byggnadsmaterial hålls torra under hela byggprocessen, samt att eventuell fukt får tid och förutsättningar att torka ut.

### Byggfukt

Bjälklag av betong och lättbetong kan innehålla stora mängder fukt, som måste tillåtas att torka ut, innan täta material läggs på. Om betongbjälklaget är prefabricerat innehåller det mindre fukt.

### Läckage

Vatten och avloppsledningar är ofta placerade i krypgrunden. Om dessa skadas, finns det risk för läckor och att vattnet blir stående. Vid en eventuell läcka är det viktigt att man snabbt vidtar åtgärder och torkar ut fukten, så att det inte uppstår en röt eller mögelskada.

## 9 Tidigare undersökta åtgärder

Det har länge varit känt, att kryprumsgrundläggning kan ge fuktrelaterade problem. Man har därför under lång tid genomfört forskning och tester för att försöka lösa problemen med höga fuktnivåer, vilka kan leda till mögel- och röttillväxt. Detta kapitel tar upp en del av de åtgärder, som undersökts i krypgrunder genom åren. Vissa av åtgärderna har prövats i fält, medan andra åtgärder endast hittats beskrivna i litteratur. Åtgärderna har delats upp i kategorierna ventilation, marktäckning, markisolering och övriga åtgärder.

### 9.1 Ventilation

Ventilationen är en av de klimatfaktorer, som påverkan förhållandena i krypgrunder mest, genom att den transporterar både värme och fukt. Det är därför också ett av de mest undersökta områdena i försöken, att komma tillrätta med kryprumsproblematiken. Typ, utformning och omfattning av ventilation, är områden som studerats närmare.

Ventilationen av krypgrunder kan ske genom:

- självdrag
- frånluftsventilation (undertryck)
- tilluftsventilation (övertryck)
- balanserad ventilation dvs. från och tillufts ventilation

Undersökningarna är gjorda av Kurnitski (2000). I kryprum där marken bestod av blandad lera utan någon form av marktäckning, visade han att mekanisk frånluftsventilation gav en klart högre RF i luften i jämförelse med naturlig ventilation. En övergång till balanserad ventilation resulterade i sänkning av luftens RF, dock inte till acceptabla nivåer. Försök med tilluftsventilation gav RF i nivåer med naturlig ventilation (Kurnitski, 2000).

Att det blir höga RF nivåer vid frånluftsventilation och otäckt mark förklaras med att det undertryck som erhålls skapar luftströmmar vilka transporterar fukt genom dräneringsgrus samt genom luftläckning från angränsande kryprum. (Undersökningarna utfördes i ett uppdelat kryprum). I vilken omfattning de olika läckagen bidrog gick inte att fastställa. Även vid små tryckskillnader mellan de uppdelade kryprummen, visade frånluftsventilation högre RF (Kurnitski, 2000).

Tester gjorda med naturlig ventilation, visar att tryckskillnaderna mellan kryprum och bostad har stor betydelse för luftomsättningen. Frånluftsventilation i bostaden ger ett ökat undertryck i bostaden och luft från kryprummet suges in i bostaden. För att detta skall kunna accepteras måste kryprumsluften vara av samma kvalitet som utomhusluften (Kurnitski, 2000).

Beräkningar av Kurnitski (2000) på markavdunstning och otäckt mark, har gjorts med hjälp av uppmätta värden på RF. Resultaten visar att ökad luftomsättning inte bara minskar RF i luften, utan också att avdunstningen från marken blir betydligt högre vid frånluftsventilation och undertryck. Värdena på evaporationen varierar ganska mycket vilket förklaras med att fuktkapaciteten i grunden inte tagits med vid beräkningarna. Genomsnittsvärdet på evaporationen var  $3,6 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  för naturlig ventilation. Mekanisk ventilation hade ett snitt på  $5,7 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  (Kurnitski, 2000).

En förutsättning för att minska RF genom ventilation är sålunda att ha kontroll på markavdunstningen (Kurnitski, 2000). Detta kan göras genom att isolera marken så att avdunstningshastigheten minskar eller hindra avdunstningen genom att täcka marken vilket behandlas senare i detta avsnitt.

Även Svensson (2001) har tittat på hur olika ventilationssystem fungerar, när hon tittat på Småhusskadenämndens sammanställning av olika åtgärder i krypgrunder med fuktproblem.

Undertrycksventilation är en lösning som enligt småhusskadenämnden ofta används i som åtgärd i skadade krypgrunder. Genom att täta ventiler och installera frånluftventilation, har man skapat ett undertryck i grunden, vilket skall förhindra dålig lukt att nå bostaden. Vid undersökningar av

åtgärdade krypgrunder, har det dock visat sig att undertryck inte har åstadkommit pga. otätheter i grunden. För att erhålla ett tillräckligt undertryck, har man varit tvungen att använda så höga luftflöden att detta skulle ge ökad energiförbrukning och kalla golv. Ett undertryck i krypgrunden innebär också ökad andel ineluft i krypgrunden genom diffusion och läckning med fuktillskott som resultat.

Otätheterna i grunderna har delvis berott på slarvigt utförda tätningar av ventiler men också på att luft läcker in genom dräneringslager, vilket är svårare att åtgärda. Det konstateras dock att i väl genomarbetade åtgärdslösningar har undertryck oftare åstadkommit (Svensson, 2001)

Ett alternativ för att minska markavdunstningen, vilken kan öka vid frånluftventilation, är att istället använda sig av tilluftsventilation. Tilluftsventilationen ger ett övertryck i grunden, vilket skulle minska avdunstningen från marken. Nackdelen med denna lösning är att luft från grunden, kommer att pressas in i bostaden. Om luften i krypgrunden är helt fräsch skulle detta inte vara något problem. Men eftersom luften i grunden alltid har spår av många olika ämnen skapar inläckning av kryprumsluft till bostaden ofta irritation (Kurnitski, 2000)

### **Förbättrad ventilation av krypgrunden**

En av småhuskadenämndens vanligaste åtgärder vid fuktproblem i krypgrunder är ökad ventilation. I nästan samtliga fall som Svensson (2001) studerat har förbättring av ventilationen varit en av åtgärderna. Vid lösningar där undertryckhållning av krypgrunden har föreskrivits, har förbättrad ventilation varit en sidoeffekt. När ventilationen har varit mekanisk har de enkla systemen med jämt fördelade ventiler fungerat bäst, avancerade system med många olika kanaler fungerar sämre.

I de grunder som ventileras med självdragsventilation har ökad omsättning åstadkommit genom att befintliga ventiler rensats, samt vid behov har fler ventiler installerats. Vid mätning av flöden i självdragsventilerade grunder, har dessa legat runt 0.5 -1.41 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup> (Svensson, 2001).

Simuleringar av C Svensson (2001) visar att för i en krypgrund, som från början har ett lågt ventilationsflöde, kan man med en måttlig ökning av luftomsättningen minska risken för mögelpåväxt. Detta gäller vid omsättningsökningar upp till ca 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h. Vid högre ventilationsflöden minskar risken mindre i förhållande till flödesökningen. Att helt eliminera risken för fuktskador med hjälp av ökad ventilation, var dock inte möjligt (Svensson, 2001).

### **Variabel ventilation**

Åren av forskning har visat sig att en av de främsta orsakerna till höga fuktnivåer beror på temperaturförhållandena i krypgrunden (Elmroth, 1975, Svensson, 2001, Kurnitski, 2000, m.fl). Uteluftens och kryprummets temperaturer ligger inte i fas, pga. markens och övriga ytors värmekapaciteter. Ventilationsluften som tas in i grunden under våren och sommaren, kyls ner av kryprummets ytor, eftersom dessa har kylts ner under vintern.

Genom att minska skillnaden mellan temperaturen i kryprum och uteluft, skulle risken för att höga RF uppkommer kunna minskas eller undvikas.

Nedkylningen av kryprummet under vintern kan minskas, genom att ventilationsflödet under vintern sänks. Om sedan ventilationen ökas under sommaren, innebär detta att temperaturen i krypgrunden snabbare anpassar sig till uteluftens temperatur.

En sänkning av ventilationen under vinterhalvåret är möjlig, utan att försämra klimatet i krypgrunden, eftersom temperatur- och fuktförhållandena för mögeltillväxt är mindre gynnsamma under vintern (Svensson, 2001).

Simuleringar av C. Svensson (2001) och variabel ventilation visar att detta har en viss effekt på risken för mögelpåväxt, störst effekt har en ökning under den varma årstiden.

## **9.2 Marktäckning**

Markavdunstning är en annan klimatfaktor, som bidrar till problemen med höga fuktnivåer i kryppgrunder. Genom att förhindra fuktavgivningen från marken, har man trott, att man skulle kunna undgå problemen med fuktskador i kryppgrunder (Ehlroth, 1975 C. Svensson, 2001).

Det finns fler sätt att minska avdunstningen från marken. Den vanligaste metoden är utläggning av en diffusionstät plastfolie på marken. En annan men inte lika vanlig metod, är att värmeisolera marken.

Utläggning av plastfolie på marken, har ofta använts av Småhusskadenämnden i samband med fukt- och mögelskador i kryppgrunder, många gånger tillsammans med andra åtgärder såsom ökad ventilation.

I de flesta av Småhusskadenämndens fall som Svensson (2001) studerat, har plastfolien lagts ut med omsorg och hållits på plats med stenar och avslutats ca 5-10 cm från grundmuren, så att vatten skall kunna dräneras bort. Ett annat sätt att ordna dräneringen är att plasten punkteras i lågpunkter. Båda dessa metoder, att förhindra att vatten blir stående, föreslås i handböcker.

Åtgärden att minska markavdunstningen med hjälp av plastfolie leder också till att höja temperaturen, i kryppgrunden vilket beskrivs av Elmroth (1975). Avdunstningen kräver värme och eftersom denna minskas kommer temperaturen att stiga något. Vid undersökningar av Kurnitski (2000) av temperatur och avdunstning, var temperaturhöjningen speciellt tydlig på sommaren. Avdunstningen från marken var 0,34 g/m<sup>2</sup> h med isolering och 3,4 g/ m<sup>2</sup> h utan isolering. Det var dock inte möjligt att finna exakt hur mycket temperaturen höjs, genom minskad förångning (Kurnitski, 2000).

Charlotte Svensson (2001) konstaterar, att en väl utlagd plastfolie minskar risken för mögelpåväxt, då den tar bort en källa till fukt. Det bör tillsammans med rensning av marken vara det första åtgärden i en fukt och mögelskadad kryppgrund. Det kan dock vara svårt att lägga ut folien, eftersom höjden i grunden kan vara mycket begränsad

Kurnitski (2000) skriver att det är möjligt, att helt ångtäta material, kan ge upphov till mikrobiologisk aktivitet under plasten. Med hänsyn till detta anser, han att det är säkrare att använda sig av mer permeabla material, som marktäckning.

## **9.3 Markisolering**

En annan undersökt åtgärd är värmeisolering av marken i krypprummet, vilket avskärmar markens värmekapacitet och systemet ställer snabbare in sig vid förändringar i utetemperatur. Isolering av marken ger också en lägre marktemperatur, vilket innebär att markavdunstningen minskar, eftersom denna avtar med minskad temperatur. Isoleringstjockleken får dock inte vara för stor, med hänsyn till grundläggningdjupet (Elmroth, 1975, Kurnitski, 2000 m.fl).

J Kurnitski (2000) har studerat hur olika markisoleringar påverkar klimatet i kryppgrunden. Materialen som undersöktes var EPS-isolering, lättklinker, PE- folie och mineralull och prövades i två olika kryppgrunder. En med ett välisolerad bjälklag (U- värde på 0,2 W/ m<sup>2</sup> K) och en med ett mindre isolerat bjälklag (U-värde bjälklag 0,38 W/ m<sup>2</sup> K).

I den relativt varma kryppgrunden, visade alla undersökta grundtäckningsmaterial goda resultat (Plastfolie, EPS-isolering, lättklinker) och det var relativt lätt att sänka fuktbelastningen till RF nivåer runt 60-70 %. I fallen med grundtäckning i relativt varma kryppgrunder, var fukt/motståndet den viktigaste egenskapen hos materialet. Bara genom att minska evaporationen, höjdes temperaturen med ca 2°C under sommaren.

I jämförelse med den relativt varma krypgrunden, var temperaturen i den kalla grunden under studien ca 5 °C lägre och RF når kritiska nivåer. Hos det relativt kalla kryprummet, låg temperaturen periodvis betydligt lägre än utetemperaturen. Uppgiften för marktäckningsmaterialet och ventilationen blir därför, dels att förhindra evaporation men också att höja temperaturen i grunden så mycket som möjligt.

I kalla krypgrunder räcker det inte med att materialet har högt fuktmotstånd för att sänka RF. Marktäckningsmaterialet måste också ha en hög termisk isoleringsförmåga och låg värmekapacitet.

Under sommaren när kryprumstemperaturen vanligtvis är högre än yttemperaturerna på marktäckningen, ändras fuktflödet från marken. Ofta blir det ett flöde från luften till marken. Detta faktum gör att en viss fuktkapacitet hos grundtäckningen är gynnsam. Ett fuktupptag av marken kommer sänka RF i grunden. Att detta är viktigt visas av resultaten med en plastfolie på marken, vilket visade så höga RF som 90-100% på sommaren, lika höga som i grunder med otäckt mark (Kurnitski, 2000).

Det bästa grundtäckningsmaterialet för kalla krypgrunder visade sig i Kurnitskis (2000) tester vara lättklinker och EPS-isolering. Vid normala tjocklekar på grundtäckningsmaterialen, var man under sommaren tvungen att öka ventilationen för att höja temperaturen i krypgrunden. Under sommaren var en omsättning på 2 oms/h tillräckligt, men 5 oms/h visade något bättre resultat. Det lägsta RF erhöles med 30 cm lättklinker och två luftomsättningar men förhållandena var också acceptabla med 5 cm EPS-isolering. Isolering med 15 cm lättklinker visade något högre RF men förhållandena var ändå acceptabla (Kurnitski, 2000).

En jämförelse mellan PE-folie och EPS-isolering som marktäckning visar, att PE-folie ger en högre temperatur på vintern och lägre på sommaren, än EPS-isolering. Anledningen är att EPS-isoleringen tar bort en del av markens värmekapacitet vilken resulterar att temperaturen i kryprummet blir högre på vintern men lägre på sommaren i jämförelse med oisolerad mark. PE-folie har ingen större värmeisolerande förmåga och påverkar inte markens värmekapacitet, utan förhindrar endast markavdunstning (Kurnitski, 2000).

Resultaten visar, att ett markisoleringsmaterial i en krypgrund skall ha liten värmekapacitet och stort värmemotstånd. Ur fuktteknisk synvinkel är det också gynnsamt om materialet har viss fuktkapacitet som kan jämna ut fuktbelastningen genom att ta upp och avge fukt.

Slutsatsen som Kurnitski (2000) drar, är att i kalla kryprum måste man använda rätt marktäckningsmaterial samt rätt luftomsättning för att uppnå acceptabla fuktförhållanden. Han rekommenderar 15-30 cm lättklinker eller 5-10 cm EPS-isolering för alla krypgrunder varma som kalla. Plastfolie anser han inte skall användas i kalla krypgrunder och otäcktmark skall inte förkomma i något kryprum. Krypgrunder med förhållandena som nämns ovan kräver variabel ventilation 0,5-1 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> på vintern och 2-3 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> under den varma säsongen (Från maj till oktober).

Simuleringar utförda av Kurnitski (2000) visade att marktäckning med PE-folie gav lika högt RF som öppen mark (fuktig sand) under sommaren. Detta förklarar han med den oisolerade markens termiska kapacitet, som är den samma i båda fallen. Att RF är lika i båda fallen visar att luftfukten är den enda fuktkällan under sommaren, eftersom ingen evaporation kommer från den kalla ytan.

Under vissa perioder sker det ett fuktflöde från luften till marken. Fuktflöde från luften till marken är högst i fallet med 15 cm lättklinker. Detta orsakas av en något lägre temperatur i kryprummet än med 30 cm lättklinker samt 5 cm EPS-isolering.



På sommaren när utomhusluften är den enda fuktkällan, lagrar grundtäckningsmaterialet en avsevärd mängd vatten. EPS-isolering lagrar mindre än lättklinker, men dess hygroskopiska max överskrider ( $0,6 \text{ kg/m}^3$ ).

Resultaten av beräkningarna visar att 30 cm lättklinker och 5 cm EPS-isolering gav något lägre RF än 15 cm lättklinker (Kurnitski, 2000).

#### **9.4 Rensning av marken från organsikt material**

I väldigt många av Småhusskadenämndens fall, som studerats (Svensson, 2001) är en av de vidtagna åtgärderna att rensa marken i grunden från organiskt material. Åtgärden har oftast utförts väl, men det har förekommit att byggspill funnits kvar även efter utfört arbete. Effekten av arbetet är stor, om stora delar av påväxten finns på marken. Den kan vara svårt att utföra åtgärden i trånga utrymmen

#### **9.5 Isolering av bjälklag**

För att förhindra material i själva bjälklaget att utsättas för fuktbelastning, kan man höja temperaturen hos de fuktkänsliga materialen. Detta kan ske genom att man på blindbottens undersida lägger ett extra lager av isolering. Detta innebär att temperaturen blir högre hos de material, som finns längre in i konstruktionen. Ett problem, som kan uppstå med denna metod, är att värmeflödet genom bjälklaget minskar och temperaturen i krypgrunden sänks, vilket kan ge upphov till förhöjda fuktnivåer.

Risken för själva bjälklaget minskar dock förutsatt att krypgrunden inte innehåller träbaserat material eller annat organiskt material, som kan utgöra grogrund för mögelpåväxt (Åberg, 1995).

#### **9.6 Utbyte av material**

En annan föreslagen åtgärd är att byta ut visa känsliga delar så som blindbotten, syll och golvbjälkar i krypgrunden till material som är tål fukt, utan att de tar skada.

Utbyte av material har utförts i samtliga av Småhusskadenämndens fall (Svensson, 2001), som studerat utom två. Enbart utbyte av material räcker dock inte som åtgärd för att skapa en fuktsäker konstruktion, men det kan vara nödvändigt att avlägsna skadat eller kontaminerat material i samband med andra åtgärder. I de studerade fallen har det varit vanligt att byta bjälklagsisolering och blindbotten, men även syllar, och annat impregnerat trä har bytts ut. I bostad har ytskikt bytts ut. Blindbotten har bytts ut då den varit angripen av mögelpåväxt, medan bjälklagsisoleringen har bytts pga. luktkontaminering. Arbetet med utbyte av material är ofta välutfört konstaterar Svensson (2001).

#### **9.7 Fungicidbehandling av material i krypgrunden**

Ett sätt att förhindra material på marken eller material i konstruktionen från att mögla är att behandla känsliga ytor med mögelhämmande medel.

Det finns ett antal objekt där metoden att behandla ytor med fungicidmedel provats. Man har vid mätningar fält dock inte kunnat dra några generella slutsatser om långtidsverkan hos fungiciderna.

Kemiskt skydd med fungicider på blindbotten kan användas men, det är osäkert hur lång tid fungiciderna verkar, vilka svampar de är verksamma mot och vilka miljökonsekvenser de kan ge.

Materialen som behandlas sitter visserligen i en skyddad miljö, men fukt kan göra att fungiciden transporteras in i träet och den mest utsatta delen blir oskyddad. Marken skall inte behandlas utan schaktas bort (Andersson, 1991)

## 10 Mikroorganismer i byggnader

Överallt omkring oss finns det en mikrobakteriell flora, vilken kan spridas till krypgrunder bl.a genom ventilationen. Organismerna kan också tillföras byggnaden, genom att material, som används vid byggandet är kontaminerade. Dessa organismer och sporer kan sedan ligga i vila för att börja växa vid rätt förhållande.

Avgörande för om bakterier skall etablera sig, växa och föröka sig, är flera faktorer. Sådana faktorer är bl.a det antal organismer som tillförts byggnadsmaterialet, den mikrobakteriella floran och olika miljöfaktorer. Framför allt fuktförhållande, temperatur, näring, förekomst av syre, tiden för de gynnsamma förhållandena samt pH- värde är sådana miljöfaktorer. Vid optimala förhållanden krävs det cirka två veckor för mögel att börja växa. Olika arter har dock olika optima och om någon av tillväxtparametrarna är mindre gynnsamma tar det betydligt längre tid (Hilling och Palmgren, 1993).

De flesta mögelarter kräver fritt vatten för att börja gro och överleva den första tiden, men kan sedan växa vid fuktkvoter under fibermättnad. Mögel som har börjat gro, kan under perioder med sämre betingelser vara i vila för att när klimatet blir det rätta åter börja växa. För att mögeltillväxt skall upphöra krävs det en period på ca 2 veckor med torrt klimat (Nevander och Elmarsson, 1994).

Bland svampar och bakterier som förekommer i byggnader och som tillexempel kan vara skadliga för människor och material, märks rötsvampar, blånadssvampar och mögelsvampar.

Bland bakterier är det bakterier tillhörande klassen Actinomyceter (tidigare kallade strålsvampar) samt släktena Bacillus och Pseudomonas, som är vanligast förekommande. Dessa svampar och bakterier, med undantag av rötsvampar, kallas för mikroorganismer eftersom deras storlek är mindre än ca 0,1mm i storlek (Hilling och Palmgren, 1993).

### 10.1 Tillväxtfaktorer för mikroorganismer

#### Fukt

För att tillväxt skall ske krävs lämplig fukthalt. Olika arter har olika behov av vatten, behovet varierar också i olika utvecklings faser. Flera studier har visat att vid konstanta fukt och temperaturbetingelser krävs en relativ fuktighet på minst ca 80 % för att tillväxt av mögelsvamp skall ske (Hallberg och Gilert 1993). Under denna kan tillväxt ske hos vissa arter. Blånadssvampar kräver minst 85 % RF för att kunna växa. För bakterier krävs RF på minst ca 80% med undantag på Aktinomyceter (mycelbildande bakterier) vilka kan växa vid något lägre RF (Hilling och Palmgren, 1993).

#### PH-värde

Olika arter gynnas av olika pH- värde i miljön. I allmänhet gynnas bakterietillväxt av svagt alkalisk miljö. Svampstillväxt gynnas av svagt sur miljö, även om olika arter kan växa inom intervallet 2-10 i pH (Träskyddshandbok, 1984).

#### Näring

Svampar och bakterier livnär sig främst på organiska ämnen och har olika förmåga att etablera sig i olika material. Näringen kan vara virkesspill, löv mm, som lämnats kvar på grundbotten. Den kan också vara blindbotten, golvbjälkarna eller en nedsmutsad betongyta. Även mineralull kan utgöra en näringskälla för mögel, detta genom att det innehåller urinämnen och mineraloljor (Hallenberg och Gilert, 1993)

Svampar utnyttjar vanligtvis cellulosahaltigt material bättre än bakterier och har därmed större benägenhet att kolonisera i trävirke. Många bakterier har å andra sidan en unik förmåga att utnyttja vissa svårnedbrytbara organiska föreningar, som andra inte kan utnyttja. Det finns också vissa bakterier, som tar sin näring från oorganiska ämnen. Mikroorganismer kan dessutom livnära sig på döda mikroorganismer (Hilling och Palmgren, 1993).

Olika organismer kan också samarbeta vid kolonisering av svårnedbrytbara material, så att de gynnar en senare kolonizatör.

### Temperatur

Svampar och bakterier kan växa inom ett stort temperatur område -5 till +80 men olika arter växer vid olika temperatur.

- Låg temperatur: psykrofila arter
- Mellan temperatur: mesofila
- Hög temperatur: termofila

Under 0 ° C avstannar tillväxten hos de flesta arter.

En höjning av temperaturen med 10° C kan öka organismens ämnesomsättning och även dess nedbrytningshastighet med en faktor två eller mer (Hilling och Palmgren 1993).

### Syre

Förekomsten av syre påverkar den biologiska floran. Organismer kan vara aerob (syrekrävande) eller anaerob (icke syrekrävande). De flesta svampar behöver syre, men det finns arter som behöver väldigt lite. Bakterier t ex Actinomycetes innefattar både anaeroba och aeroba arter. Anaeroba arter kräver ofta mer näring för att växa än aeroba, varför de aeroba har högre tillväxthastighet (Hilling och Palmgren, 1993).

## **10.2 Utveckling, överlevnad och död**

Svampar och bakterier i vilostadium aktiveras om betingelserna för tillväxt blir fördelaktiga. För att väcka organismer i vilostadiet krävs högre fuktighet än för redan aktiva. Hastigheten för tillväxt varierar mellan olika arter. Vissa kan fördubbla biomassan var tionde timma.

Tillväxt av mikroorganismer sker snabbast vid konstant gynnsamma förhållanden med avseende på bl.a fukt, näring och temperatur. (Hilling och Palmgren, 1993)

Organismer av olika slag kan överleva torra perioder. Vid minskade fuktinnehåll sker ofta en ökad produktion av sporer, för att överleva ogynnsamma förhållanden. Låg temperatur och lågt fuktinnehåll ökar överlevnaden för sporer.

Låg temperatur ökar möjligheten för överlevnad för mycel. Detta medför att risken för tillväxt är större då gynnsamma perioder avbryts av torra och kalla perioder, än om det råder konstant svagt gynnsamma förhållanden. Trots att organismen är död kan den avge skadliga ämnen under lång tid (Hilling och Palmgren 1993.07).

Mögellukt avlägsnas inte med bekämpningsmedel, utan sitter kvar trots att möglet är borta. För att få bort lukten brukar man ozonbehandla. Ozonet oxiderar ämnena, så att dessa tappar sin arom. För att få ett bra resultat skall allt bohag, med undantag för silver, naturgummi och livsmedel, exponeras och ozonbehandling måste utföras av sakkunnig.

Gaser förflyttar sig på samma sätt som vattenånga genom konvektion och diffusion. Partiklar däremot förflyttar sig med hjälp av tyngdkraft eller luftströmmar.

## **10.3 Mögel**

Mögel och blånadssvampar medför missfärgningar, men ger inte upphov till förstörelse av vedcellerna, som kan orsaka försämrad hållfasthet. Mögel och blånad kan dock vara orsak till att röta senare uppkommer pga. dessa håller kvar fukt i virket (Träskyddshandbok, 1984).

Mögel och bakterier kan producera ett stort antal flyktiga ämnen (gaser) t ex högre alkoholer, organiska syror, aldehyder och aminer. Organismerna producerar delvis olika ämnen vid påväxt på olika material, vid olika omgivnings förhållanden och under olika faser i sin utveckling. Flera av de ämnen som bildas, sprider sig lätt med luft och kan uppfattas som lukt. De har också hög penetreringsförmåga och kan t e x diffundera genom plastmaterial (plastmattor, plastfolie etc.). De

bildade ämnena fäster sig lätt i fibrösa material och t ex tyg, hår och isolerings material, vilket gör att personer som vistas i mögelskadade hus luktar mögel (Hilling och Palmgren, 1993).

Alla mögelarter avger inte aromatiska ämnen hela tiden, utan avger bara lukt under vissa stadier av sin tillväxt. Detta kan leda till, att även om man har en mögelskada så känns lukten endast periodvis (Nevander och Elmarsson, 19994).

Vissa mikroorganismer kan alstra giftiga produkter t ex Mykotoxiner (svampgifter) och bakterietoxiner (framför allt endostoxiner men även exotoxiner). Toxiner kan enligt nuvarande kunskap, endast tillföras rumsluften i partikelbunden form (Hilling och Palmgren, 1993).

#### **10.4 Röta**

Rötsvamparna kräver högre fukthalter än mögel för att sporerne skall börja gro. Därefter kan de klara sig på lägre fukthalter. Rötsvampar bryter ner cellulosa och i vissa fall även lignin i trä och orsakar därmed hållfasthetsnedsättning i virke. Andra svampar, och även bakterier, kan under mycket fuktiga förhållanden orsaka s.k. softrot i virke med hållfasthetsförsämring som följd (Träskyddshandbok, 1984).

Rötsvampar har sitt tillväxtoptimum, när fuktkvoten i träet ligger på 40-80 % och temperaturen på 25-32° C, men tillväxt är möjlig vid temperatur mellan 0-40° C. Ett stort antal arter är dock anpassade till förhållanden utanför dessa gränser tex. hussvampen. Torrt virke fuktkvot under 20 % och helt vattenmättat virke angrips inte.

När hyferna växer och förgrenar sig bildas ett mycel. Tillväxten kan ske inne i veden eller på dess yta. Vissa arter, som tex. Hussvampen, kan med hjälp av detta mycel transportera fukt och näring långa sträckor över torra områden.

Hyfer utsöndrar under sin tillväxt kemiska substanser, enzymer, som gradvis bryter ner trädets huvudstruktur, cellulosa och lignin. Olika rötsvampar angriper olika delar av träet. Vid angrepp av s.k. brunröta, lämnas ligninet orört och endast cellulosan angrips. Träet får en brun färg och spricker upp i en struktur av kuber. Vid dessa angrepp avtar hållfastheten mycket snabbt. Flera av våra vanligaste och mest aggressiva rötsvampar är brunrötsvampar.

Hussvampen angriper virke med fuktkvoter mellan 20-55 % och i temperatur intervallet 3-26 ° C. Den växer med 4-5 mm per dygn, tål frost och långvarig uttorkning. Mycelet dör om det under en längre tid utsätts för en temperatur högre än 40 ° C. Hussvampen uppträder framför allt i fuktiga utrymmen med ringa ventilation. Den vanligaste förekommande rötsvampen i huskonstruktioner är källarsvampen. Den kan inte själv transportera fukt genom mycelet, varför den endast växer över det område fukten finns.

Tecken på rötangrep förutom synlig skada kan vara:

- Unken obehaglig lukt
- Missfärgning av träet
- Flagnade färg och tilltagande sprickbildning
- Fuktfläckar på väggar, i tak etc.
- Sviktande golv
- Riklig förekomst av gråsuggor, silverfiskar, spindlar, damm och boklöss, som alla trivs i fuktiga utrymmen.

Ett säkert tecken på ett aktivt angrepp av svampen är dess rödbrunna sporer som kan täcka olika ytor. Impregnerat trä angrips inte av rötsvamp men väl av mögelsvampar. (Träskydd information 1981:1)

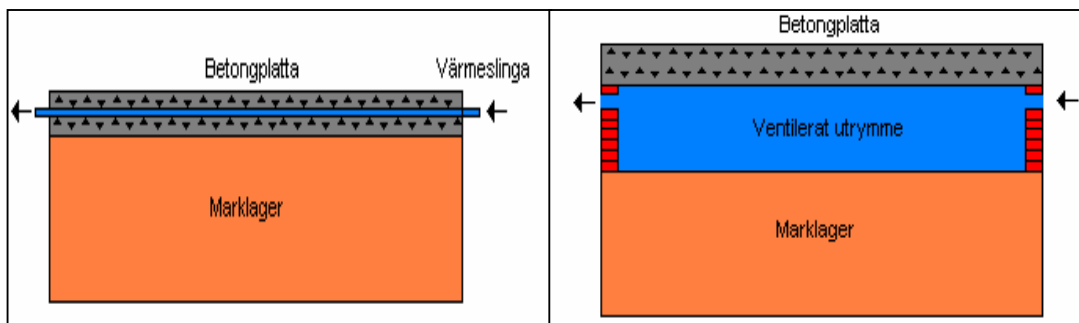
### **10.5 Skadlighet för människor**

”Mögelhalter i svenska bostäder är vanligen inte så höga, att halten anses kunna medföra risk för utveckling av allergi hos normalt friska personer, Hallenberg och Gilert (1993). I inomhusmiljön i svenska bostäder förekommer framför allt andra allergen t ex från husdammskvalster och pälsdjur. Dessa allergen är betydligt mer potenta än allergen från mögel. En påvisad allergiökning hos befolkningen har påvisats för allergen från kvalster och pälsdjur. Ett sådant samband har inte visats för allergen från mögel”

”En internationell kartläggning av inomhusmiljön och samband med astma och annan överkänslighet har utförts av folkhälsoinstitutet. I den studien konstaterar Sundell och Kjellman (1994) att det inom det mikrobiologiska området föreligger mättekniska svårigheter att ta fram kunskap om vilka mögelarter som har betydelse. Det saknas kunskap om vilken agens (sporer, toxiner, glukaner, mikrobiella ämnen mm), som från ett hälsoperspektiv är av betydelse. Det har hitintills inte kunnat fastställas några gränsvärden för sporhalter och ämnen avgivna från mikroorganismer t ex flyktiga ämnen i inomhusluften. Enligt Socialstyrelsen är kriterierna för sanitär olägenhet i befintliga bostäder att kraftig mögellukt eller synligt mögelpåväxt förekommer, Socialstyrelsen (1984)”, (Andersson 1995).

## 11 Beskrivning av simuleringsmodell

För att studera hur olika tekniska lösningar påverkar klimatförhållandena i krypgrunder, har en matematisk modell av ett kryputrymme använts. Modellen är ursprungligen skapad av Tekn Dr. Mao Goufeng för att studera ett golvvärmesystem i en platta på mark. Modifiering av modellen för att studera ett kryprum har gjorts genom att ersätta golvvärmeslingorna med ett ventilerat utrymme under betongplattan. En principskiss hur anpassningen av modellen har gjorts visas i figur 4 och 5.



Figur 4. Ursprunglig modell med golvvärme.

Figur 5. Modifierad modell för kryputrymme.

### 11.1 Fourierserier och temperatursvängningar

Modellen som används vid simuleringarna bygger på att temperatursvängningar kan beskrivas som harmoniska svängningar med hjälp av Fourier serier. För djupare studier av Fourierserier se läroböcker i matematik exempelvis Differential Equations av Zill och Cullen 1997.

Temperaturkurvor som kan beskrivas som sinus- eller cosinussvängningar i tiden kallas för harmoniska. Svängningar som inte är harmoniska, kan transformeras om till summor av harmoniska svängningar med hjälp av Fourierserier.

Anledningen till att temperaturen skrivs om till harmoniska svängningar är att dessa har sådana egenskaper att de vid en given frekvens kan uttryckas med ett komplext tal, vilka anpassar den ursprungliga svängningen till en bassvängning. För att göra denna anpassning måste man bestämma vilken period som skall studeras. I detta arbete studeras temperaturförloppet i ett kryprum under ett års cykler dvs. tolv månader.

#### Anpassning av temperatur till harmonisk svängningar.

Icke harmoniska svängningar anpassas till harmoniska svängningar genom att den studerade svängningen delas upp flera harmoniska signaler med olika frekvenser där amplitud och fas bestäms av s.k. Fourierkoefficienter. Uppdelningen av signalen på flera frekvenser medför att den skapade harmoniska svängningen anpassas bättre till den givna temperaturkurvan och risken för att eventuella toppar missas, minskar.

Anpassningen av den given temperaturkurva till en summa av harmoniska svängning görs genom att varje temperaturavläsning  $U_{t_j}$  multipliceras med cosinus och sinus och varieras med frekvenserna  $\omega_{n_j}$  varpå man erhåller Fourierkoefficienterna  $aU_{t_n}$  och  $bU_{t_n}$ . Resultatet av variationerna över de olika frekvenserna  $\omega_{n_j}$  summeras och delas upp på antalet frekvenser. Med hjälp av denna omskrivning kan temperaturen skrivas på komplex form med en riktning och en amplitud. Se figur 6. Index  $j$  är antalet givna temperaturer.

Beräkning av Fourier koefficienterna  $aU_{t_n}$  och  $bU_{t_n}$  för ett år med månadsvisa värden.

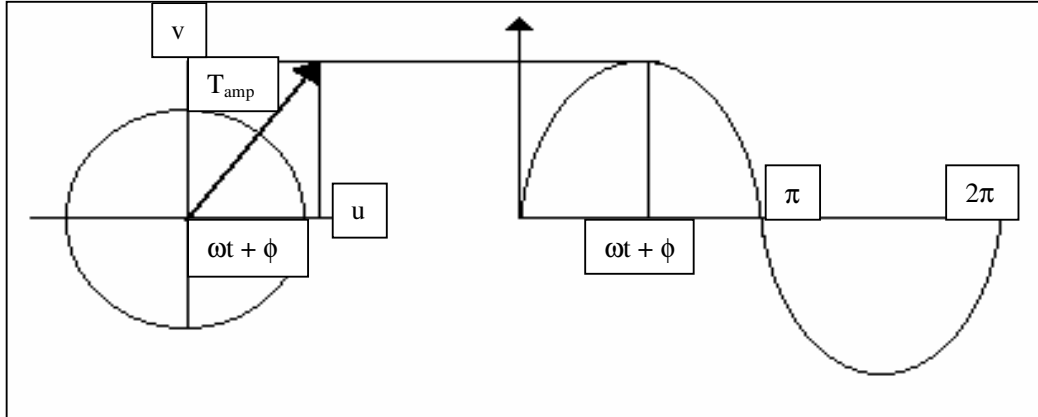
$$aU_{t_n} := \frac{2}{12} \sum_{j=0}^{11} U_{t_j} \cdot \cos(\omega_{n_j}) \qquad bU_{t_n} := \frac{2}{12} \cdot \sum_{j=0}^{11} U_{t_j} \cdot \sin(\omega_{n_j})$$

Index n är antalet frekvenser  $\omega$

$$n := 0..6 \quad \omega_n := n \cdot 2 \cdot \frac{\pi}{12}$$

Indelning av året i olika frekvenser  $\omega$  i enheten radianer / sekund vilket sker enligt formel nedan.

$$\omega_{y_n} := \frac{n \cdot \pi}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \quad \text{rad/s}$$



Figur 6. Figuren ovan visar hur en harmonisk svängning kan uttryckas i det komplexa planet.

Efter att de ursprungliga temperaturerna varierats över de olika frekvenserna skapas ett årsmedelvärde ( $aU_{t_0}$ ) genom att resultaten av de olika temperaturerna summeras.

Den transformerade temperaturkurvan ( $Utf_j$ ) ges sedan dels av årsmedelvärdet ( $aU_{t_0}$ )/2 samt summan av Fourierkoefficienterna  $aU_{t_n}$  och  $bU_{t_n}$ , för varje given temperatur, vilka varierats över de olika frekvenserna  $\omega$ .

Den transformerade temperatursvängningen ges av sambandet.

$$Utf_j := \frac{aU_{t_0}}{2} + \sum_{n=1}^6 (aU_{t_n} \cdot \cos(\omega_n \cdot j) + bU_{t_n} \cdot \sin(\omega_n \cdot j))$$

## 11.2 Dynamiska temperaturberäkningar.

Vid många temperaturberäkningar gör man antagandet och förenklingen att temperaturen momentant ställer in sig till en temperaturändring, genom att bortse från värmekapaciteten. I verkligheten är dock temperaturförändringar dynamiska vilket innebär att temperaturförändringar inte sker momentant. Materialens värmekapacitet medför att de har en tröghet mot temperaturförändringar eftersom en viss del av värmen lagras i materialet.

För att ta hänsyn till värmekapaciteten i modellen, skapas för varje ingående material i en konstruktionsdel, en kvadratisk matris bestående av fyra element. Matrisen är uppbyggd av transmittansen och admittansen för varje sida om materialet samt temperatur ( $v$ ) och värmefflöde ( $q$ ) på vardera sidan. Samtliga ingående parametrar är omskrivna till det komplexa talplanet. För utförligare beskrivning av metoden se Lectures on Buildings Physics (Jóhannesson, 1999).

Matris för dynamisk temperatursvängning:

$$\begin{bmatrix} \tilde{v}_{si} \\ \tilde{q}_{si} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{v}_{so} \\ \tilde{q}_{so} \end{bmatrix}$$

Elementen i matrisen består av admittansen (A och D) vilken beskriver hur mycket värme som lagras i byggnadsdelen och transmittansen (B och C) beskriver hur stort värmeflödet är. Värmediffusiviteten (a) beskriver hur snabbt ett material eller en konstruktion anpassar sig till omgivande temperaturförhållanden. Värmediffusiviteten beror på materialens lambda-värde ( $\lambda$ ), densitet ( $\rho$ ) och specifika värmekapacitet (c).

Respektive element i matrisen består av:

$$\begin{aligned} A_i &= \cosh((1+i) \cdot \kappa_i \cdot l_i) \\ B_i &= \frac{-\sinh((1+i) \cdot \kappa_i \cdot l_i)}{\lambda_i \cdot (1+i) \cdot \kappa_i} \\ C_i &= -\lambda_i \cdot (1+i) \cdot \kappa_i \cdot \sinh((1+i) \cdot \kappa_i \cdot l_i) \\ D_i &= \cosh((1+i) \cdot \kappa_i \cdot l_i) \end{aligned}$$

De olika koefficienterna ges av:

Värmediffusivitet	$a = \lambda / \rho \cdot c$	$m^2/s$
Värmeledningsförmåga	$\lambda$	$W/m \cdot K$
Densitet	$\rho$	$kg/m^3$
Värmekapacitet	$c$	$J/kg \cdot K$
Längdutvidgningskoefficient	$\kappa_i = \sqrt{(\omega y_n / 2 \cdot a)}$	$\sqrt{rad/m}$
Frekvens	$\omega y_n$	$rad/s$

Lager som enbart är resistiva, tex. värmeövergångsmotstånd vid ytor, representeras av en matris med värmeövergångsmotstånden vid respektive in ( $R_{si}$ ) och utsida ( $R_{se}$ ) se matris nedan.

$$\begin{bmatrix} A_k \\ B_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I en konstruktion bestående av flera skikt får varje ingående material en motsvarande matris. Genom att multiplicera samman matriserna fås den totala transmittansen och admittansen för en byggnadsdel. Se nedan.

$$\begin{bmatrix} A_k & B_k \\ C_k & D_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{n-1} & B_{n-1} \\ C_{n-1} & D_{n-1} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}$$

Genom elementära matrisoperationer kan matrisen skrivas om så att man istället för temperatur och flöde får en funktion för temperatur eller flöde. Se matrisen nedan.

$$\begin{bmatrix} \tilde{q}_{si} \\ \tilde{q}_{so} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & F \\ G & H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{v}_{si} \\ \tilde{v}_{so} \end{bmatrix}$$

Där:  $E = D/B$   $F = C - DA/B$   $G = 1/B$  och  $H = -A/B$

$$\text{Transmittans} \quad Fb_n := Cb_n - Db_n \cdot \frac{Ab_n}{Bb_n} \quad W/m^2 \cdot K$$

$$\text{Admittans} \quad Eb_n := \frac{Db_n}{Bb_n} \quad W/m^2 \cdot K$$



## 12 Beräkningsgång vid simulering

Alla ingångstemperaturer (månadsmedelvärden) skrivs om till harmoniska svängningar genom Fourier transformen vilket beskrivs i avsnitt 7.1. Kända ingångstemperaturer är: temperatur på luften ute och inne, samt temperaturen sex meter ner i marken. I de fall när en värmekälla simuleras i krypgrunden transformeras också energitillskottet på motsvarande sätt som temperaturerna med hjälp av Fourierserier. Efter att temperaturerna transformerats beräknas de olika byggnadsdelarnas dynamiska värme genomgångsmotstånd och värmekapaciteter vilket beskrivs i avsnitt 7.2.

När temperaturerna transformerats och matriserna för byggnadsdelarna beräknats ställs en värmebalans upp för krypgrunden, ur vilken man löser ut temperaturen på bjälklagsyta, markyta och kryprumsluft. Värmebalansens uppbyggnad beskrivs i nästa avsnitt 8.1.

Efter att temperaturerna tagits fram beräknas krypgrundens fuktförhållande vilket beskrivs i avsnitt 8.2. Kryprumsluftens ånghalt fås genom att ställa upp en fuktbalans bestående av fuktflödet genom ventilation, mark och genom bjälklag. Den relativa fuktigheten i kryprumsluften, mark- och bjälklagsyta fås sedan med hjälp av de beräknade temperaturerna, deras mätnadsvärden samt den framräknade ånghalten i kryprummet.

### 12.1 Värmebalans

Värmebalansen är uppställd kring en punkt mitt inne i krypgrunden och består av tre värmebalans ekvationer (A, B och C). Se figur 7. Ekvation A ger flödet genombjälklaget, vilken består av strålningsutbytet mellan bjälklagsyta och grundbottenyta (ekvation 4), konvektion mellan bjälklagsyta och kryprumsluft (ekvation 2) samt transmission genom bjälklaget (ekvation 3) med hänsyn tagen till värmekapaciteten, vilket beskrivs i avsnitt 7.2.

Ekvation B ger värme flödet genom mark och markyta. Denna består av strålningen mellan grundbottenytan och undersida bjälklag (ekvation 4), konvektion mellan grundytan och kryprumsluft samt transmissionen genom marken (ekvation 3), med hänsyn tagen till värmekapacitet.

Den tredje och sista värme ekvationen C, består av konvektionen mellan kryprumsluften och bjälklags- och grundbottenytan (ekvation 2) samt konvektionen mellan uteluft och kryprumsluft genom ventilationen (ekvation 1).

Ekvationerna som används för att beräkna de olika flödena i värmebalansen beräknas ur följande uttryck:

Ekvation 1. Värme konvektion genom kryprumsventilation beräknas ur:

<b>Värme konvektion</b>	$h_v = Lk \cdot \rho_c \cdot c_{pl} \cdot (T_1 - T_2)$	$W/m^2$
Densitet luft	$\rho_c = 1,23$	$kg/m^3$
Specifik värmekapacitet	$c_{pl} = 1008$	$W/kg \text{ } ^\circ C$
Ventilationsflöde	$Lk = v_k \cdot nl$	$m^3/s$
Krypumsvolym	$v_k = Ak \cdot H_k / Ak$	$m^3/m^2$
Antal omsättningar	$nl = oms / 3600$	$oms/s$

Ekvation 2. Värme konvektion mellan ytor och luft beräknas ur:

<b>Värme konvektion</b>	$q_k = hca \cdot (T_1 - T_2)$	$W/m^2$
Värmeövergångskoefficient konv	$hca = 2 \cdot dt \cdot 0.25$	$W/m^2 \cdot K$
Temperaturdifferens ytor	$dt = 2$	$^\circ C$
Temperatur på ytan	$T_1$	$^\circ C$

Ekvation 3. Värmeflödet genom bjälklaget beräknas ur:

<b>Värmetransmission</b>	$q_t = (Eb \cdot T_1 + Fb \cdot T_2)$	$W/m^2$
Admittansen	$Eb$	$W/m^2 \cdot K$
Transmittansen	$Fb$	$W/m^2 \cdot K$
Temperatur i ytan	$T_1$	$^{\circ}C$
Temperatur på luften	$T_2$	$^{\circ}C$

Vid statiska beräkningar blir Admittansen och transmittansen lika

Ekvation 4. Värmeövergång genom strålningsutbytet mellan ytorna beräknas ur:

<b>Värmestrålning</b>	$q_r = hr \cdot (T_m - T_s)$	$W/m^2$
Temperatur på ytan	$T_s$	$^{\circ}C$
Motstrålande temperatur	$T_m$	$^{\circ}C$
Värmeövergångskoefficient strål	$hr = 4 \cdot \epsilon a \cdot \sigma \cdot t_{med}^3$	$W/m^2 \cdot K$
Stefan Boltzmanns konstant	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$	
Emissionstal	$\epsilon a = 0.9$	
Medeltemperatur vid beräkning	$t_{med} = 10 + 273$	$^{\circ}C$

Med hjälp av de olika ekvationerna ställs sedan värmebalansen med värmeflödena genom de olika ytorna upp.

Ekvationerna för kryppgrundens värmebalans:

**A. Värmebalans För bjälklag**

$$hr \cdot (t_{b_0} - t_{gy_0}) + hca \cdot (t_{b_0} - t_{l_0}) - (Eb_0 \cdot t_{b_0} + Fb_0 \cdot t_{l_0}) - q_{r_0} = 0$$

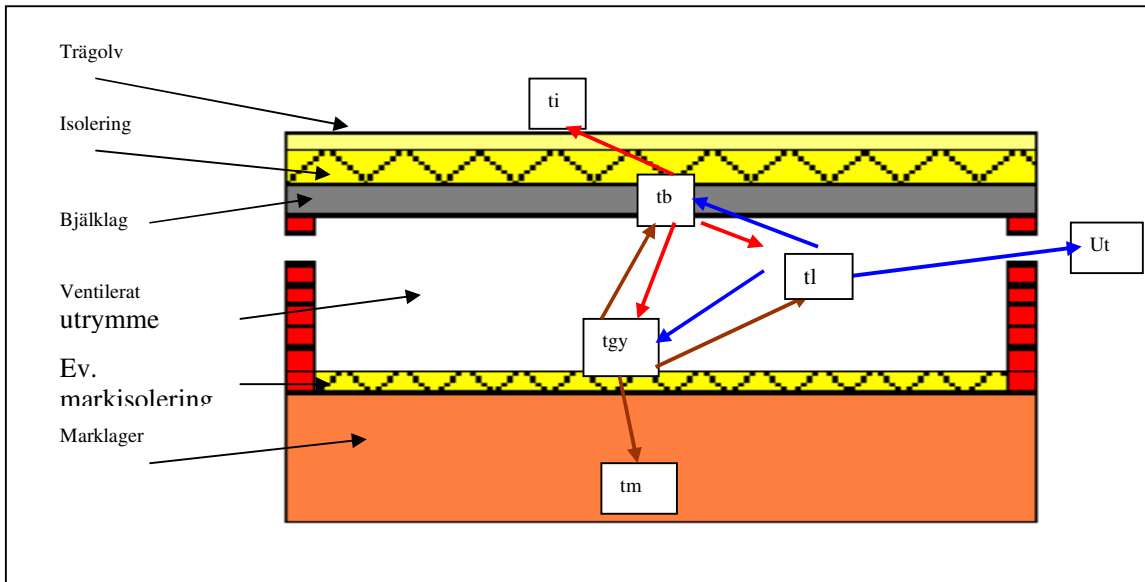
**B. Värmebalans För markyta**

$$hr \cdot (t_{gy_0} - t_{b_0}) + hca \cdot (t_{gy_0} - t_{l_0}) - (Em_0 \cdot t_{gy_0} + Fm_0 \cdot t_{m_0}) = 0$$

**C. Värmebalans För luften I**

$$hca \cdot (t_{l_0} - t_{gy_0}) + hca \cdot (t_{l_0} - t_{b_0}) + hv \cdot (t_{l_0} - t_{u_0}) - Lk \cdot \rho l \cdot cpl \cdot (U_{t_0} - t_{l_0}) = 0$$

Samtliga ekvationer är ställda under antagandet att värmeflödet går från krypprummets ut genom byggnadsdelar och via ventilation. Vid simuleringarna är temperaturen på uteluft, inneluft samt markens temperatur på 6 meters djup givna. Temperaturen på undersida bjälklag ( $t_b$ ), grundyta ( $t_{gy}$ ) och luften ( $t_l$ ) i krypprummet fås genom att lösa ut dessa ur värmebalansens ekvationssystem, vilket görs genom matrisoperationer.



Figur 7. Principskiss för krypprummets värmebalans.

Konstruktionen består av ett bjälklag i tre olika materialskikt, ett ventilert utrymme samt marken där det finns möjlighet att lägga på eventuell markisolering eller marktäckning. Se figur 7.

### Tillskottsvärme

Simulering av en värmekälla i krypgrunden görs genom att tillsätta en extra parameter för värmeenergi i ekvationen för bjälklaget i värmebalansen. Tillskottsvärmen transformeras även den på motsvarande sätt som temperaturerna.

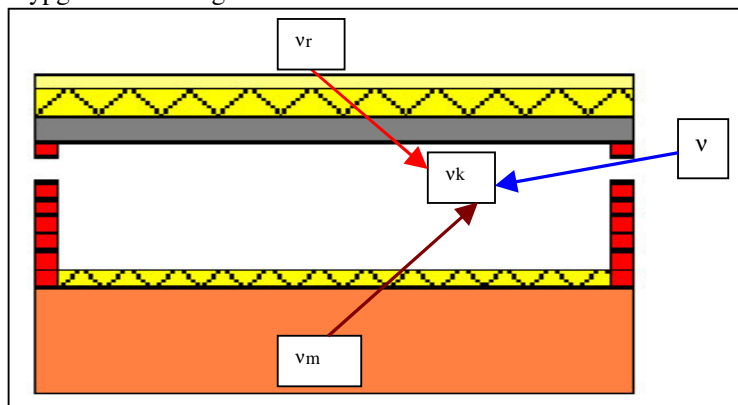
$$Q_{rj} := \frac{Q_{rj}}{100} \quad \text{W/m}^2 \quad \text{Tillförd värme effekt}$$

Den totala tillförda värmeenergin under hela året beräknas enligt:

$$Q_{tot} := \sum Q_{rj} \left( 24 \cdot 30 \cdot \frac{100}{1000} \right) \frac{\text{KWh}}{\text{år}}$$

## 12.2 Fuktbalans

Efter att temperaturerna beräknas ställs en fuktbalans upp kring krypgrundens mitt, även denna består av tre ekvationer. En för fuktflödet genom bjälklaget, en för markavdunstningen samt en för fuktflödet genom ventilationen. Samtliga ekvationer är uppställda under förutsättning att fuktflödet går in till krypgrunden. Se figur 8.



Figur 8. Principskiss över fuktbalansen för krypgrunden.

De olika flödena i fuktbalansen beräknas ur följande ekvationerna:

### Fukthalt i inneluft

Fukthalten hos inneluften beräknas med hjälp av aktuell ånghalt hos ventilationsluften (uteluften) samt fuktproduktionen inomhus.

Ekvation 5. Fukthalt i inneluft beräknas ur:

<b>Ånghalt i inneluft</b>	$v_i = v + gr / (nr * V)$	kg/s
Ånghalt uteluft	$v$	kg/m <sup>3</sup>
Fuktproduktion	$gr = G / 3600$	kg/m <sup>3</sup> *s
Fuktproduktion inneluft	$G = 0.004$	kg/m <sup>3</sup>
Rumsvolym	$V = 2.50$	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Luftomsättning	$nr = 0.5 / 3600$	oms/s

### Fuktdiffusion

Fuktdiffusion genom bjälklaget beräknas med hjälp inneluften ånghalt, kryprummets ånghalt samt bjälklagets ånggenomgångsmotstånd.

Ekvation 6. Fuktflöde genom bjälklag beräknas ur:

<b>Fuktflöde genom bjälklag</b>	$G = (v_r - v_k) Ab / \sum Z$	kg/s
Ånghalt inne	$v_r$	kg/m <sup>3</sup>
Ånghalt kryprum	$v_k$	kg/m <sup>3</sup>
Ångtäthet	$Z = l / \delta$	s/m
Diffusionsmotstånd	$\delta$	m <sup>2</sup> /s
Materialtjocklek	$l$	m

Flerskiktsskonstruktioners ångmotstånd beräknas enligt

$$\sum Z = l / (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n) \text{ m/s}$$

### Markavdunstning.

Markavdunstningen beräknas under antagandet att marken har 100 % RF (vilket rekommenderas i fukthandboken) vid den temperatur som råder. I fallen med marktäckning bestäms fuktflödet från marken dels av den täckta delen av marken och dels den del av marken som antas vara otäckt. Markavdunstningen under marktäckningen bestäms av markytans temperatur.

Ekvation 7. Fuktflöde genom markavdunstning beräknas ur:

<b>Fuktflöde genom markavdunstning</b>	$G_m = Aom * \beta m * (v_m - v_k)$	kg/s
Andel otäck mark	$Aom$	m <sup>2</sup>
Ånghalt i marken	$v_m$	kg/m <sup>3</sup>
Ånghalt i kryprumsluft	$v_k$	kg/m <sup>3</sup>
Ångövergångskoefficient	$\beta m = hca / (cpl * \rho l)$	m/s
Värmeövergångsmotstånd konv	$hca$	W/m <sup>2</sup> *K
Luftens specifika värmekapacitet	$cpl$	J/kg*K
Luftens densitet	$\rho l$	kg/m <sup>3</sup>

### Fuktkonvektion

Fukttransport genom ventilationen av kryprummet beräknas genom ånghalten i uteluften, kryprummets ånghalt och ventilationsomsättningen.

Ekvation 8. Fuktflöde genom konvektion beräknas ur:

<b>Konvektion genom ventilationsluft</b>	$G_l = A_v * L_k * (v - v_k)$	kg/s
Ventilationsflöde	$L_k = v_k * n_l$	m <sup>3</sup> /s
Ånghalt uteluft	$v$	kg/m <sup>3</sup>
Ånghalt kryprum	$v_k$	kg/m <sup>3</sup>
Yta	$A_v = l$	m <sup>2</sup>

Fuktbalansen för krypgrunden består av tre ekvationer och ser ut enligt nedan:

$$A_b / \sum Z * (v_r - v_k) + A_{om} * \beta_m * (v_m - v_k) + A_v * L_k * (v - v_k) = 0$$

Ånghalten i kryprummet fås sedan genom att  $v_k$  löses ut ur fuktbalansen. Ekvationen får då följande utseende:

$$v_k = \frac{[A_{om} * \beta_m + (1 - A_{om}) * \frac{v_m}{Z_m} + v_r * \frac{A_b}{Z_b} + A_v * L_k * v]}{A_{om} * \beta_m + \frac{A_b}{Z_b} + A_v * L_k + \frac{(1 - A_{om})}{Z_m}}$$

Efter att luftens fukttinnehåll i kryprummet beräknats erhålls RF för de olika ytorna med hjälp av temperaturerna från värmebalansen.

Relativfuktighet ( $\varphi$ ) definieras som kvoten mellan luftens aktuella fukttinnehåll ( $v$ ) och mättnadsvärdet ( $v_s$ ) för den givna temperaturen ( $T$ ).

Och beräknas ur:

$$\varphi = \frac{v}{v_s(T)}$$

Luftens mättnadsånghalt vid olika temperaturer beräknas i modellen med hjälp av formel I som finns beskriven i kompendiet LIBPh 1999. Beroende på om temperaturen är högre eller lägre än 0 °C gäller olika formler. Se nedan.

$$v_{sat} = \frac{288,68 * (1,098 + T / 100)^{8,02}}{(T + 273,15) * 461,51} \quad \text{för } T > 0$$

$$v_{sat} = \frac{4,689 * (1,489 + T / 100)^{12,3}}{(T + 273,15) * 461,51} \quad \text{för } T < 0$$

### Avfuktning

I de fall när avfuktning simuleras i grunden tillåts inte kryprumsluften ha högre RF än 75%. Först beräknas RF för kryprumsluften som vanligt. Under de månader som avfuktningen sker tas den mängd fukt som överstiger 75 % RF bort ur fuktbalansen. Därefter beräknas RF för de olika ytorna som vanligt. Skillnaden mellan aktuell RF och den bestämda högsta nivån på RF avgör sedan avfuktarens kapacitet. Någon begränsning av avfuktningens mängd görs inte i modellen utan avfuktarens kapacitet bestäms av behovet.

### 12.3 Avfuktarens funktion

Det finns två huvudtyper av avfuktningmetoder. Dels kondenseringsmetoden och dels sorptionsmetoden, vilken används i detta arbete.

#### Kondenseringsmetoden

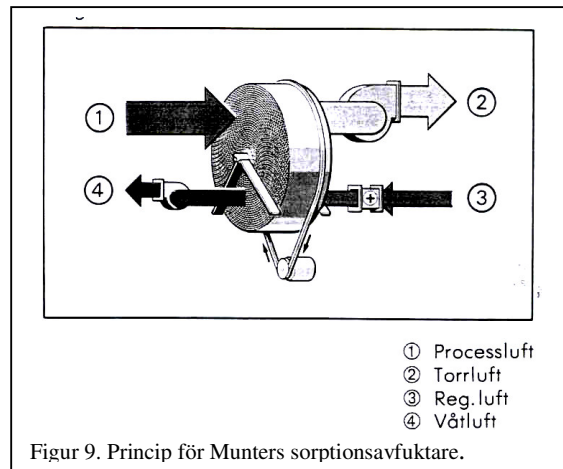
Vid kondenseringsmetoden kyls luften till en temperatur understigande daggpunkten varvid fukten kondenserar ut. Kylningen av luften kan åstadkommas med en kylkompressor. Metoden fungerar bra då den avfuktade luftens tillstånd skall ligga mellan 10- 40 °C och RF mellan ca 60-90 % (Munters 1993). Nackdelen med kondensationsavfuktaren är att kapaciteten är starkt beroende av temperaturen. Vid minskad temperatur minskar även avfuktningsskapaciteten.

#### Sorptionsmetoden

Vid sorptionsavfuktning binds fukten i ett hygroskopiskt ämne. Därvid frigöres ångbildningsvärmets varför temperaturen stiger. Metoden fungerar lika bra vid alla lufttillstånd. Det finns flera typer av absorbenter tex Litiumklorid som används i Munters avfuktare vilket är vanligast vid dynamisk avfuktning. Vid statisk avfuktning används kiselgel varvid torkmedlet placeras i påsar eller säckar. Då kiselgelets fuktupptagningsförmåga utnyttjas måste den bytas ut mot ny eller regenereras.

Munters avfuktningss metod fungerar enligt följande sätt:

Den luft som skall avfuktas blåses axiellt genom en rotor med en struktur som bildar smala luftkanaler. Väggarna i strukturen är impregnerade med litiumklorid som absorberar fukt i luften. Rotorn roterar sakta, ca 10 varv/ timma. En mindre sektor genomblåses i motsatt riktning av en liten varmluftström som värmer upp rotor materialet och dess salt varvid fukten avgår och bortföres med luften. Principen för Munters sorptionsavfuktare redovisas i figur 9.



Figur 9. Princip för Munters sorptionsavfuktare.

### 12.4 Klimatdata

Klimatdata som används vid simuleringarna är hämtade ur Fukthandboken (Nevander och Elmarsson, 1994). I denna finns temperatur, ånghalt och relativfuktighet redovisade för tio orter i Sverige under perioden 1961 till 1990. Tabellerna redovisar för varje ort förutom dygns, 5-dygns och månads värden även fraktilerna 5 %, 50 % och 95 %. Dygns medelvärden används för att beräkna snabba fuktförlopp som ytkondensering. För långsamma förlopp t ex fukttransport inuti konstruktioner kan man använda sig av 5-dygns eller månadsvärden. (Nevander och Elmarsson, 1994)

Fuktförloppen som studeras i detta arbete, sker under hela året och är således långsamma, varför månads värden används vid beräkningarna. Orten som används för beräkningarna är Bromma.

Den undre 5 % fraktilen representeras av kallt och torrt klimat, den övre 95 % fraktilen ges av varmt och fuktigt klimat medan 50 % fraktilen är medelvärden för både fukt och värme. Genom att kombinera fraktilsvärdena för temperatur och ånghalt kan man skapa ogynnsammare förhållanden än vad som normalt förekommer. Detta görs eftersom konstruktionen måste klara av perioder då klimatet är värre än normalt.

Vid simuleringarna av olika konstruktions typer och olika åtgärderna användes 50 % fraktilen för temperatur vilket innebär ett normal varmt år. För luftens relativa fuktighet användes 95 % fraktilen

vilket innebär ett fuktigare klimat än normalt. Det skall sägas att det finns kombinationer som ger ett klimat som är gynnsammare för mögel tillväxt.

### Marktemperatur

Markens temperatur är satt till 6,3°C 6 meter ner under huset vilket är medeltemperaturen för Bromma under perioden 1961-1990.

### Innelufts temperatur

Inne temperaturen har satts till 20°C under oktober till april, 21°C i maj och september och 22°C under juni till augusti. Innetemperaturen är beroende av byggnaden utformning ovanför bjälklaget. I den modell som används vid simuleringarna tas inte denna del av byggnaden med utan innetemperaturen är satt godtyckligt, utgående från rekommenderad innetemperatur och en viss höjning av temperaturen under sommaren.

Bjälklagen som används i simuleringarna är relativt välisolerade vilket innebär att värmeflödet genom bjälklaget inte blir särskilt stort. En ändring av innetemperaturen från 22 °C till 24 °C under juni-augusti höjer endast krypprummets temperatur endast med 0,3 °C. Den innetemperatur som används vid simuleringarna ligger inom det intervall som normalt råder i bostads hus.

### Ventilation

Vid simuleringarna har ventilationen antagits vara konstant. Detta beror dels på att modellen som används vid simuleringarna innebär svårigheter att kombinera variabla parametrar. En annan anledning till valet av konstant ventilation är att varierad ventilation skulle kräva någon form av styrning. Detta skulle innebära kostnader för investeringar och drift av fläktar mm.

För att skapa så enkel och billig lösning som möjligt har därför lösningar med kombinationer varierad ventilation och värme eller avfuktare inte studerats. Hur varierad ventilation påverkar klimatet i krypgrunder har bl.a studerats av Kurnitski (2001) och slutsatserna av dessa är att enbart en lösning med varierad ventilation och marktäckning inte räcker för att förhindra att mögel kan uppstå. Detta gäller speciellt när bjälklagen är välisolerade.

I Svenssons Lic. avhandling (2000) finns bl.a studier av ventilationens omfattning i naturligt ventilerade krypgrunder, omsättningen var mellan 0,5 och 1,1 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>\*h).

Vid simuleringarna i detta arbete har omsättningen valts till 0.5 oms/h eftersom dagens krypgrunder är dimensionerade enligt byggnormen för detta. Tester gjorda i den egna modellen med en ökning från 0,5 oms/h till 1 oms/timme visar att RF och temperatur inte påverkas särskilt mycket. En ökning av ventilationen innebär snarare en försämring av klimatet varför en omsättning på 0,5 valdes i samtliga fall.

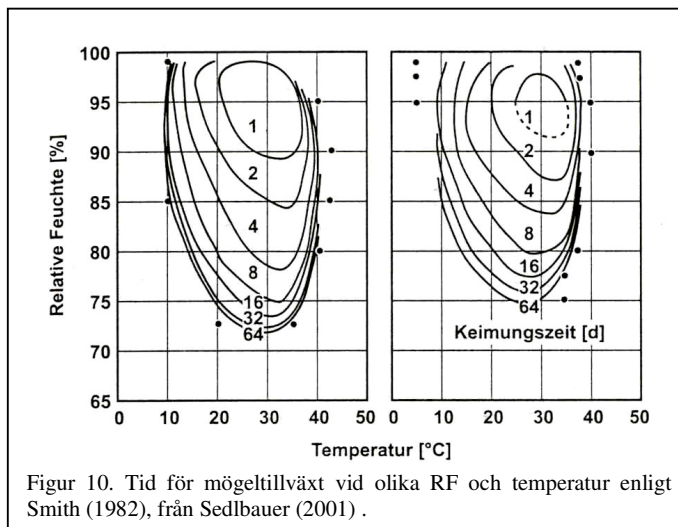
### **12.5 Materialdata**

Materialdata som används vid simuleringarna är tills största delen hämtade ur kompendiet Lectures in Buildings Physics (Jóhannesson 1999) samt i några fall ur Fukthandboken (Nevander och Elmarsson, 1991).

### 12.6 Tid för mögeltillväxt

Ett problem som finns vid simuleringar är att avgöra hur stor risken för mögelpåväxt är. För att mögel skall börja gro krävs att gynnsamma förhållanden råder under en vis tid. Vid simuleringar måste man anta vid att vissa förhållanden råder en vis tid medan verkligheten varierar förhållandena hela tiden. Problemet är att veta hur väl det antagande man gör stämmer med verkligheten.

Idag finns ingen riktigt bra modell för att beräkna hur lång tid det behövs för att mögelpåväxt skall uppstå under vissa betingelser. Smith (1982) har undersökt tidsfaktorers betydelse under olika klimat förhållanden är. Diagrammen i figur 10 visar att mögel kan börja växa vid RF nivåer på ca 75 % och 25 till 30 °C. För att detta skall ske måste dock dessa förhållanden råda under ca 64 dagar.



Figur 10. Tid för mögeltillväxt vid olika RF och temperatur enligt Smith (1982), från Sedlbauer (2001) .

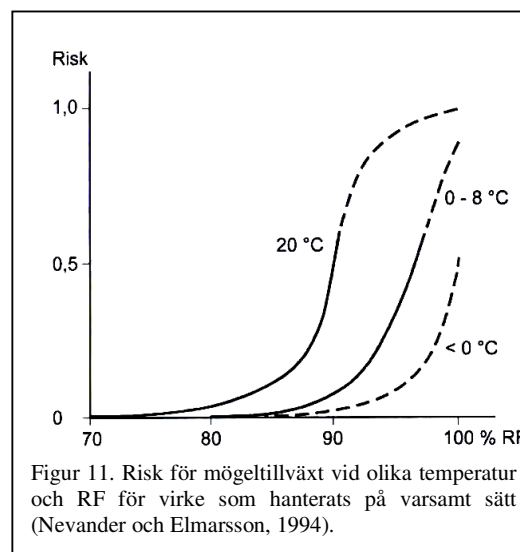
### Risikfunktion för uppskattad mögelrisk

I fukthandboken (Nevander och Elmarsson 1991) finns en metod för att uppskatta risken för att mögelpåväxt skall uppstå. Se figur 11.

En skala från 0-1 som beskriver risken för att mögeltillväxt på y-axeln och den relativ fuktighet på x-axeln. Risken för att mögeltillväxt beror även av temperatur och i diagrammet finns kurvor för 20 °C, 8 °C och 0 °C.

I simuleringsprogrammet finns denna riskfunktion inlagd. Eftersom det inte finns någon exakt funktion till de givna kurvorna i fukthandboken har funktionen skapats med hjälp av kurvanpassningsfunktionen Ispline i Mathcad.

I diagrammet finns endast tre temperaturkurvor angivna. Temperaturer mellan de angivna temperaturkurvorna har interpolerats fram.



Figur 11. Risk för mögeltillväxt vid olika temperatur och RF för virke som hanterats på varsamt sätt (Nevander och Elmarsson, 1994).

Som acceptabel risknivå vid simuleringarna valdes en totalårsrisk på 0.5 riskmånader. Max risk innebär 12 riskmånader. Detta kan motsvaras av en sänkning av risken med ca 24 gånger i den aktuella modellen. Detta skall inte förväxlas med den verkliga risken eftersom risk och simulering modell är en förenkling av verkligheten. Risknivå som satts kan naturligtvis diskuteras, men den skall inte ses som ett definitivt värde på vad som är en acceptabel mögelrisk utan som ett hjälpmedel för att jämföra olika åtgärder.



### 13 Simulering

Simuleringarna har utförts i en krypgrund med tre olika typer av bjälklag, trä-, betong- och lättbetongbjälklag. De tre olika varianterna av bjälklagen har gjorts i två olika utförande, dels ett välisolerat bjälklag och dels med mindre isolering. De olika bjälklagstyperna har dimensionerats så att deras värmegenomgångsmotstånd skall bli lika som möjligt, det välisolerade har ett U-värde på ca  $0.18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  och bjälklaget med mindre isolering har ett U-värde på ca  $0.26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Valet av isoleringstjocklekar har gjorts med hjälp av Svenssons lic: avhandling (2001). Där har hon bl.a tittat närmare på 14 krypgrunder med träbjälklag, byggda mellan 1965 och 1991. Isoleringstjocklekarna varierar mellan 100 mm upp till 270 mm. Dessa isoleringstjocklekar anses som extremvärden så för träbjälklaget med mindre isolering valdes 150 mm mineralull och till det mer välisolerade träbjälklaget valdes 220 mm mineralull.

Värdena på värmemotståndet för betong- och lättbetongbjälklaget skiljer sig något från värdena på träbjälklagen eftersom valet av bjälklagstjocklekarna gjorts utifrån vad som är brukligt och materialtjocklekar har bestämts efter vad som finns på marknaden. Målet har dock varit att hamna så nära träbjälklagens värmemotstånd som möjligt.

#### Val av lösningar och material

De lösningar som har simulerats med hjälp av modellen är några olika typer av marktäckningar, avfuktning med hjälp av en avfuktare och tillskottsvärme med hjälp av en radiator. Värme skulle också kunna tillföras krypgrunden på andra sätt tex genom strålning eller med en värmefläkt. Anledningen till att en radiator valdes är att detta är ett enkelt och billigt sätt om än inte det mest effektiva. En annan fördel med en radiator är att det troligen inte krävs så mycket underhåll. Avfuktaren som är tänkt att användas är en så kallad sorptionsavfuktare vilken även klarar av att avfukta luften trots låga temperaturer. Avfuktarens funktion beskrivs närmare i avsnittet avfuktare 8.3.

Marktäckningarna som använts vid simuleringarna är mineralull, expanderad polystyren (EPS) och plastfolie av PE-plast. Valen av marktäckningar är gjorda utifrån förutsättningen att simuleringssmodellen tar hänsyn till materialens värmemotstånd, värmekapacitet och diffusionsmotstånd men inte fuktkapacitet.

Mineralull är ett material som tål fukt, har ett lågt  $\lambda$ -värde, är relativt diffusionsöppet men har ingen större värmekapacitet. Expanderad polystyren har liknande materialegenskaper som mineralull men med skillnaden att det har ett större diffusionsmotstånd. Plastfolie är så pass tunn att den inte har någon värmeisolerande förmåga att tala om men den har ett mycket högt diffusionsmotstånd. Genom valet av dessa tre marktäckningar har de olika materialegenskaperna som kunnat simuleras i modellen täckts in.

Material med större fuktkapacitet som lättklinker har inte simulerats eftersom denna egenskap inte kan prövas i modellen.

#### Utförande

Simuleringen av de olika bjälklagen har först gjorts utan någon åtgärd dvs. bjälklagen i de olika material utförandena simulerades utan varken marktäckning, värme eller avfuktare. Varje bjälklags typ har sedan simulerats med de olika markisoleringarna. I fallen med mineralull och EPS har tjockleken prövats med dels 50 mm och dels med 100 mm. Vid simuleringarna med marktäckningarna har 95 % av marken varit täckt. Anledningen till att inte 100 % av marken varit täckt är att det ofta föreskrivs att PE-folien skall avslutas en bit innan grundmuren, så att eventuellt kondensvatten kan rinna av. Andelen otäcktmark har sedan även använts för övriga marktäckningar vilket kan sägas vara brister i utförande som springor mm. Prov med marken täckt till 100% visar inga större skillnader i simuleringresultaten.

Efter simuleringen med de olika marktäckningarna har kombinationer med markisolering och antingen värmeförsel eller avfuktare prövats.

### **Avfuktning**

Simuleringarna med av en avfuktare i kryppgrunden har gjorts genom att det den relativa fuktigheten hos krypprumsluften inte har tillåtits att överstiga 75 % under en viss period. Avfuktningen har styrts månadsvis och i första simuleringsfallet har avfuktningen skett under 4 månader, från juni till september. I det andra simuleringsfallet med avfuktare har driftstiden för avfuktning har bestämts utifrån riskfunktionen för mögeltillväxt och totalårsrisken för mögeltillväxt inte tillåtits att överstiga 0,5 på en skala där 12 innebär maxrisk för mögeltillväxt under hela året, enligt Nevander och Elmarsson modell (1991). I det andra simuleringsfallet med avfuktare har avfuktningensperioden varierat från 1 månad till 5 månader.

Eftersom styrningen skett månadsvis och avfuktningensnivån varit bestämd till 75 %, har det inte alltid varit möjligt att hamna exakt på en totalårsrisk på 0,5. Om värdet på totalårsrisken inte överstigit 0,6 har värdet accepterats. Om värdet överskridits har driftstiden på avfuktaren ökat med en månad.

Avfuktaren har ett flöde på mellan 50-80m<sup>3</sup>/h medan ventilations omsättningen är 0,2/h vilket ger ett flöde på 14 m<sup>3</sup>/h. Beroende på vilken temperatur man har och vilken RF nivå luften har som skall avfuktas samt till vilken nivå blir kapaciteten olika. Vid simuleringen har det antagits att processluften har en temperatur på 10 °C. Luftens RF före avfuktning ligger runt 90-100 % och luften avfuktas ner till 75 %. Den avfuktare som antas användas vid simuleringarna är en Munters MG 50 och vid gällande förutsättningar en avfuktningenskapacitet på ca 0,16 kg/h vid luftflödet 50-80 m<sup>3</sup>/h. Eftersom ventilations flödet i krypprummet vid avfuktning endast är 14 m<sup>3</sup>/h blir mängden fukt som kan avfuktas större genom att avfuktarens flöde är ca 3-5 gånger större än krypprummets ventilation. Det antas därmed att avfuktaren klara av att avfukta ca 0,5-0,8 kg/h. Effekttåtgången för Munters avfuktare MG 50 är 0,44 kW.

Sänkningen av ventilations omsättningen från 0,5 till 0,2 görs för att avfuktningensbehovet och därmed kapaciteten på avfuktaren skall minskas. Vid denna sänkning ökar totalårsrisken något vilket till största delen beror på att RF blir högre under vintern.

### **Tillskottsvärme**

Simulering av tillskottsvärme i kryppgrunden har skett med två olika effekter. I första fallet har en effekt på 5 W/m<sup>2</sup> tillförts krypprummet under fyra månader, från juli till oktober. I det andra fallet med tillskottsvärme har driftstiden för värmen varit den samma men den tillförda effekten har minskats. Effekt minskningen har gjorts i med steg på 0,5 W/m<sup>2</sup>. Sänkningen har gjorts så länge inte totalårsrisken för mögeltillväxt överstigit 0,6 på den 12 gradiga skalan.

## 14 Resultat av simuleringarna

I grundfallen av simuleringarna med de olika bjälklagstyperna, trä, lättbetong och betong har marken varit helt otäckt och luftomsättningen varit satt till 0,5 omsättningar/timme.

Värmeegenomgångsmotståndet varierar något mellan de olika bjälklagen pga att isolerings- och bjälklagstjocklek har valts efter vad som är brukligt. Lättbetongbjälklaget har något högre värmeegenomgångsmotstånd ( $0,173 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) i jämförelse med trä och betongbjälklaget. Det högre värmemotståndet för lättbetongbjälklaget resulterar i att temperaturen blir något lägre för detta bjälklag vilket leder till högre RF och något högre risk för mögeltillväxt. Värmeegenomgångsmotståndet för trä är  $0,183 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  och för betong  $0,181 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  vilket inverkar mycket lite på simuleringens resultaten.

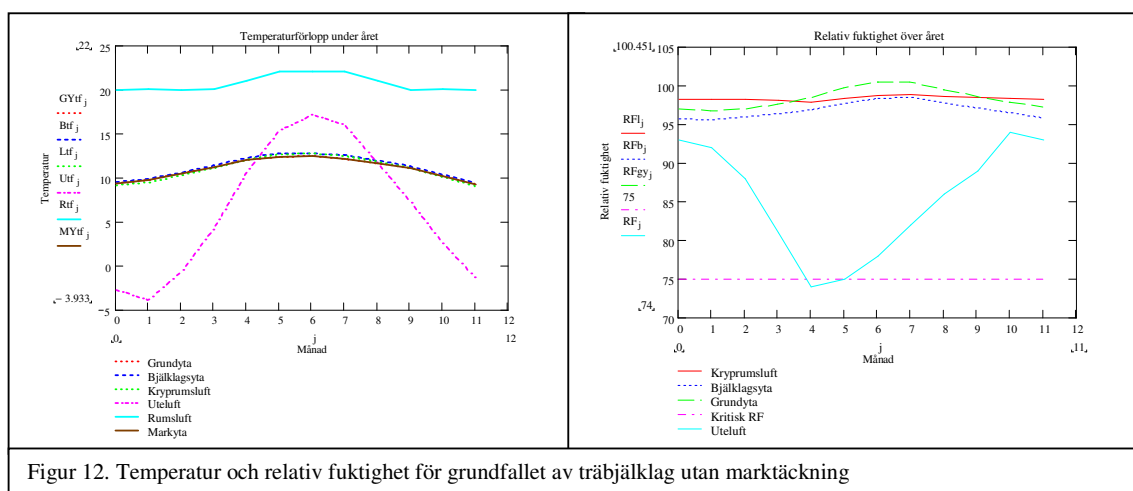
Tanken med simuleringarna har varit att se hur de olika åtgärderna med marktäckning samt värme och avfuktning påverkar klimatet i kryppgrunden. Simuleringsresultaten redovisas därför i första hand för träbjälklagen samt i några fall för att belysa skillnader även för betongbjälklaget. Lättbetongbjälklaget redovisas endast med värden för mögelrisk.

Resultaten av simuleringarna redovisas i tre stycken diagram. Ett diagram för temperaturerna, ett för relativa fuktigheterna samt ett för risken för mögeltillväxt. Simuleringsperioden är ett år, januari är månad 0 och december är månad 11 och resultaten redovisas månadsvis. Den något udda numreringen av månaderna beror på Fourier-transformeringen.

### Grundfall

I grundfallet av simuleringen utan någon marktäckning i krypprummet varierar temperaturen för träbjälklaget endast med ca  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  över året. Som lägst ligger temperaturen under vinter runt  $9 \text{ }^\circ\text{C}$  och stiger under våren till strax över  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  i mitten av sommaren.

Skillnaden i temperatur mellan mark- och bjälklagsyta är endast ca  $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$  under vintern. På sommaren är skillnaden något större ca  $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Bjälklagsytan ligger hela tiden något högre i temperatur vilket beror på värmeflödet från bostaden. Temperaturskillnaden mellan krypprumsluften och bjälklagsyta är störst på vintern ca  $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$  och endast  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  under sommaren.



Figur 12. Temperatur och relativ fuktighet för grundfallet av träbjälklag utan marktäckning

Trä, lättbetong och betongbjälklaget visar i det närmaste identiska temperaturkurvor i grundfallen och skillnaden i temperatur mellan trä- och betongbjälklaget är som störst  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Även RF nivåerna i grunderna är mycket lika och mellan trä och betong skiljer som mest  $0,2 \text{ } \%$ .

Den relativa fuktigheten i krypprumsluften ligger för samtliga bjälklag i grundfallet på gränsen till kondensering dvs. runt  $97\text{--}100 \text{ } \%$  RF under hela året. Bjälklagsytan har under hela året något lägre RF

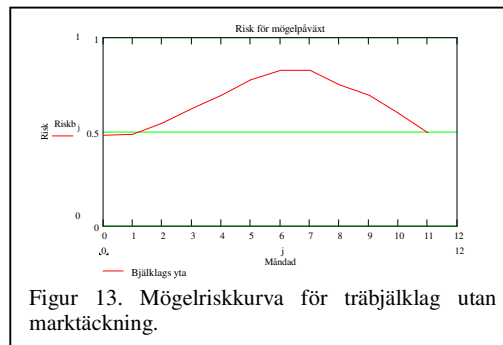
än kryprumsluften och ligger runt 96-98 % RF. Skillnaden i RF mellan bjälklag och kryprumsluft är störst under vintern och är då ca 2,5 procentenheter. Under vinterperioden har grundytan i kryprummet ca 1 procentenheter lägre RF än kryprumsluften men på våren sker en brytpunkt och under sommaren ligger RF för grundytan som mest ca 1,5 procentenheter högre än kryprumsluften. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 12.

Under vintern, våren och hösten avger marken fukt som förs bort via ventilationsluften. En kort period under sommaren är flödet omvänt så att luften istället avger fukt som tas upp av marken. Fuktflödet genom trä och lättbetongbjälklaget har liten inverkan på kryprumsklimatet i grundfallet. Under sommaren ger det ett tillskott till kryprummet och under vintern är flödet genom bjälklaget omvänt. I fallet med betongbjälklaget sker det i princip inget fuktflöde genom bjälklaget under hela året.

Totala årsrisken för mögeltillväxt är ungefär den samma för alla tre bjälklagstyperna. Mögelriskkurvan för träbjälklaget se figur 13. Max-risken för mögeltillväxt infinner sig under juli månad och är också den i det närmaste den samma för alla tre bjälklagen. Se tabell 1.

Bjälklagstyp	Total årsrisk	Max risk
Trä	7,8	0,83
Lättbetong	7,8	0,83
Betong	7,8	0,81

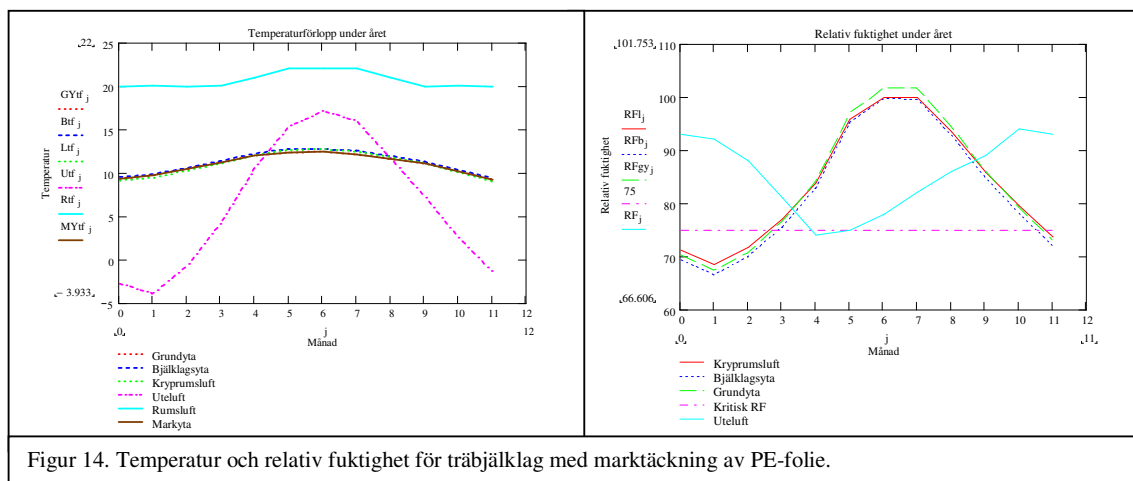
Tabell 1. Risk för mögeltillväxt utan marktäckning



Figur 13. Mögelriskkurva för träbjälklag utan marktäckning.

### Marktäckning med PE-folie

Vid simulering med marken i krypprunderna täckt till 95 % av en PE-folie sker ingen förändring av temperaturerna i krypprunderna.



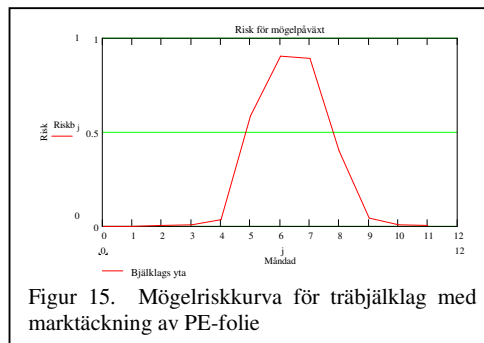
Figur 14. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av PE-folie.

Däremot påverkas den relativa fuktigheten genom att denna sänks under vinter, höst och vår till som lägst till ca 67 % för alla tre bjälklagstyperna. Fuktnivån påverkas inte lika mycket under sommarperioden och RF nivå ligger över 80 % från mitten av april till mitten på september och i juli augusti är RF nivån för samtliga bjälklag runt 100 %. Skillnad i RF mellan grundbottenyta, bjälklag och kryprumsluft är som störst 2 procentenheter. Betongbjälklaget har över hela året ca 1 procentenheter lägre RF än trä – och lättbetongbjälklaget förutom under sommaren då alla tre bjälklagstyper ligger på samma nivåer. Olika RF beror på att fuktflödet genom bjälklaget får större betydelse när fuktillskottet i kryprummet blir mindre. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 14.

Enligt resultaten av simuleringen gör marktäckning med PE-folie att totalårsrisken för mögeltillväxt sjunker, medan max risken stiger för samtliga bjälklag. Max – och totalårsrisk för mögeltillväxt se tabell 2. Mögelriskkurvan för träbjälklaget redovisas i figur 15.

Bjälklagstyp	Totalårsrisk	Max risk
Trä	2,9	0,9
Lättbetong	2,9	0,9
Betong	2,7	0,9

Tabell 2. Risk för mögeltillväxt Marktäckning av PE-folie



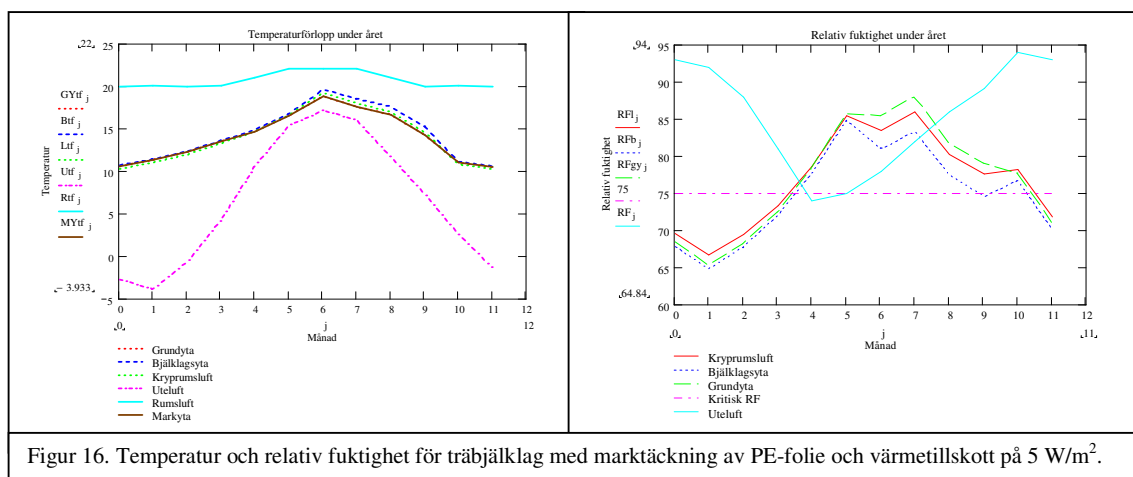
Figur 15. Mögelriskkurva för träbjälklag med marktäckning av PE-folie

Simulering med träbjälklag och marken täckt till 100% med PE-folie visar att totalårsrisken sjunker till 2,4 medan max risken inte påverkas.

Den ökade marktäckningen har störst inverkan på klimatet under den kalla delen av året eftersom den förhindrar markavdunstningen som är störst under vintern. Maxrisken inträffar under sommaren när fuktflödet från marken är mindre och delvis omvänt eftersom ånghalten i uteluften är så pass hög att när luften kyls ner under sommaren att den blir i det närmaste fuktmättad. Under vissa perioder sker i stället ett flöde från luften tillmarken, som till stor del förhindras av PE-folien.

#### Marktäckning med PE-folie och tillskottsvärme.

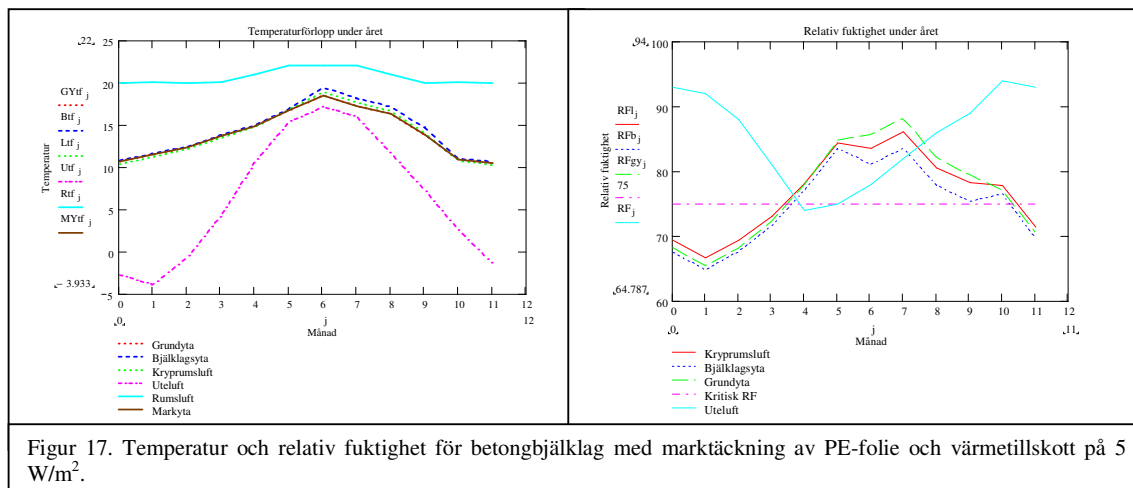
När en värmekälla på 5 W/m<sup>2</sup> simuleras i krypgrunden är temperaturerna på kryprumsluft och ytor i kryprummet under hela året högre än uteluftens. I juni månad når temperaturen i krypgrunden sin maxnivå. Temperaturen är då, 19,2 °C för trä-, 19 °C för betong och 19,1 °C för lättbetongbjälklaget. Uteluften ligger på 17,1 °C. Temperaturskillnaden mellan uteluften och kryprumsluften är som störst på vintern ca 15 °C men endast 1 °C under sommaren.



Figur 16. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av PE-folie och värmetskott på 5 W/m<sup>2</sup>.

I fallet med värmetskott och marktäckning av PE-folie på marken sjunker RF i kryprummet under en period på vintern ner till 70% och stiger inte över 90 % någon gång under året. I juni månad är RF vid bjälklagsytan som högst och är då ca 85%. I samband med detta blir differensen i RF mellan de olika kryprumscyterna och luften också större. Skillnaden i RF mellan grundbottenytan och bjälklaget är som mest ca 5 procentenheter. Kryprumsluftens RF ligger ungefär mitt i mellan bjälklag och grundyta. I oktober när värmetskottet upphör blir skillnaderna mellan bjälklagen åter mindre. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 16.

## Fuktproblem i uteluftsventilerade krypgrunder - Tekniska åtgärder



När en värmekälla simuleras i krypgrunden är temperaturskillnaden mellan trä och lättbetongbjälklagen större i jämförelse med betongbjälklaget. Under vinter och vår är temperaturerna för trä- och lättbetongbjälklaget ca 0,2 °C lägre än hos betongbjälklaget. När värmen är aktiverad är situationen omvänd och trä- och lättbetongbjälklaget ligger ca 0,2 °C högre än betongbjälklaget i temperatur, med en vis fördröjning när värmen stängts av. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 17.

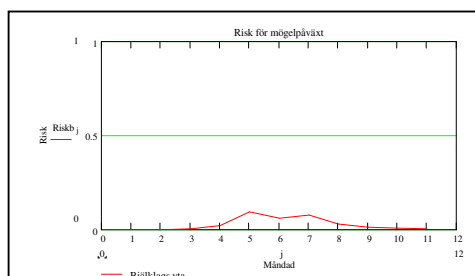
Relativa fuktigheten ligger under större delen av året något lägre hos betongbjälklaget, utom en del av perioden när extra värme tillförs krypgrunden.

Risken för mögeltillväxt är låg i samtliga tre fall. Se tabell 3. I samma tabell redovisas riskerna vid en sänkning av värmeeffekten till 4 W/m<sup>2</sup> för trä- och lättbetong bjälklaget och 3,5 W/m<sup>2</sup> för betongbjälklaget.

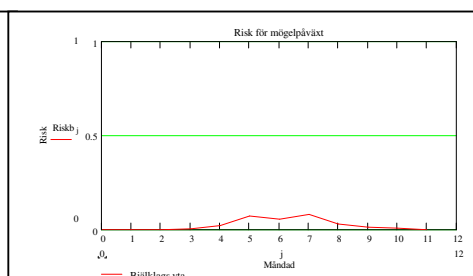
Bjälklagstyp	Totalårsrisk 5 W/m <sup>2</sup>	Max risk 5 W/m <sup>2</sup>	Totalårsrisk 4 W/m <sup>2</sup> . (Btg 3,5 W/m <sup>2</sup> )	Max risk 4 W/m <sup>2</sup> . (Btg 3,5 W/m <sup>2</sup> )
Trä	0,29	0,09	0,44	0,13
Lättbetong	0,29	0,09	0,44	0,14
Betong	0,27	0,08	0,49	0,18

Tabell 3. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av PE-folie samt tillskottsvarme på 5 och 4 W/m<sup>2</sup>.

Energibehovet med en tillförd effekt på 5 W/m<sup>2</sup> uppgår till 1440 respektive 1152 kWh/år vid effekten 4 W/m<sup>2</sup>. I båda fallen är drifttiden för radiatorm 4 månader. I fallet med betongbjälklaget kan effekten sänkas till 3,5 W/m<sup>2</sup> utan att totalårsrisken överstiger 0,5 riskmånader. Mögelriskkurvan för träbjälklaget redovisas i figur 18 och för betongbjälklaget i figur 19.



Figur 18. Riskkurva för träbjälklag med PE-folie på marken samt värmestillskott på 5 W/m<sup>2</sup> under fyra månader

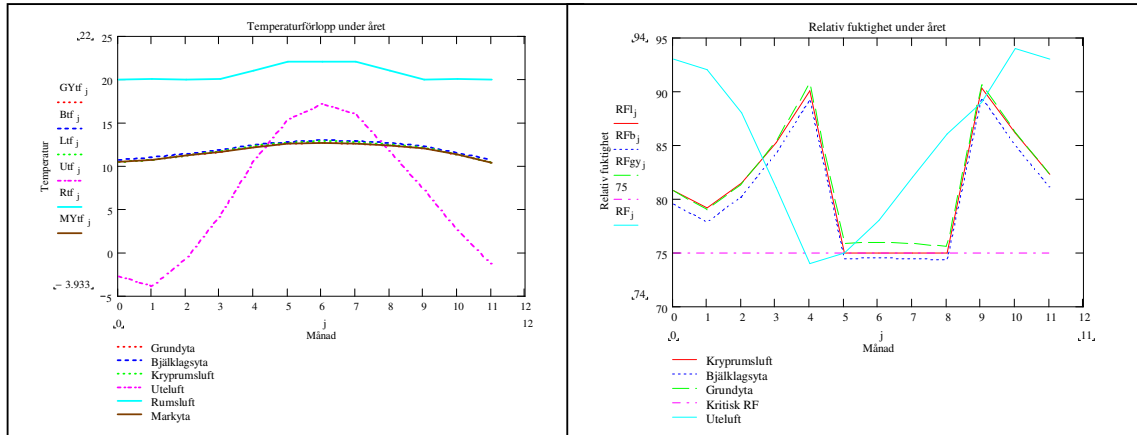


Figur 19. Riskkurva för betongbjälklag med PE-folie på marken samt värmestillskott på 5 W/m<sup>2</sup> under fyra månader.

**Marktäckning med PE-folie och avfuktare.**

Vid simulering av en avfuktare i kryppgrunden sänks ventilationsomsättningen till 0,2 oms/h. Sänkningen medför att krypprumsluftens temperaturen under vintern höjs med 1,3 °C för trä- och lättbetongbjälklaget, betongbjälklaget stiger med ca 1,4 °C. På sommaren påverkas inte temperaturen nämnvärt utan skillnaden blir endast 0,1 °C lägre för alla tre bjälklagen, i jämförelse med otäckt mark.

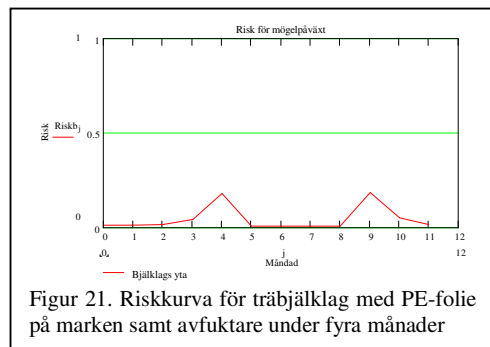
En sänkning av luftomsättningen innebär att skillnaden mellan max och min temperatur hos krypprumsluftens minskas. I grundfallet är skillnaden mellan högsta och lägsta krypprumslufttemperatur 3,6 °C och vid en sänkning av ventilationsomsättningen blir skillnaden endast 2,4 °C. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 20.



Figur 20. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av PE-folie och avfuktare under perioden juni till oktober.

Sänkningen av ventilationsomsättningen från 0,5 till 0,2 oms/h innebär att RF stiger under vintern. Ökningen är som mest ca 10-11 procentenheter för trä och lättbetong och ca 13 procentenheter för betongbjälklaget. Under sommaren innebär sänkningen endast en marginell minskning av RF. Mögelriskkurvan för träbjälklaget se figur 21.

I grundfallet med avfuktning och marktäckning av PE-folie ligger totalårsrisken över den satta max nivån 0,5 riskmånader. För att komma under detta värde måste avfuktningensperioden ökas från fyra till fem månader. Resultat för mögelrisiker se tabell 4.



Figur 21. Riskkurva för träbjälklag med PE-folie på marken samt avfuktare under fyra månader

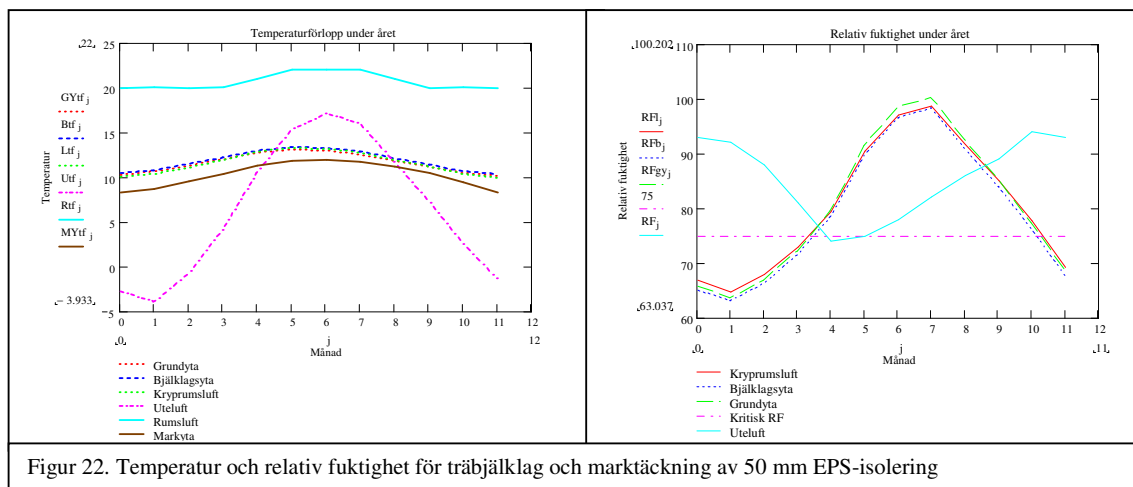
Drifttiden för avfuktaren i timmar vid 4 månaders drift är 2880 och vid 5 månader är antalet drifttimmar 3600. Effektåtgången för avfuktaren som klarar max avfuktningensbehovet är 0,44 kW. Vilket ger ett total energi åtgång på 1267, respektive 1584 kWh/år.

Bjälklagstyp	Total årsrisk 4 mån	Max risk 4 mån	Total årsrisk 5 mån	Max risk 5 mån	Max avfukt. Kapacitet kg/h
Trä	0,53	0,18	0,36	0,18	0,17
Lättbetong	0,55	0,19	0,37	0,19	0,16
Betong	0,49	0,16	0,34	0,15	0,14

Tabell 4. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av PE-folie och avfuktare under 4 och 5 månader.

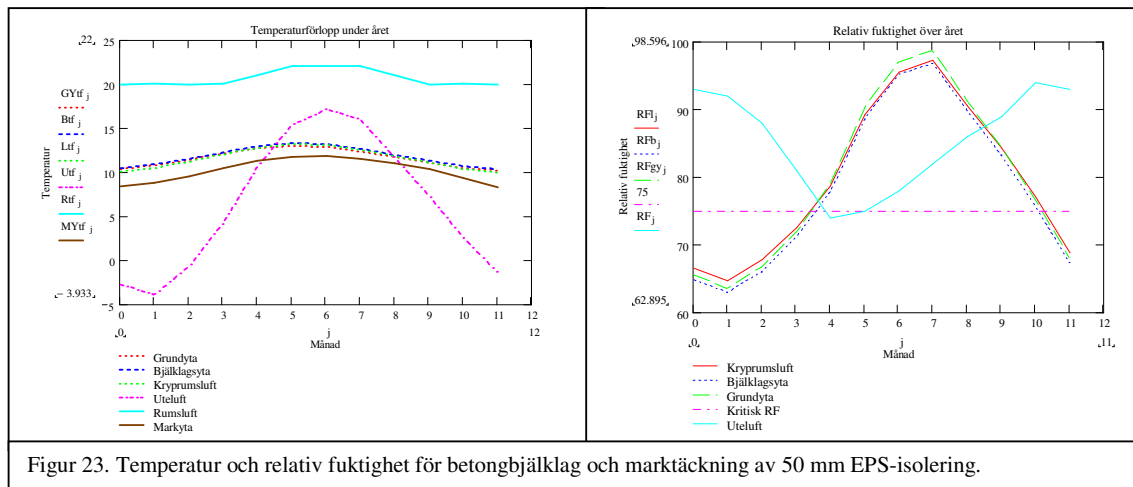
### Marktäckning med 50 mm Expanderad polystyren (EPS)

Marktäckning med EPS-isolering innebär att temperaturen på krypprumsmarken hos samtliga bjälklagstyper sänks med ca 1 °C i jämförelse med oisolerad mark. Marktäckningen innebär, att samtidigt som marktemperaturen sjunker, höjs temperaturen på krypprumsluften och bjälklagsytan med ca 1 °C. Förändringen av temperaturer är störst under vintern och blir mindre under sommaren. Träbjälklaget har något högre temperaturer än betong- och lättbetongbjälklaget. Skillnaden är som störst 0,2 °C. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 22 och för betongbjälklaget se figur 23



Figur 22. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag och marktäckning av 50 mm EPS-isolering

Under vinter och vår ligger relativa fuktigheten under 75 % men nivån stiger under sommaren till som högst nästan 100 %. Minskningen under vinter och vår beror dels på att markavdunstningen förhindras men också på att temperaturen i krypprummet höjs. Under sommaren höjs visserligen temperaturen i krypprummet men samtidigt förhindras fuktflödet från luften till marken vilket gör att kritiska RF nivåer uppnås.



Figur 23. Temperatur och relativ fuktighet för betongbjälklag och marktäckning av 50 mm EPS-isolering.

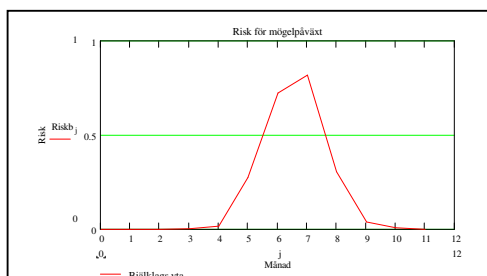
Totalårsrisken påverkas relativt mycket av marktäckningen av EPS-isolering och är ca 25 % lägre för träbjälklaget, 36 % lägre för betong och 23 procentenheter lägre för lättbetongbjälklaget i jämförelse med PE-folie på marken. Maxrisken påverkas i betydligt mindre omfattning och ligger endast ca 9 % lägre för trä, 23% lägre för betong och ca 7 % lägre för lättbetongbjälklaget.



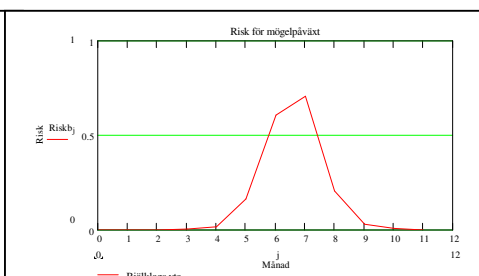
Skillnaderna mellan bjälklagen beror på att fukt och värme flödena genom bjälklagen får större inverkan på klimatet i kryprummet när fukt- och värme flödet från marken minskar. Totalårsrisken och max risken för mögeltillväxt se tabell 5. Riskkurvorna för mögel tillväxt se figur 24 och 25.

Bjälklagstyp	Total årsrisk	Max risk
Trä	2,18	0,82
Lättbetong	2,25	0,84
Betong	1,73	0,7

Tabell 5. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 50 mm EPS-isolering.



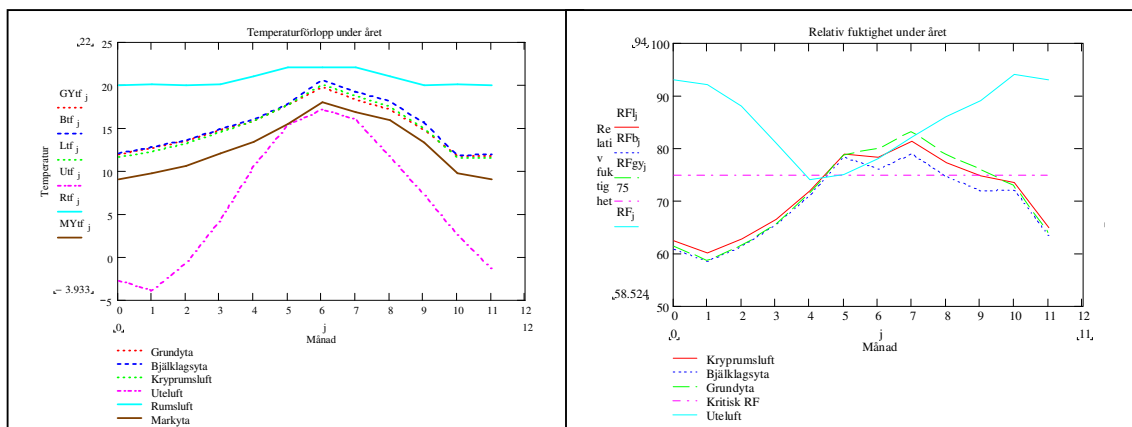
Figur 24. Riskkurva för träbjälklag och marktäckning av 50 mm EPS-isolering



Figur 25. Riskkurva för betongbjälklag och marktäckning av 50 mm EPS-isolering

### Marktäckning med 50 mm Expanderad polystyren och tillskottsvärme.

Tillskottsvärmen på  $5 \text{ W/m}^2$  medför att temperaturerna i kryprummet under hela året ligger högre än uteluften. Under vintern är lägsta temperaturen för ytorna i kryprummet runt  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  och högsta temperaturen under sommaren ligger runt  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Markytan under isoleringen ligger ca 2 och  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  lägre i temperatur än kryprummet under hela året. Den lägre marktemperaturen innebär att markavdunstningen minskar. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med tillskottsvärme på  $3,5 \text{ W/m}^2$  se figur 26.



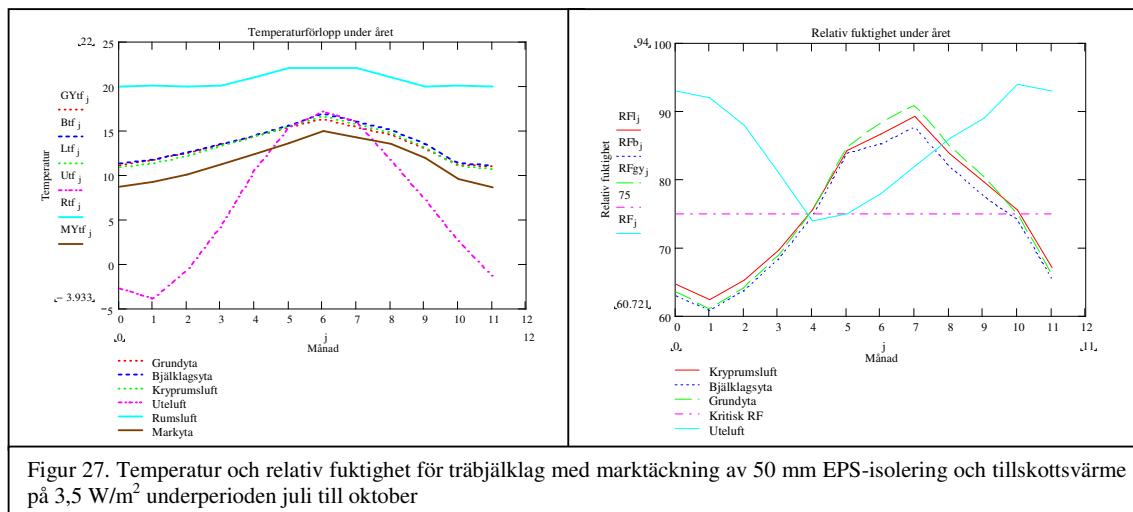
Figur 26. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av 50 mm EPS-isolering och tillskottsvärme på  $5 \text{ W/m}^2$  under perioden juli till oktober.

Relativa fuktigheten i kryprummet ligger under stora delar av året under 75 % men från maj till oktober ligger den högre. Högsta RF erhålls i juli och är ca 83 % för alla tre bjälklagen. Skillnaderna mellan de olika bjälklagen är liten både i temperatur och RF och risken för mögeltillväxt är låg i samtliga fall. Se tabell 6.

Energiåtgången för att värma krypgrunden med  $5 \text{ W/m}^2$  under 4 månader blir  $1440 \text{ kWh/år}$ .

## Fuktproblem i uteluftsventilerade krypgrunder - Tekniska åtgärder

En sänkning av tillskottsvärmen till  $2,5 \text{ W/m}^2$  är möjlig för trä och lättbetongbjälklaget utan att totalårsrisken för mögeltillväxt överstiger 0,5 riskmånader. I fallet med betongbjälklaget kan tillskottsvärmen sänkas till  $2 \text{ W/m}^2$ . Temperaturerna på bjälklagsyta och kryprumsluft är under vintern som lägst ca  $11 \text{ }^\circ\text{C}$ . Under sommaren är högsta temperaturen ca  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  och under juni till början av augusti ligger utelufts temperatur som mest ca  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  högre. Den relativa fuktigheten ligger under vintern. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med tillskottsvärme på  $3,5 \text{ W/m}^2$  se figur 27.

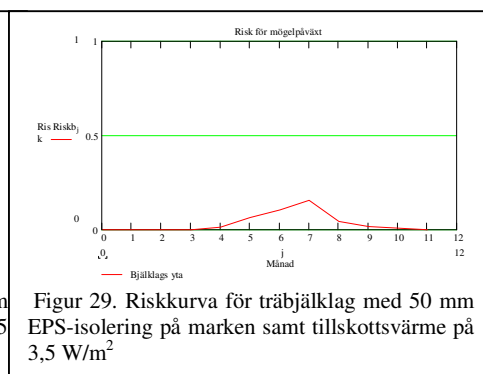
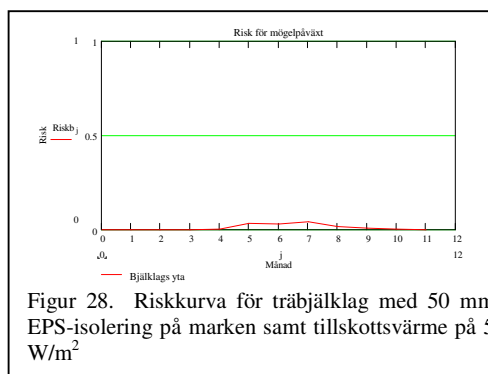


på nivåer under 75 % och överytan på isoleringen når som högst ca 90 % under sommaren. Bjälklaget yta ligger ca tre procentenheter lägre i RF under perioden med när extra värme tillförs kryprummet.

Bjälklagstyp	Total årsrisk $5 \text{ W/m}^2$	Max risk $5 \text{ W/m}^2$	Total årsrisk $2,5 \text{ W/m}^2$ (btg $2 \text{ W/m}^2$ )	Max risk $2,5 \text{ W/m}^2$ (btg $2 \text{ W/m}^2$ )
Trä	0,122	0,039	0,387	0,153
Lättbetong	0,125	0,04	0,4	0,16
Betong	0,116	0,039	0,468	0,221

Tabell 6. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 50 mm EPS-isolering och tillskottsvärme på  $5 \text{ W/m}^2$  Respektive 2 och  $2,5 \text{ W/m}^2$ .

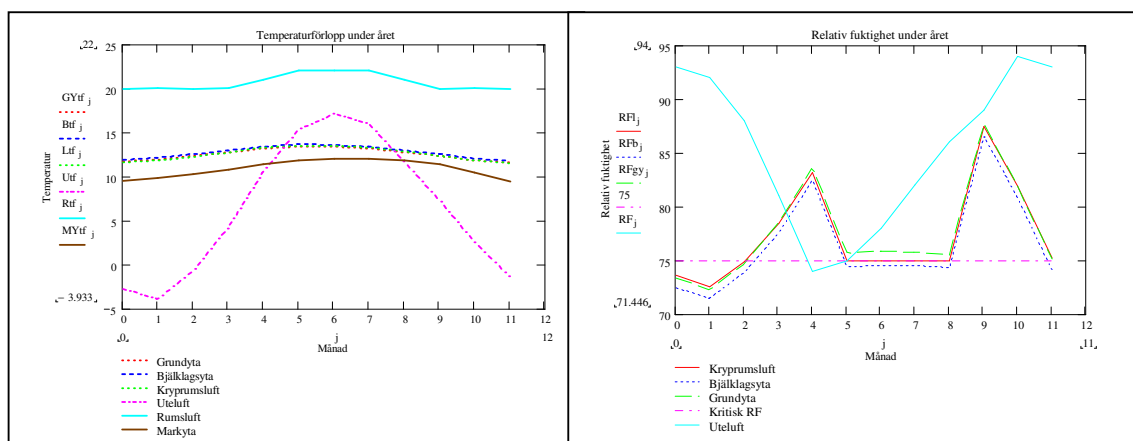
Effektminskningen från  $5$  till  $2,5 \text{ W/m}^2$  innebär att energigtången sjunker med ca 50 % från 1400 ner till  $720 \text{ kWh/år}$  för trä- och lättbetongbjälklaget. Minskningen från  $5$  till  $2 \text{ W/m}^2$  för betongbjälklaget innebär en energigtången sänks från 1440 till 576 vilket är en minskning med ca 60 %.



Sänkningen av värmetskottet innebär dock att risken för mögeltillväxt ökar innebär samtidigt som energi förbrukningen minskar. Mögelriskkurvor för träbjälklaget med tillskottsvärme på  $5$  och  $3,5 \text{ W/m}^2$  ges i figur 28 och 29.

**Marktäckning med 50 mm Expanderad polystyren (EPS) och avfuktare.**

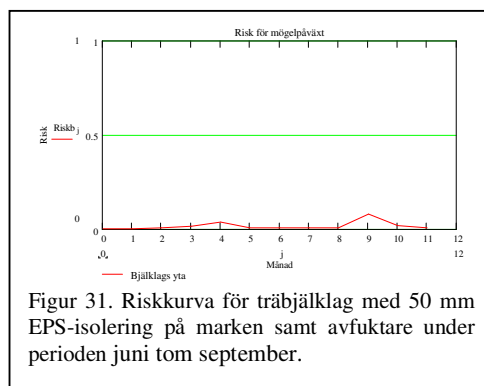
Vid simuleringarna med marktäckning av 50 mm EPS-isolering samt en avfuktare under perioden juni till september i kryppgrunden sänks ventilationsomsättningen till 0,2 oms/h under hela året. Sänkningen av ventilationen medför att lufttemperaturen är som lägst 11,5 °C och som högst 13,5 °C hos trä- och betongbjälklaget medan lättbetongbjälklaget ligger något lägre i temperatur. Relativa fuktigheten ökar under vintern med ca 8 procentenheter som mest. Under sommaren när avfuktaren inte är i drift är ökningen inte lika stor. När avfuktaren startas sänks RF från ca 84 % till 75 % och när den stängs av stiger RF återigen till ca 87 %. Några större skillnader i fuktnivåer mellan bjälklagen finns inte. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med avfuktare under juni tom september se figur 30.



Figur 30. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av 50 mm EPS-isolering och avfuktare underperioden juni tom oktober.

Som nämnts tidigare innebär sänkningen av ventilationen också att skillnaden mellan max och min temperatur i grunden minskar.

Med marktäckning av 50 mm EPS är det möjligt att korta avfuktningstiden till tre månader utan att totalårsrisken för mögeltillväxt överstiger 0,5. Mögelriskkurva se figur 31. Förkortningen av avfuktningstiden påverkar inte temperaturen i kryppgrunden utan endast den relativa fuktigheten, som när avfuktaren stängs av stiger till ca 90 %.



Figur 31. Riskkurva för träbjälklag med 50 mm EPS-isolering på marken samt avfuktare under perioden juni tom september.

Risken för mögeltillväxt blir störst för lättbetongbjälklaget och minst för betongbjälklaget: Se tabell 7.

Bjälklagstyp	Total årsrisk 4 mån	Max risk 4 mån	Total årsrisk 3 mån	Max risk 3 mån	Max avfukt. Kapacitet, kg/h
Trä	0,199	0,081	0,498	0,298	0,156
Lättbetong	0,207	0,086	0,498	0,299	0,15
Betong	0,093	0,074	0,33	0,149	0,126

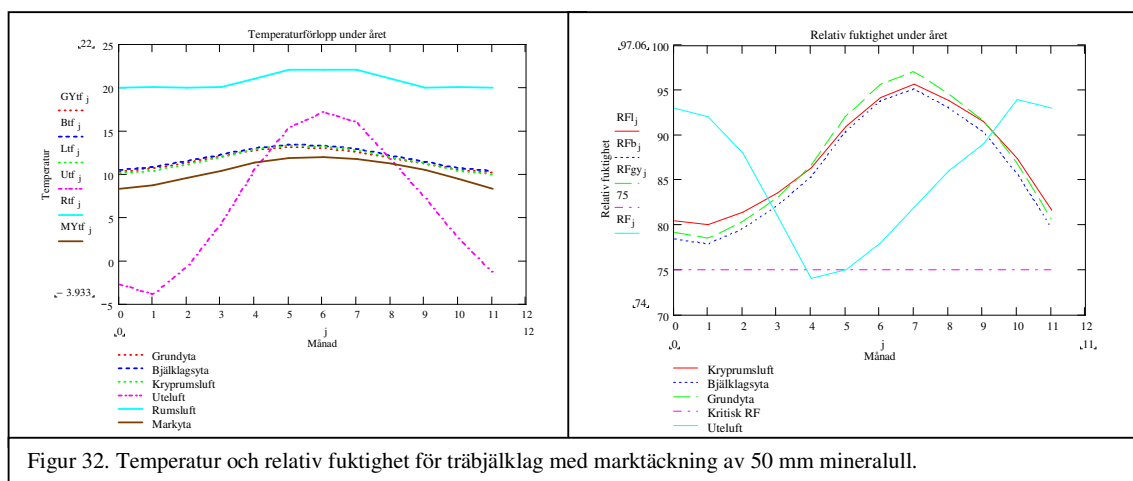
Tabell 7. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av EPS och avfuktare under tre och fyra månader.

Kapaciteten för avfuktaren som behövs för att klara den högsta fuktbelastningen är den samma vid 3 eller 4 månaders drift men är lägre för betongbjälklaget i jämförelse med trä- och lättbetongbjälklagen.

Drifttiden för avfuktaren vid 3 månaders drift är 2160 timmar och vid 4 månader är antalet drifttimmar 2880. Effektåtgången för avfuktaren som klarar maxbehovet är 0,44 kW, vilket ger en total energiåtgång på 950, respektive 1267 kWh/år.

### Marktäckning med 50 mm mineralullsisolering.

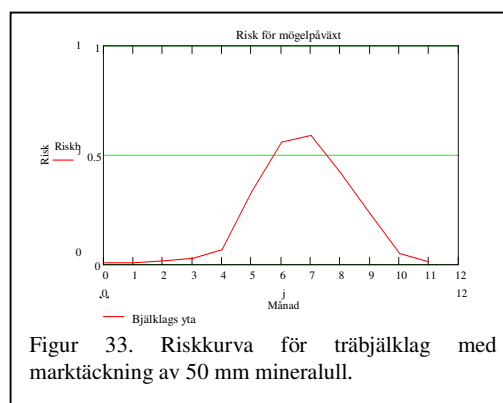
När marken i kryprummet isoleras med 50 mm mineralull blir temperaturen den samma som i fallet med 50 mm EPS-isolering. Lägsta temperaturen är ca 10,5 °C och högsta är runt 13,5 °C. Marken under isoleringen sjunker med 1°C i jämförelse med grundfallet. Skillnaden under sommaren är något mindre.



Temperaturhöjningen på kryprumsluften samt minskad markavdunstning pga lägre mark- temperatur medför att nivån på RF sjunker. Lägsta nivån under vintern är ca 80 % och högsta nivån under sommaren är ca 95 %. I jämförelse med en marktäckning av 50 mm EPS- isolering är RF som mest ca 15 procentenheter högre på vintern. Under sommaren ligger RF i mineralullsfallet istället lägre. Som mest ca 5 procentenheter. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 32.

I jämförelse med marktäckning av PE-folie är lägsta RF nivån på kryprumsluften något högre ca 83 % mot PE-folie som ligger på 79 % på vintern. Högsta nivån på RF med marktäckning av mineralull ligger på 95 % medan PE-folie når 100 % under sommaren. Mögelriskkurva för träbjälklaget se figur 33.

Totalårsrisken för mögeltillväxt ligger på ungefär samma nivå för marktäckning av 50 mm EPS- och mineralullsisolering, skillnaden är endast ca 5 % till EPS-isoleringens fördel. Jämför man istället max risken är skillnaden betydligt större och ordningen omvänd dvs. mineralull isoleringen har 35% lägre maxrisk. Vilket beror på att mineralullen tillåter ett fuktflöde från luft till mark under sommaren. Se tabell 8.

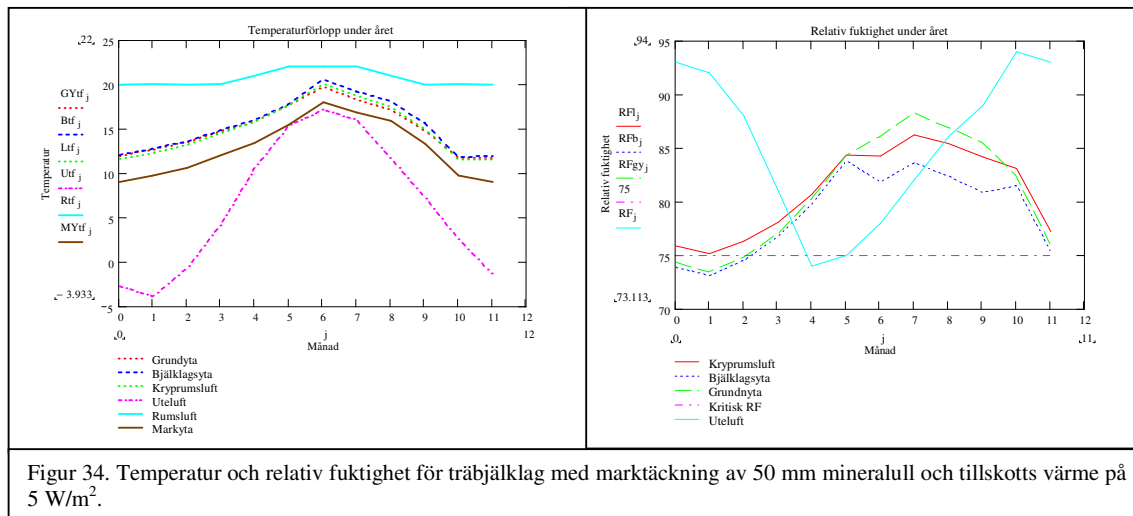


Bjälklagstyp	Total årsrisk	Max risk
Trä	2,31	0,586
Lättbetong	2,38	0,598
Betong	2,16	0,558

Tabell 8. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 50 mm mineralull

**Marktäckning med 50 mm mineralullsisolering och tillskottsvärme.**

Vid simulering av marktäckning av 50 mm mineralullsisolering och tillskottsvärme på 5 W/m<sup>2</sup> är temperaturen i kryprummet den samma som i fallet med 50 mm EPS som marktäckning.

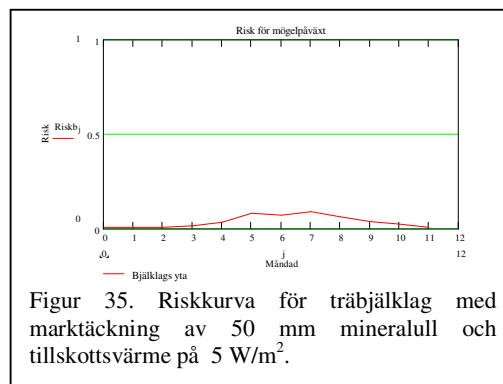


Figur 34. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av 50 mm mineralull och tillskotts värme på 5 W/m<sup>2</sup>.

När det gäller RF nivån är denna ca 10 procentenheter högre för mineralullen vid lägsta nivån i jämförelse med EPS under samma förutsättningar. Under sommaren är RF för kryprumsluften som högst ca 85 % för mineralullen vilket är ca 5 procentenheter högre än EPS. Detta beror på ökat fuktflöde från marken.

Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med tillskottsvärme se figur 34.

Risken för mögeltillväxt med 5 W/m<sup>2</sup> värmetskott ligger i närheten av vad som satts som gräns för mögeltillväxtrisk och det är endast möjligt att sänka nivå till 4,5 W/m<sup>2</sup> utan att överskrida 0,5 gränsen. Denna sänkning är marginell och inga större förändringar sker i temperatur och RF varför endast risken för mögeltillväxt redovisas för dessa simuleringar. Se tabell 9. Mögelriskkurvan för träbjälklaget redovisas i figur 35.



Figur 35. Riskkurva för träbjälklag med marktäckning av 50 mm mineralull och tillskottsvärme på 5 W/m<sup>2</sup>.

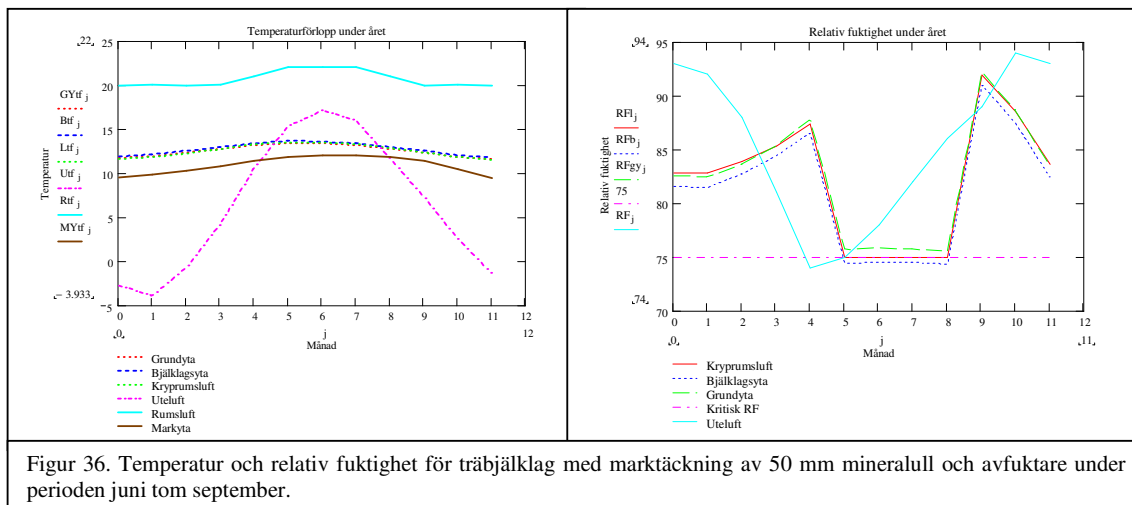
Nivåerna för mögeltillväxt vid marktäckning av mineralull är relativt lika för samtliga bjälklagstyper. Detta beror bl.a på att fuktflödet genom bjälklaget får mindre betydelse när fuktflödet från marken är större, vilket är fallet med diffusionsöppen marktäckning som mineralull.

Bjälklagstyp	Total årsrisk 5 W/m <sup>2</sup>	Max risk 5 W/m <sup>2</sup>	Total årsrisk 4,5 W/m <sup>2</sup>	Max risk 4,5 W/m <sup>2</sup>
Trä	0,429	0,087	0,479	0,102
Lättbetong	0,442	0,09	0,494	0,105
Betong	0,436	0,09	0,493	0,104

Tabell 9. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av mineralull och Tillskottsvärme på 5 och 4,5 W/m<sup>2</sup>.

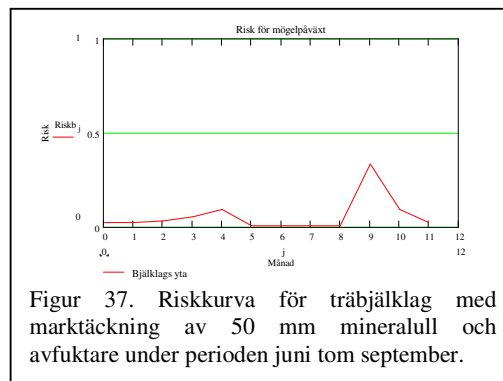
**Marktäckning med 50 mm mineralullsisolering och avfuktare.**

Isolering av krypprumsbotten med 50 mm mineralull och minskning av luftomsättningen till 0,2 oms/h innebär att temperatursvängningarna minskar. Temperaturerna i kryppgrunden med marktäckning av mineralull blir de samma som i fallet med 50 mm EPS-isolering lägsta temperaturen är ca 12 °C och högsta temperaturen ligger på ca 13,5 °C.



Figur 36. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av 50 mm mineralull och avfuktare under perioden juni tom september.

Vid simuleringarna med en avfuktare under juni till september blir totalårsrisken högre än den bestämda nivån 0,5. För att komma ner under denna måste avfuktning perioden förlängas och avfuktaren är även i drift under september eftersom RF i krypprummet under september når så högt som ca 93 % RF. Förlängningen av avfuktningens perioden beror att mineralullsisoleringen är diffusionsöppen och därmed inte förhindrar markavdunstningen i samma omfattning som EPS-isolering och PE-folie.



Figur 37. Riskkurva för träbjälklag med marktäckning av 50 mm mineralull och avfuktare under perioden juni tom september.

Temperaturer och RF för träbjälklaget med avfuktare under juni tom september redovisas i figur 36 och mögelriskkurva i figur 37. Totalårs- och maxrisk för mögeltillväxt samt max avfuktning behov redovisas i tabell 10.

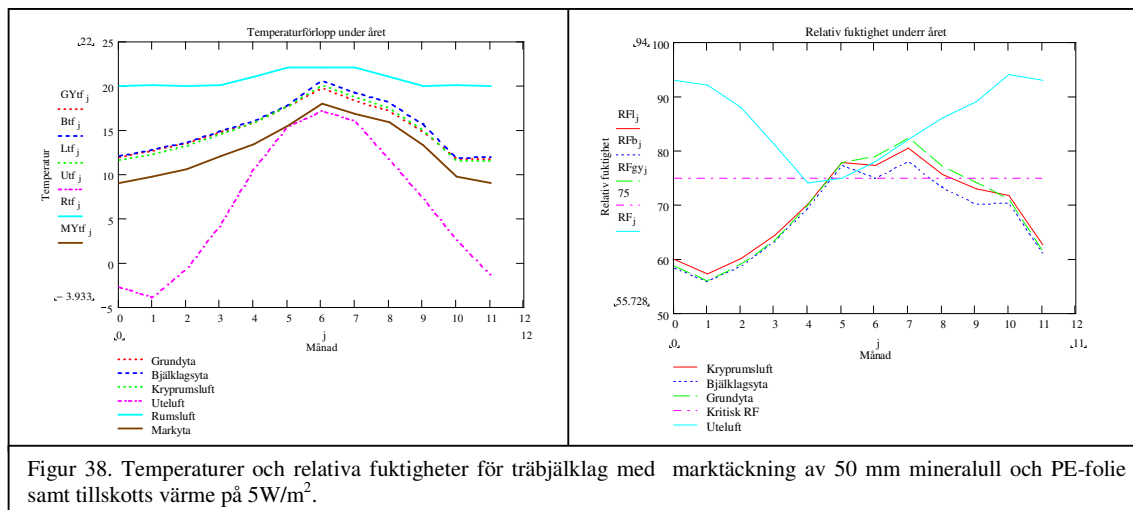
Bjälklagstyp	Total årsrisk 4 mån	Max risk 4 mån	Total årsrisk 5 mån	Max risk 5 mån	Max avfukt. Kapacitet, kg/h
Trä	0,708	0,335	0,309	0,095	0,414
Lättbetong	0,742	0,347	0,401	0,103	0,408
Betong	0,733	0,335	0,404	0,102	0,308

Tabell 10. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 50 mm mineralull och avfuktare.

Drifttiden för avfuktaren i timmar vid 4 månaders drift är 2880 och vid 5 månader är antalet drifttimmar 3600. Effektåtgången för avfuktaren som klarar max avfuktningens behovet är 0,44 kW. Vilket ger ett total energiåtgång på 1267, respektive 1584 kWh/år.

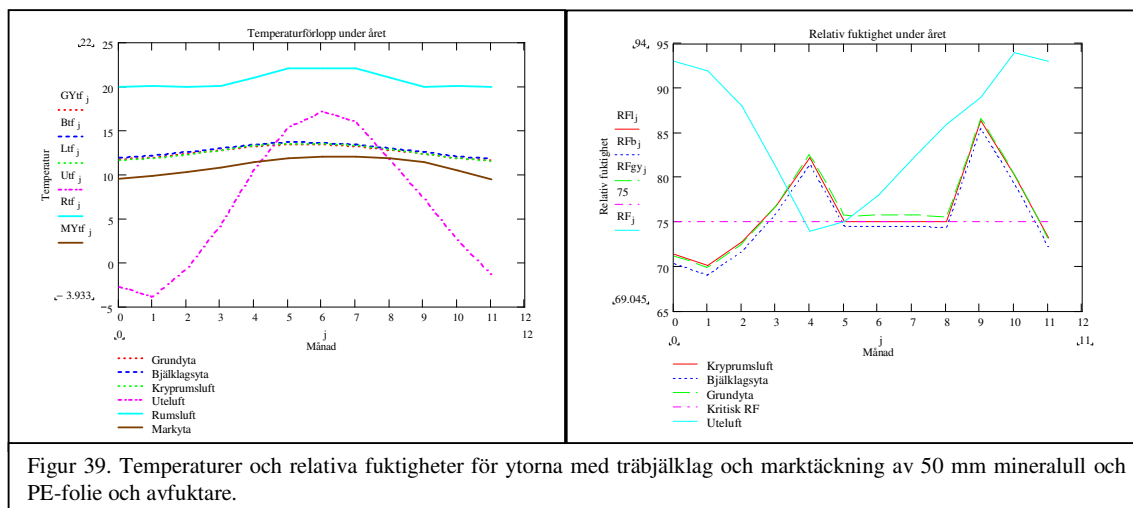
**Marktäckning med 50 mm mineralullsisolering PE-folie och tillskottsvärme/ avfuktare.**

Vid simulering av 50 mm mineralullsisolering och en PE-folie som marktäckning är temperaturen den samma som enbart mineralull. Som visats tidigare sänker en tätmarktäckning RFV under vintern med under sommaren stiger RF till nivåer över 100 %. Grundfallet klara inte nivåerna som satts för risken för mögeltillväxt varför detta inte redovisas. I fallet med tillskottsvärme ger fallet med 5 W/m<sup>2</sup> mycket låga nivåer och RF ligger endast kort över 80 % RF. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med tillskottsvärme på 5 W/m<sup>2</sup> se figur 38.



Figur 38. Temperaturer och relativa fuktigheter för träbjälklag med marktäckning av 50 mm mineralull och PE-folie samt tillskotts värme på 5W/m<sup>2</sup>.

Med ett värmetillskott på 2,5W/m<sup>2</sup> under fyra månader är RF som lägst runt ca 58- 59 % för bjälklagsyta och kryprums luft. Under sommaren när stiger RF för kryprumsluften till som högst ca 89 % och 87 % för bjälklagsytan.



Figur 39. Temperaturer och relativa fuktigheter för ytorna med träbjälklag och marktäckning av 50 mm mineralull och PE-folie och avfuktare.

Med en avfuktare i kryperummet under perioden juni till september når RF som högst under våren ca 83 %. Under avfuktningen ligger RF på 75% men stiger snabbt till som högst ca 86 % när avfuktaren stängs av. Risken för mögeltillväxt är låg och avfuktningensperioden kan kortas till 3 månader utan totalårsrisken överstiger 0,5 riskmånader. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med avfuktare under juni tom september se figur 39.

Risken för mögeltillväxt för de olika fallen med marktäckning av mineralull i kombination med PE-folie samt avfuktare eller tillskottsvärme redovisas i tabell 11 och 12. Mögelriskkurvorna för

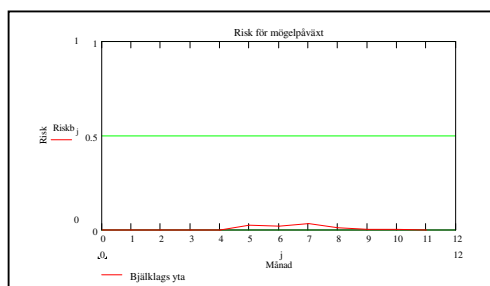
träbjälklaget med tillskottsvärme på  $2,5 \text{ W/m}^2$  samt fallet med avfuktning under 4 månader (2880 h) visas i figur 40 och 41. Effektåtgången för avfuktaren som klarar max behovet är  $1267 \text{ kWh/år}$ .

Bjälklagstyp	Total årsrisk 50 mm Min + PE	Max risk 50mm Min+ PE	Total årsrisk 50 mm Min+ PE och 5 $\text{W/m}^2$	Max risk 50 mm Min+ PE och 5 $\text{W/m}^2$
Trä	2,212	0,867	0,091	0,034

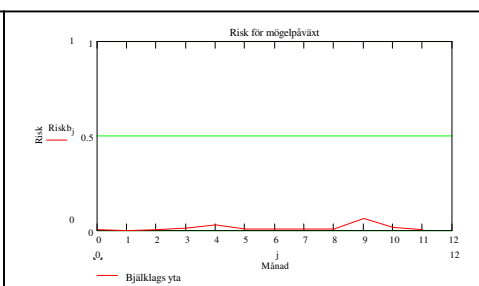
Tabell 11. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 50 mm mineralull PE-folie grundfall samt tillskottsvärme på  $5 \text{ W/m}^2$ .

Bjälklagstyp	Total årsrisk 50 mm Min + PE och 2,5 $\text{W/m}^2$	Max risk 50mm Min+ PE och 2,5 $\text{W/m}^2$	Total årsrisk 50 mm Min+ PE och avfuktare	Max risk 50 mm Min+ PE och avfuktare
Trä	0,346	0,144	0,156	0,064

Tabell 12. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 50 mm mineralull PE-folie, tillskottsvärme på  $2,5 \text{ W/m}^2$  samt fallet med avfuktare under fyra månader.



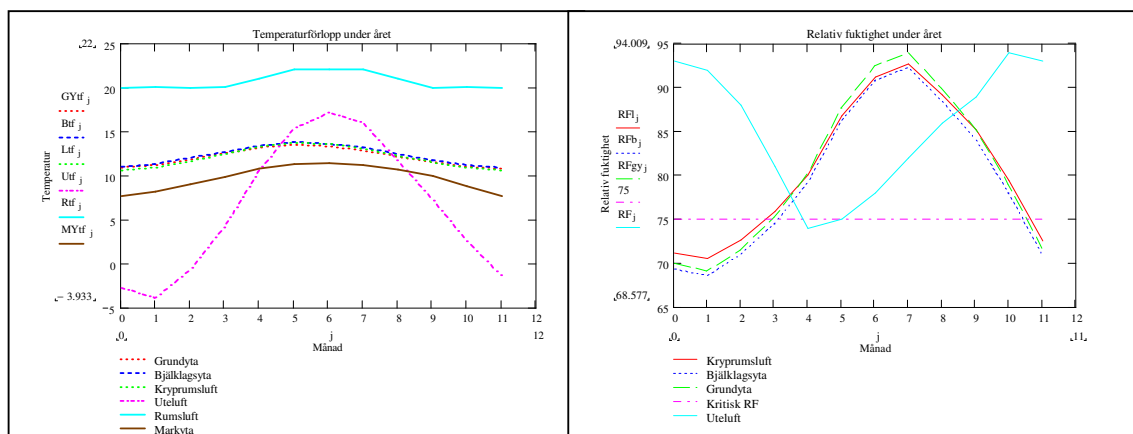
Figur 40. Riskkurva för träbjälklag och marktäckning av 50 mm mineralull och PE-folie  $5 \text{ W/m}^2$



Figur 41. Riskkurva för träbjälklag och marktäckning av 50 mm mineralull och PE-folie och avfuktare under perioden juni tom september

### Marktäckning med 100 mm Mineralull.

I grundfallet med 100 mm mineralull som marktäckning är krypprumsluften temperatur som lägst  $10,6 \text{ °C}$  och bjälklagsytan  $11 \text{ °C}$  (gäller för träbjälklaget). Temperaturen är som högst  $13,7 \text{ °C}$  för luften och  $13,8 \text{ °C}$  för bjälklagsytan. I jämförelse med marktäckning av PE-folie är detta höjning av lägsta temperaturen med  $1,5 \text{ °C}$  och högsta med ca  $1 \text{ °C}$ . Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 42.

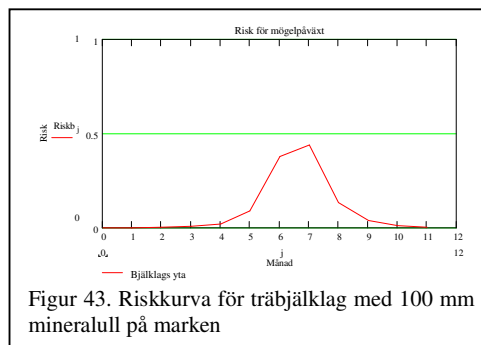


Figur 42. Temperaturer och relativa fuktigheter för ytorna med träbjälklag och marktäckning av 100 mm EPS.



Marktäckningen med 100 mm mineralull innebär att krypprummets högsta temperatur nås i redan juni i jämförelse med PE-fallet då temperaturen är högst i juli. Samtidigt som temperaturen på marktäckningens översida stiger sjunker temperaturen på marken under isoleringen. I krypprummet med träbjälklag sjunker temperaturen med som mest 1,6 °C.

Krypprummets tre beräknade relativa fuktigheter ligger i alla fallen inom ca 1 % RF. Vilket beror på att temperaturerna i krypprummet snabbare anpassas till uteluften pga att markens värmekapacitet isolerats bort. Under våren och senhösten ligger RF i grunden under 75 % men stiger under sommaren och är som högst runt 94 %. Den höga RF nivån under sommaren innebär att det under en kort period finns stor risk för mögeltillväxt även om totalårsrisken inte är speciellt hög. Mögelriskkurvan för träbjälklaget se figur 43. Totalårs- och max risk för mögeltillväxt för redovisas i tabell 13.



Figur 43. Riskkurva för träbjälklag med 100 mm mineralull på marken

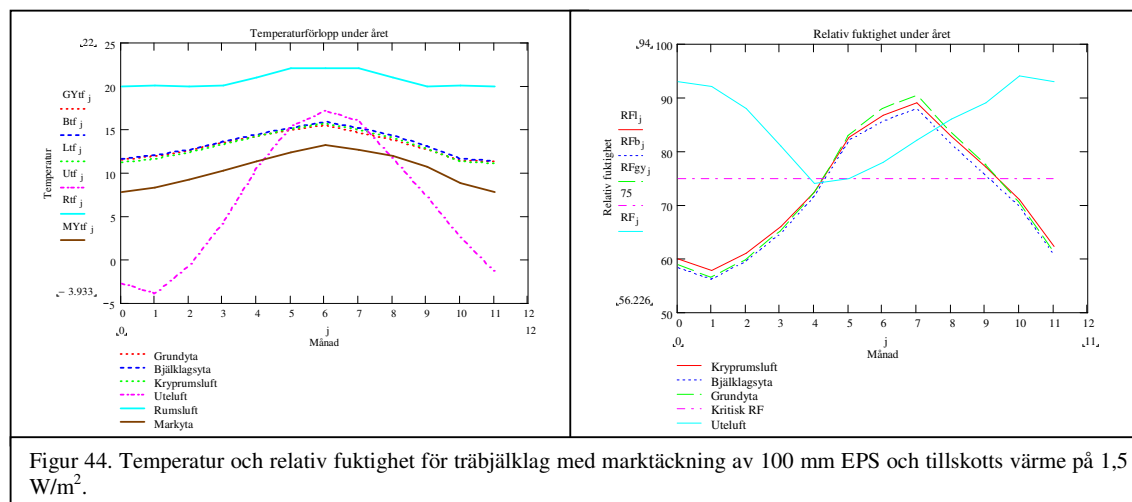
Bjälklagstyp	Total årsrisk	Max risk
Trä	1,113	0,44
Lättbetong	1,17	0,45
Betong	0,9	0,38

Tabell 13. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 100 mm mineralull.

### Marktäckning med 100 mm Expanderadpolystyren (EPS) och tillskottsvärme.

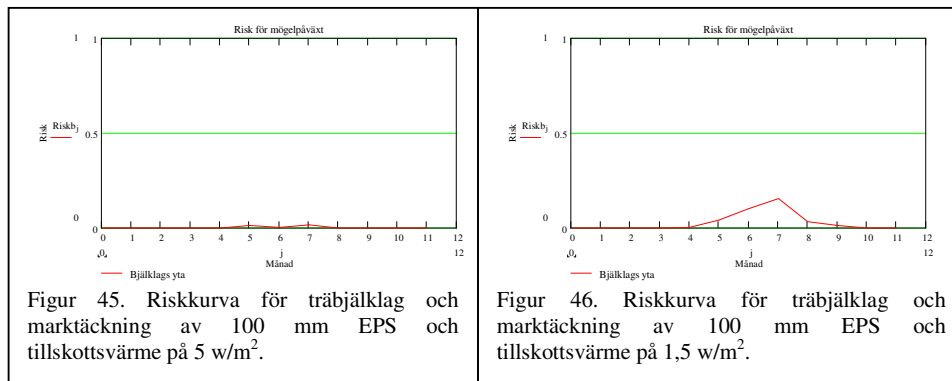
Vid en ökning av tjockleken av EPS-isolering från 50-100 mm samt en värmekälla på 5 W/m<sup>2</sup> i krypprummet, blir lägsta temperaturen på krypprumsluft och bjälklagsyta under vintern ca 12,5-13 för de olika bjälklags typerna. Detta innebär en höjning med ca 3,5 °C i jämförelse med grundfallet. Temperaturen under sommaren stiger med ca 8 °C vilket innebär en högsta temperatur på runt 20-21°C . Temperatur höjningen av krypprumsluften innebär att relativa fuktigheten enligt modellen ligger relativt säkra nivåer för samtliga bjälklags typer. Risken för mögeltillväxt blir i det närmaste obefintlig för samtliga bjälklag. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med tillskottsvärme på 1,5 W/m<sup>2</sup> på se figur 44.

Energi åtgången för en radiator med effekten 5 W/m<sup>2</sup> under fyra månader är 1440 kWh/år för samtliga bjälklag



Figur 44. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklag med marktäckning av 100 mm EPS och tillskotts värme på 1,5 W/m<sup>2</sup>.

I det andra simuleringsfallet med marktäckning av 100 mm EPS och tillskottsvärme är effekten för trä- och lättbetongbjälklaget sänkt till 1, 5 W/m<sup>2</sup> och för betongbjälklaget 1 W/m<sup>2</sup>. Sänkningen av värmertilskottet innebär att lägsta temperaturen för trä och lättbetongbjälklag höjs från ca 9,3 till 11,5 °C dvs en ökning med runt 2 °C. Högsta temperaturen stiger med ca 3 °C från runt 12,5 till ca 16 °C. För betongbjälklaget är skillnaden för högsta och lägsta temperatur på kryprumsluft ca 2 °C.



I fallet med 100 mm EPS-isolering på marken och tillskotts värme på 1 respektive 1,5 W/m<sup>2</sup> blir risken mögeltillväxt något högre för betongbjälklaget i jämförelse med trä- och lättbetongbjälklaget. Detta beror dock på att effekten för betongbjälklaget är sänkt till 1 W/m<sup>2</sup> för betongbjälklaget i jämförelse med de andra bjälklagen. Mögelriskkurvorna för träbjälklaget med tillskottsvärme på 5 respektive 1,5 W/m<sup>2</sup> se figur 45 och 46.

Energibehovet för driften av en radiator på 1,5 W/m<sup>2</sup> under fyra månader blir 432 kWh/år för trä- och lättbetong bjälklaget. Behovet för betongbjälklaget är 288 kWh/år med en radiator på 1 W/m<sup>2</sup>. Risken för mögeltillväxt hos de olika bjälklagen med värmertilskott redovisas i tabell 14.

Bjälklagstyp	Total årsrisk 5 W/m <sup>2</sup>	Max risk 5 W/m <sup>2</sup>	Total årsrisk 1,5 W/m <sup>2</sup> (btg 1 W/m <sup>2</sup> )	Max risk 1,5 W/m <sup>2</sup> (btg 1 W/m <sup>2</sup> )
Trä	0,029	0,015	0,339	0,15
Lättbetong	0,03	0,016	0,355	0,16
Betong	0,023	0,015	0,41	0,2

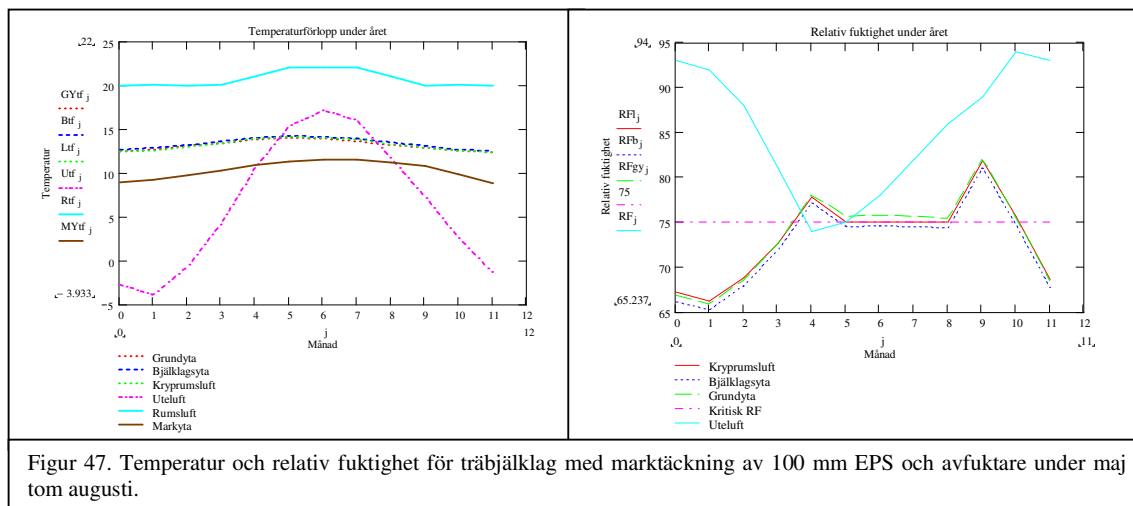
Tabell 14. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av 100 mm EPS och tillskottsvärme på 5 respektive 1,5 W/m<sup>2</sup> för trä- och lättbetong och 5 respektive 1 W/m<sup>2</sup> för betongbjälklaget.

### Marktäckning med 100 mm Expanderadpolystyren (EPS) och avfuktare.

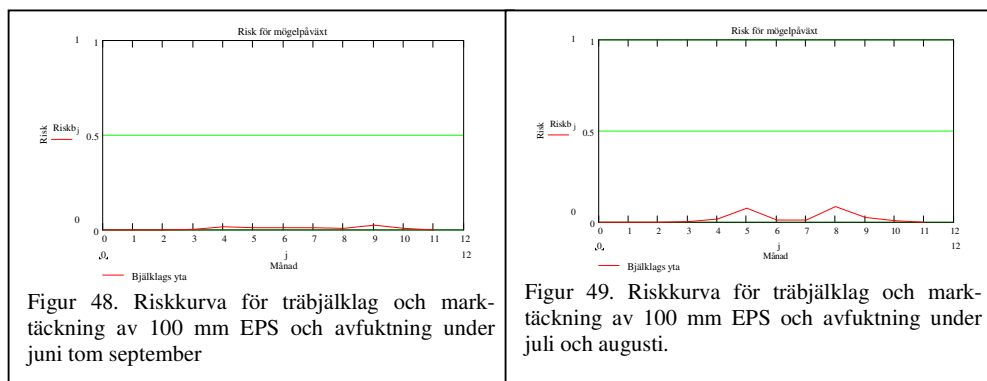
Vid simuleringar med marktäckning och en avfuktare under perioden juni till september ligger RF endast över 75 % under ca 3 månader och högsta nivån som uppnås är ca 85 % vilket sker under hösten. När avfuktaren simuleras i kryprummet sänks ventilationen vilket innebär att temperatur skillnaden mellan högst och lägsta temperatur minskas. Temperaturen i kryprummen ligger som lägst under vintern på ca 12,5 °C och högsta temperaturen är ca 14 °C, skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur är alltså endast ca 1,5 °C. Marken under isolering ligger ca 3,5 °C lägre än ovanliggande ytor i temperatur. Minskad ventilation till 0,2 oms/h innebär också att RF i kryprummet blir ca 6 procentenheter högre under den period när avfuktaren inte är igång, i jämförelse med normal ventilation 0,5 oms/h. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med avfuktare under juni tom september se figur 47.

## Fuktproblem i uteluftsventilerade krypgrunder - Tekniska åtgärder

Eftersom den relativa fuktigheten i kryprummet endast kort når 85% är risken för mögeltillväxt låg och avfuktningstiden kan kortas till 1 månad utan att totalårsrisken för något av bjälklagen överstiger nivån 0,5 riksmånader.



Drifttiden för avfuktaren i timmar vid 4 månaders drift är 2880, för 2 månader är antalet drifttimmar 1440 och vid 1 månad är antalet 720. Effektåtgången för att klara max avfuktningens behov är 0,44 kW. Vilket ger en total energiåtgång på 1267, 633 och 316 kWh/år.



Risken för mögeltillväxt samt maxkapacitet för avfuktaren visas i tabell 15. Mögelriskkurvor för träbjälklaget med avfuktning under 4 respektive 2 månader se figur 48 och 49.

Bjälklagstyp	Total årsrisk 4 mån	Max risk 4 mån	Total årsrisk 1 mån	Max risk 1 mån	Max avfukt. Kapacitet, kg/h
Trä	0,088	0,026	0,231	0,085	0,118
Lättbetong	0,089	0,027	0,234	0,086	0,113
Betong	0,082	0,022	0,326	0,163	0,084

Tabell 15. Risk för mögeltillväxt med marktäckning av EPS och avfuktare under fyra resp. 2 för trä- och lättbetong samt under en månad för betong bjälklaget.

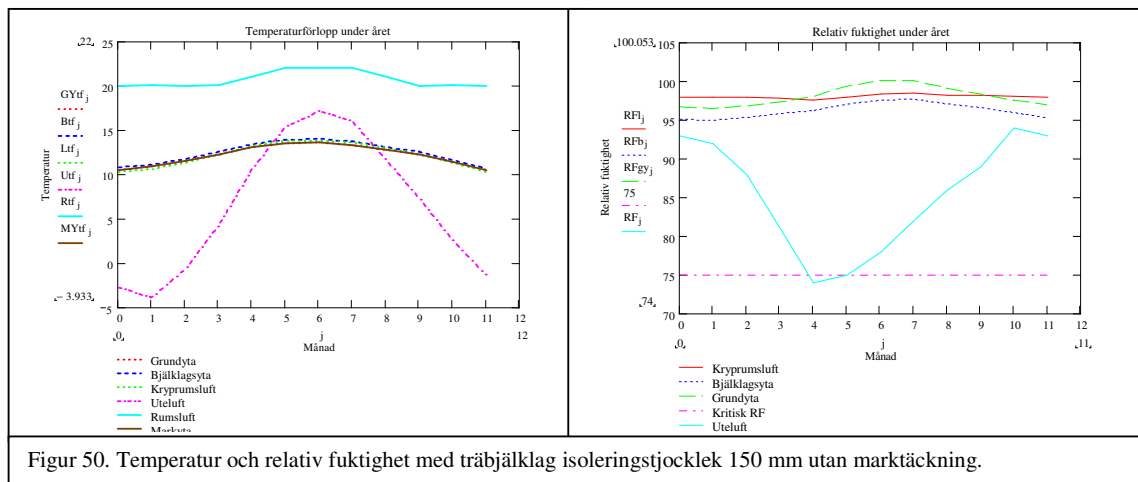
### 14.1 Simulering med minskad isolering i bjälklaget.

Effekten av minskat värmegenomgångsmotstånd är väl kända och har bl.a visats av Kurnitski 2001 och även i viss mån av Svensson m.fl. Simuleringarna med minskad bjälklagsisolering redovisas därför endast för träbjälklaget och endast för några av de prövade lösningarna.

Vid simuleringen med träbjälklag med minskat värmegenomgångsmotstånd är isoleringstjockleken minskad från 220 till 150 mm mineralull.

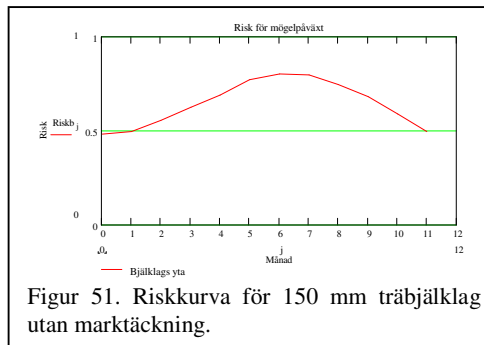
#### Simuleringar med träbjälklag och minskad isolering till 150mm.

Resultaten av simuleringarna med och minskad isoleringstjocklek i träbjälklaget från 220 till 150 mm mineralull, visar grundfallet utan marktäckning ingen skillnad av betydelse i RF nivå i jämförelse med bjälklaget med 220 mm mineralull. RF nivåerna ligger under hela året runt 95- 100 % vilket innebär att risken för mögeltillväxt är hög. Temperaturerna är i jämförelse med det mer välisolerade bjälklaget en dryg 1°C högre. Lägsta temperaturen under vinter är ca 10,5 °C och högsta temperaturen på sommaren är ca 14 °C. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget se figur 50.

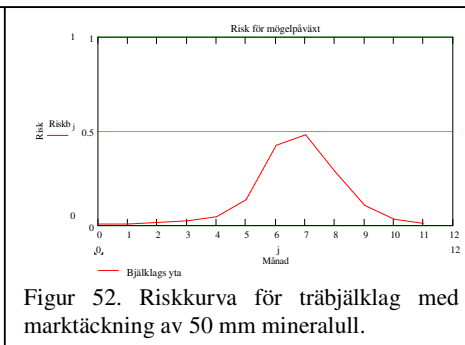


Figur 50. Temperatur och relativ fuktighet med träbjälklag isoleringstjocklek 150 mm utan marktäckning.

I fallet med en PE-folie på marken påverkas inte temperaturen men RF sjunker under vintern till som lägst runt 70 %. Under sommaren når RF i krypprummet som högst runt 100 % vilket innebär risk för mögeltillväxt.



Figur 51. Riskkurva för 150 mm träbjälklag utan marktäckning.



Figur 52. Riskkurva för träbjälklag med marktäckning av 50 mm mineralull.

Totalårsrisken och max risken blir något lägre för det mindre isolerade bjälklaget i fallet utan marktäckning samt i fallet med en PE-folie på marken. Mögelriskkurvor med och utan PE-täckning se figur 51 och 52.

Risken för mögeltillväxt utan marktäckning samt med en PE-folie på marken redovisas i tabell 16

Bjälklagstyp	Total årsrisk Utan marktäckning	Max risk Utan marktäckning	Total årsrisk 50 mm Mineralull	Max risk 50 mm Mineralull.
Trä	7,7	0,8	1,574	0,482

Tabell 16. Risk för mögeltillväxt för träbjälklag utan marktäckning samt med 50 mm marktäckning av mineralull.

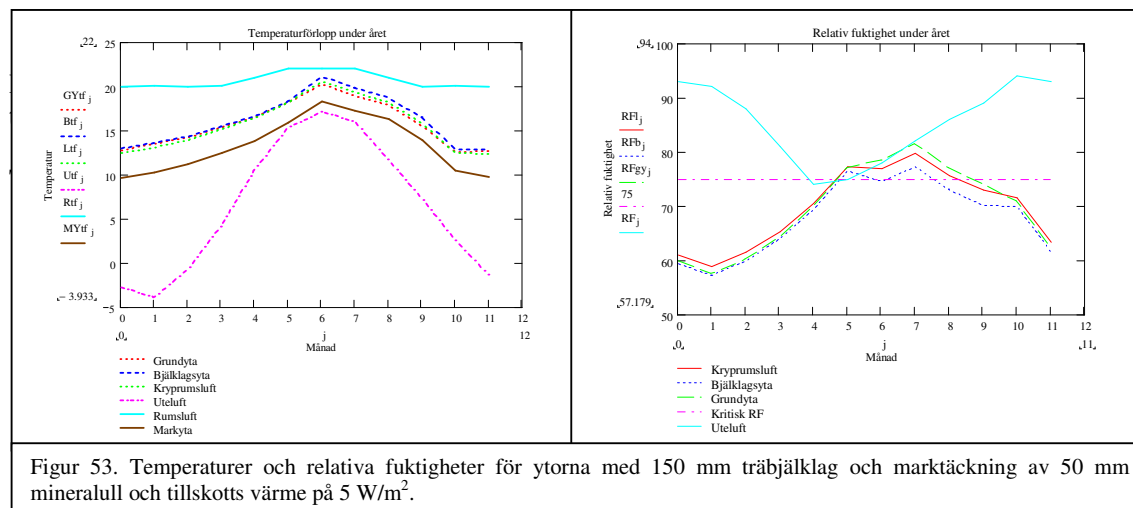
**Marktäckning av 50 mm EPS-isolering samt tillskotts värme 5 W/m<sup>2</sup>.**

När marken i det varmare krypprummet täckt med 50 mm EPS eller mineralull ligger lufttemperaturen i krypprummet ca 1 °C högre i krypprummet än det mer välisolerade bjälklaget. Temperaturen blir som lägst ca 11 °C och högsta temperaturen blir närmare 15 °C. Temperatur och relativ fuktighet för träbjälklaget med tillskottsvärme på 5 W/m<sup>2</sup> se figur 53.

Temperaturhöjningen i krypprummet innebär att RF i krypprumsluften ligger mellan 2 – 4 % lägre i jämförelse med det kallare bjälklaget. Detta innebär också att risken för mögeltillväxt blir lägre för det varmare bjälklaget. Men även om värdet för mögeltillväxten sjunker ligger det högre än vad som satts som gräns vid simuleringarna. Värdena på totalårs- och maxrisk för mögeltillväxt för det varmare bjälklaget med marktäckning av 50 mm EPS med och utan tillskottsvärme se tabell 17.

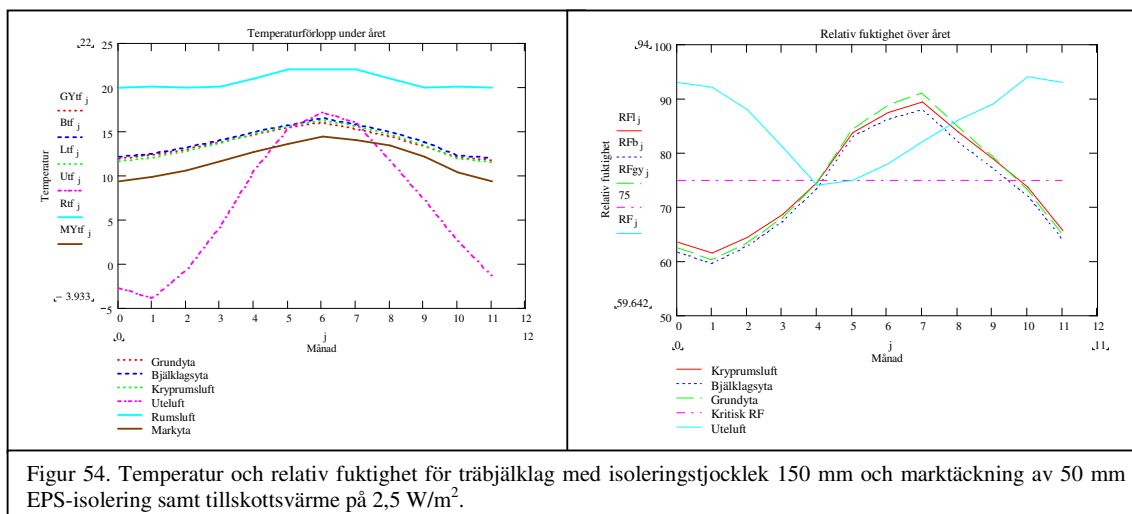
Bjälklagstyp	Total årsrisk 50 mm EPS-isolering	Max risk 50 mm EPS-isolering	Total årsrisk 50 mm EPS-isolering och 5 W/m <sup>2</sup>	Max risk 50 mm EPS-isolering och 5 W/m <sup>2</sup>	Total årsrisk 50 mm EPS-isolering och 2,5 W/m <sup>2</sup>	Max risk 50 mm EPS-isolering och 2,5 W/m <sup>2</sup>
Trä	1,302	0,569		0,167	0,405	0,167

Tabell 17. 150 mm träbjälklag med marktäckning av 50 mm EPS-isolering samt fallet med tillskottsvärme på 5 och 2,5 W/m<sup>2</sup>.



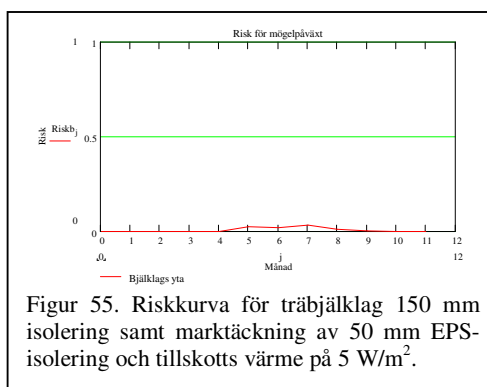
Figur 53. Temperaturer och relativa fuktigheter för ytorna med 150 mm träbjälklag och marktäckning av 50 mm mineralull och tillskotts värme på 5 W/m<sup>2</sup>.

## Fuktproblem i uteluftsventilerade krypgrunder - Tekniska åtgärder

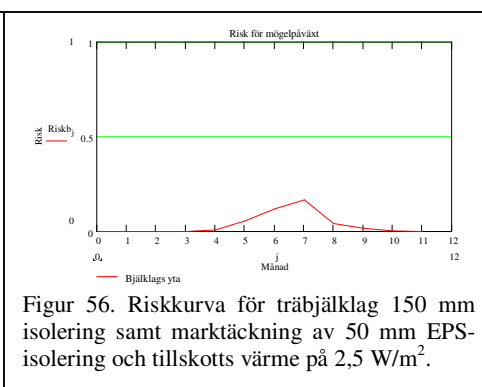


Figur 54. Temperatur och relativ fuktighet för träbjällklag med isoleringstjocklek 150 mm och marktäckning av 50 mm EPS-isolering samt tillskottsvärme på  $2,5 \text{ W/m}^2$ .

Mögelriskkurvor för träbjällklaget med tillskottsvärme på 5 respektive  $2,5 \text{ W/m}^2$  se figur 55 och 56.



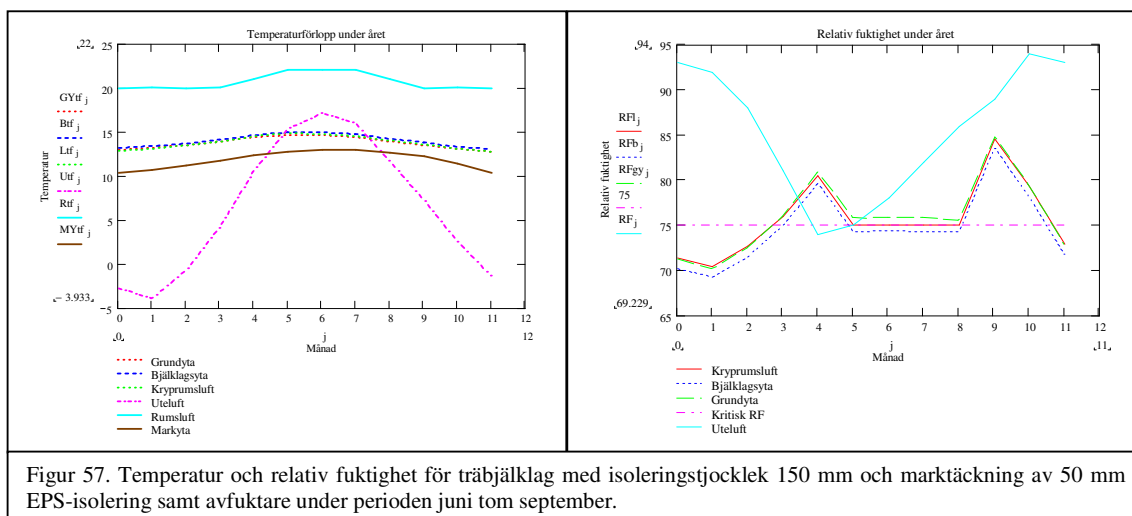
Figur 55. Riskkurva för träbjällklag 150 mm isolering samt marktäckning av 50 mm EPS-isolering och tillskotts värme på  $5 \text{ W/m}^2$ .



Figur 56. Riskkurva för träbjällklag 150 mm isolering samt marktäckning av 50 mm EPS-isolering och tillskotts värme på  $2,5 \text{ W/m}^2$ .

### Marktäckning med 50-mm EPS-isolering och avfuktare under perioden.

När ventilations omsättningen sänks från 0,5 till 0,2 omsättningar per timma i fallet med det varmare Kryprummet stiger temperaturen under vintern med ca  $1,5^\circ\text{C}$ . Sänkningen under sommaren blir endast ca  $0,5^\circ\text{C}$ . Lägsta temperaturen blir ca  $13^\circ\text{C}$  och högsta ca  $15^\circ\text{C}$ .

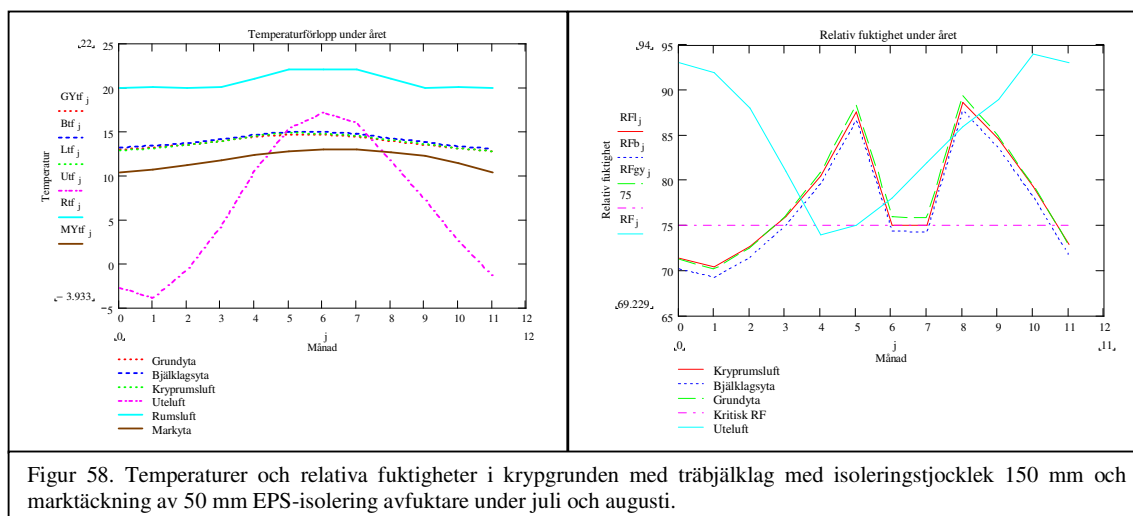


Figur 57. Temperatur och relativ fuktighet för träbjällklag med isoleringstjocklek 150 mm och marktäckning av 50 mm EPS-isolering samt avfuktare under perioden juni tom september.

Sänkningen av ventilationen innebär också att RF under vintern ökar med ca 7 procentenheter. RF under vintern är som lägst ca 70 %.

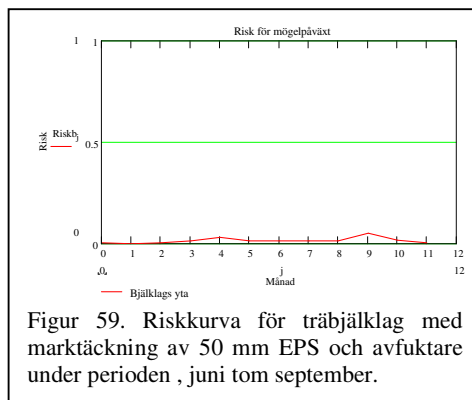
I fallet med avfuktning under juni till september når RF ca 80 % innan avfuktningen börjar. Efter avfuktningsperioden stiger RF till som högst ca 85 %. När avfuktningsperioden förkortas till två månader och avfuktning sker under juli och augusti når RF ca 88 % innan avfuktningen börjar. Efter avfuktningsperioden stiger RF till som högst ca 90 %.

Temperaturer och relativa fuktigheter för simuleringarna med marktäckning av 50 mm EPS-isolering och avfuktning under fyra och 2 månader visas i figur 57 respektive figur 58.

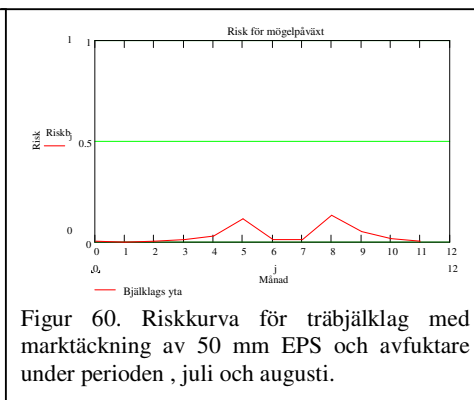


Figur 58. Temperaturer och relativa fuktigheter i krypgrunden med träbjälklag med isoleringstjocklek 150 mm och marktäckning av 50 mm EPS-isolering avfuktare under juli och augusti.

Mögelriskkurvorna för träbjälklaget med marktäckning av EPS-isolering samt avfuktning under fyra respektive 2 månader se figur 59 och 60.



Figur 59. Riskkurva för träbjälklag med marktäckning av 50 mm EPS och avfuktare under perioden , juni tom september.



Figur 60. Riskkurva för träbjälklag med marktäckning av 50 mm EPS och avfuktare under perioden , juli och augusti.

Risken för mögeltillväxt för de varmare bjälklagen med marktäckning av 50 mm EPS-isolering redovisas i tabell 18. Drifftiden för avfuktaren i timmar vid 2 månaders drift är 1440 och vid 4 månader är antalet drifttimmar 2880. Effekttåtgången för avfuktaren som klarar max avfuktningens behovet är 0,44 kW, vilket ger en total energi åtgång på ca 633, respektive 1267 kWh/år.

Bjälklagstyp	Total årsrisk 50 mm EPS och avfuktare juni tom sept	Max risk 50 mm EPS och avfuktare jun tom sept	Total årsrisk 50 mm EPS och avfuktare jul och aug	Max risk 50 mm EPS och avfuktare jul och aug	Max avfuktningens kapacitet, kg/h
Trä	0,145	0,048	0,371	0,132	0,141

Tabell 18. 150 mm träbjälklag med marktäckning av 50 mm EPS-isolering och avfuktare under 4 respektive 2 månader.

## 15 Diskussion

Anledningen till att de olika åtgärderna för att komma tillrätta med fukt och mögelproblemen i kryppgrunder, prövats genom simulering att man lättare kan specialstudera enskilda parametrar och på så sätt se hur dessa påverkar klimatet. Undersökningar i fält kräver lång tid för att kunna se resultatet av olika åtgärder. Nackdelen med simuleringar är att det är svårt att efterlikna verkliga förhållanden. Simuleringar innebär att man måste göra en mängd antaganden och ofta även förenklingar av verkliga förhållanden. Resultaten man får genom simuleringar måste därför analyseras och bedömas utifrån den modell som använts. De ingångsparametrar som används vid simuleringarna är avgörande för vilket resultat man erhåller. Valet av parametrar måste därför göras med stor omsorg.

Vid valet av ingångsparametrar för klimatet i detta arbete har tanken varit att ge ett fuktigare klimat än vad som normalt råder eftersom det med jämna mellanrum inträffar extremår. I byggnadssammanhang brukar man prata om 10-, 50- och 100-årsfallet. Med detta menar man att ett extremfall tex nederbörd, storm, inträffar en gång under ett visst antal år.

Ett krypprum kan fungera under en lång tid, tills det att extremår infaller och problemen uppträder. För att en konstruktion skall kunna vara säker räcker det inte att den klarar av normala belastningar utan den måste även tåla förhållanden som är värre än det normalt, så kallade extremår. Det går naturligtvis inte att helt bygga så att man klarar av de allra värsta fallen, eftersom detta skulle innebära allt för stora kostnader. Svårigheten är därför att avgöra hur stor risk man är villig och ta och hur mycket det får kosta att få en rimligt säker konstruktion.

Tittar man på krypprumsproblematiken är ett värsta scenario, en kall vinter som följs av en varm och fuktig sommar. De olika lösningar som prövats i detta arbete har prövats med ett klimat som tagits fram genom att kombinera olika klimatdata. Detta är naturligtvis inte det klimat som normalt uppträder men kan tänkas vara ett värsta scenario. Klimatet som tagits fram består av månadsmedelvärden under perioden 1961-1990. För temperaturen har 50 % fraktilen använts och för RF har 95 % fraktilen använts. Genom att använda 95 % fraktilen för RF blir klimatet fuktigare än vad det normalt brukar vara.

Eftersom modellen som använts vid simuleringarna inte har verifierats med mätningar i fält är det inte möjligt att avgöra hur väl att de olika värdena på temperaturer, relativa fuktigheter, energiförbrukning och mögelrisker stämmer med verkliga förhållanden. Resultaten på de olika lösningarna överensstämmer dock relativt bra med t ex resultaten som Kurnitski 2000 och Svensson 2001 erhållit vad det gäller mögelrisker, temperaturer och fuktnivåer. De resultat som erhållits genom simuleringarna ger därför troligen en tydlig och rättvis bild, av hur de olika lösningarna fungerar och visar vilket alternativ som ger de bästa förhållandena för att förhindra fukt och mögelproblem.

Tanken med arbetet är inte att ange exakta värden för mögelrisker, RF-nivåer och temperaturer utan att resultaten skall vara till hjälp för att jämföra olika tekniska lösningar och att man på så sätt kunna avgöra vilken lösning som kan tänkas fungera bäst i fält.

### Simuleringsmodellen

Den modell som används vid simuleringarna är endimensionell. Detta betyder att hänsyn endast tagits till värmefflöden i en dimension. Förenklingen av modellen till en dimension är naturligtvis en begränsning. Men genom att modellen simulerar den del av grunden som ligger i byggnadens mitt, torde inverkan av de yttre regionerna inte inverka så mycket på resultaten. I krypprummets centrum sker förändringarna långsammast och det är troligen här som problemen är störst. Förenklingen till en dimension gör att modellen blir betydligt enklare och snabbare att jobba med.

I modellen sker temperatur och fuktberäkningarna var för sig. Detta innebär att temperaturförändringar pga av markavdunstning eller kondensation inte finns med i beräkningarna. Minskad avdunstningen innebär att temperaturen i krypprummet höjs pga minskad värmeåtgång för avdunstning. Vid kondensation är förhållandet omvänt och värme avges istället. Vid simuleringarna innebär



förenklingen att skillnaderna i temperatur p.g.a markavdunstning mellan material med olika diffusionsmotstånd inte syns, vilket missgynnar de tätare materialen som PE-folie och EPS-isolering.

Inverkan av minskad eller ökad avdunstning på temperaturen i ett kryprum kan vara så mycket som ca 2 °C vilket visats av Kurnitski 2000. De skillnader som visats mellan mineralullen och tätare material när det gäller RF-nivåer måste behandlas med försiktighet, eftersom en temperaturskillnad på 2 °C kan innebära en skillnad i RF på upp till 10 % beroende på vilken nivå RF ligger på.

En annan förenkling som gjorts i simuleringsmodellen är att materialens fuktkapacitet inte tas med i beräkningarna. Detta medför att variationerna mellan de olika krypgrundstyperna minskar. Mellan de olika marktäckningsmaterialen har inverkan av fuktkapaciteten troligen inte någon större inverkan på resultaten, eftersom inget av de simulerade materialen har någon större fuktkapacitet.

### **Bedömning av mögelrisk**

När det gäller att bedöma hur stor risken är för att mögel skall börja växa, finns det idag ingen exakt metod. Men för att kunna göra jämförelser mellan olika simulerade åtgärder kan en funktion som den som används i detta fall vara till god hjälp. Funktionen ger inget exakt svar på om mögel uppstår eller ej, men kan ge ett svar på vilken åtgärd som sänker mögelrisken mest.

En annan svårighet vid simuleringarna har varit att bestämma en acceptabel nivå för mögelrisken. Hur står insats för förhindra mögel är acceptabelt eller rimligt i jämförelse med minskningen i risk. Skall man acceptera en viss risk eller ej. Vid valet för en acceptabel risknivå valdes en totalårsrisk på 0,5 riskmånader. Detta kan motsvaras av en sänkning med risken ca 24 gånger i den aktuella modellen. Max risk innebär 12 riskmånader. Risknivån som satts kan naturligtvis diskuteras. Den skall inte ses som ett definitivt värde på vad som är en acceptabel mögelrisk utan som ett hjälpmedel för att jämföra olika åtgärder.

Skillnaden mellan olika simulerade lösningar kan i vissa fall bli stor när risken för mögeltillväxt är låg. Detta beror på att värdena för låga risker i modellen är osäkrare. Vid högre temperatur och RF är modellen bättre och jämförelser mellan olika risknivåer blir också säkrare.

### **Simuleringar utan marktäckning**

Vid simuleringarna av de olika krypgrundstyperna utan någon marktäckning, ligger RF i samtliga fall runt 100 % vilket innebär att både totalårs- och maxrisken för mögeltillväxt är hög. Under vintern beror den höga fuktigheten till stor del på markavdunstningen. Vid beräkningarna antas det att marken kan transportera fukt med sådan hastighet att marken hela tiden kan hålla 100 % RF. Detta är inte alltid är fallet i verkligheten men det kan inte uteslutas. Under vintern är temperaturen lägre och luften mätnadsånghalt mindre. Fuktblödet under uppvärmningsperioden går från marken till luften och markavdunstningen är så pass hög att kryprumsluften är mättat.

Under sommaren är det temperaturförhållandena som är största orsaken till högt RF. Marken och övriga ytor är kallare än uteluften. När varm luft med hög ånghalt förs in i kryprummet kommer denna att kylas och RF stiger. Ånghalten är under delar av sommaren högre i luften än marken och fuktblödet går då från luften till marken istället.

I grundfallen av simuleringarna visar resultaten inga större skillnader i temperaturer och RF, mellan de olika bjälklagen. Detta beror på att markens värmekapacitet är så pass stor att inverkan av bjälklagets värmekapacitet blir relativt liten. Det är istället värmeledningsförmågan i bjälklaget som har något större inverkan på temperaturen. Värmemotståndet har så långt som möjligt försökts få lika för de olika bjälklagen. Men pga isolerings- och bjälklagstjocklekar har detta inte varit helt möjligt. Detta syns i resultaten genom att lättbetongbjälklaget har något lägre temperaturer än de två andra bjälklagen eftersom det har något större värmemotstånd än trä- och betongbjälklaget.

När en del av markens värmekapacitet isoleras bort blir skillnaderna mellan bjälklagen tydligare. I de lättare bjälklagen som trä och lättbetong anpassar sig temperaturen snabbare till uteluftens temperatur vilket innebär att temperaturen stiger snabbare på våren för dessa, men också att de snabbare kyls ner under hösten. För betongbjälklaget tar det längre tid att värmas upp under våren men det håller å andra sidan temperaturen längre under hösten.

### **Simuleringar med enbart marktäckningar**

I grundfallet utan någon marktäckning eller en marktäckning utan värmeisolerandeförmåga är skillnaden mellan max- och mintemperatur i krypgrunden endast några grader.

Om marken i grunden täcks med ett värmeisolerandematerial blir skillnaderna mellan ute- och kryprumstemperatur mindre. Genom att temperaturen i grunden snabbare anpassar sig när en del av markens värmekapacitet isolerats bort. Vid ökad isoleringstjocklek på marken blir skillnaderna mellan ute- och kryprumstemperatur mindre och skillnaden mellan max- och mintemperatur i grunden blir större.

Simuleringarna av olika marktäckningar utan värme eller avfuktare visar att totalårsrisken för mögelpåväxt minskas för alla studerade material. Maxrisken stiger däremot för de diffusionstätare materialen som PE-folie eller EPS-isolering. Det enda materialet som inte får högre maxrisk är mineralullsisoleringen.

Minskningen av totalårsrisken för de tätare materialen beror på att marktäckningen delvis förhindrar markavdunstningen och därmed sänker RF i krypgrunden under uppvärmningsperioden. I fallet med EPS-isoleringen blir även temperaturen högre i kryprummet, vilket resulterar i ytterligare sänkt RF under samma period.

Under sommaren är temperaturen och ånghalten ute högre än i krypgrunden. Detta innebär att ventilationsluften som tas in i krypgrunden kyls ner vilket resulterar i att RF stiger. Eftersom ånghalten i ventilationsluften är högre än i marken uppstår en fukttransport från luften till marken under sommaren. Att max risken stiger för de tätare materialen beror på de tätare materialen förhindrar fuktflödet från luften till marken.

I fallet med en diffusionsöppen marktäckning som mineralull blir både totalårsrisk och maxrisk för mögeltillväxt lägre. Sänkningen beror på att markavdunstningen minskas under uppvärmningsperioden, när temperaturen på marken blir lägre. Att även maxrisken för mögeltillväxt sänks beror på att mineralullen inte förhindrar fuktflödet från luften till marken under sommarperioden.

Resultaten av simuleringarna visar att höga RF under uppvärmningsperioden inte orsakas av temperaturförhållandena mellan uteluft och kryprum utan beror på fuktillskott från markavdunstning och diffusion genom bjälklag. Under sommaren är däremot just temperaturförhållandena mellan grund och uteluft som orsakar höga RF nivåer. Ånghalten i uteluften räcker för att luftens mätnadsånghalt skall uppnås genom att den kyls ner i kryprummet.

Simuleringarna visar att bäst resultat med en lösning med enbart en markisolering. Ges av ett material med hög värmeisolerande förmåga, som är diffusionsöppet och tillåter fuktflöde från luften till marken under sommar perioden. En lösning med ett diffusionstätt material som EPS eller PE-folie sänker visserligen totalårsrisken, vilket beror på att risken under den kalla perioden minskas. Under den varmare perioden stiger istället risken. Det är också under den varmare perioden som risken för mögel normalt är störst. Detta innebär att en lösning med enbart en tät marktäckning istället för att lösa fuktproblemet kan ge upphov till problem.

Att den relativa fuktigheten blir högre för de tätare materialen och att max risken mögeltillväxt därmed ökar måste tas med försiktighet eftersom ångbildnings- och kondensationsvärme inte tas med i

beräkningarna. Största skillnaden i RF mellan EPS- och mineralullsisolering är under sommaren inom intervallet 5 % RF. Skulle ångbildningsvärmerna tas med i beräkningarna är det möjligt att förhållandena skulle bli annorlunda.

### **Simuleringar med värme eller avfuktare och marktäckning.**

Simuleringarna med enbart tillskottsvärme eller avfuktare utan marktäckning i krypgrunden visar att detta inte är någon tänkbar lösning. Eftersom inte markavdunstningen förhindras finns det alltid en risk att fukten i marken är tillräckligt för att uppnå höga RF nivåer. Om enbart en avfuktare används måste denna ha så pass stor kapacitet att, den dels klara ånghalten i luften men också klara den mängd fukt som kan tillföras genom markavdunstning. Även om marken är täckt med ett kapillärbrytande skikt finns det risk att marken under kan transportera fram fukt i den omfattningen så att kritiska nivåer uppnås. Inte heller en lösning med enbart värme är en säker lösning. Värmetillförseln innebär visserligen att RF i luften sänks p.g.a ökad temperatur. Men den ökade temperaturen innebär också att markavdunstningen ökar. Så om inte markavdunstningen förhindras finns risk för att kritiska fuktnivåer uppkommer.

Vid simuleringarna med både en marktäckning och antingen värme eller avfuktare visar resultaten att marktäckningen skall ha en hög värmeisolerandeförmåga och samtidigt vara diffusionstät. Marktäckningens uppgift är dels att höja temperaturen i kryprummet och dels att förhindra markavdunstningen. En diffusionsöppen marktäckning sänker visserligen temperaturen på marken så att markavdunstningen minskar. Men när samtidigt värme tillförs i kryprummet kommer även marken under isoleringen att värmas upp, vilket gör att markavdunstningen ökar. Detta förhindras genom att använda ett diffusionstätt material.

Om man istället för värme använder en avfuktare i krypgrunden kommer denna att sänka ånghalten i kryprummet. Detta leder till att ånghalten under isoleringen blir högre än ånghalten i kryprummet och fukt från marken kommer att transporteras från marken till luften. Detta innebär att avfuktaren dels måste klara av att avfukta ventilationsluftens ånghalt men också det tillskott som kommer från markavdunstningen.

Det går visserligen att sänka RF nivån till säkra nivåer med en öppen marktäckning och antingen värme eller avfuktare men effektförbrukningen för värme och avfuktare blir stora. I fallet med avfuktaren beror detta på att avfuktaren måste ha en större kapacitet och för värmen måste en större värmeeffekt tillföras.

Vid simuleringarna har driftperioden för avfuktaren varit mellan 1-5 månader beroende på vilket material som använts. Ett värmeisolerande material som samtidigt har hög diffusions täthet ger i fallet med avfuktare en kortare driftperiod samt en mindre avfuktnings kapacitet.

En kombination av värme och ett diffusionstätt och värmeisolerande material innebär att effekten på värmen kan sänkas.

## 16 Slutsatser

Krypprumproblematiken är till stor del ett värmeproblem. Ånghalten i ventilationsluften räcker för att kritiska fuktnivåer skall uppnås p.g.a värmetrögheten i mark och konstruktion. Detta gäller även om fuktillskotten från bostad, läckage och markavdunstning förhindras. Dessa fuktfaktorer bidrar endast till att förvärra situationen.

För att undvika problem med mögel och elaklukt gäller det därför att både förhindra fuktillskotten från mark och bostad och samtidigt bemästra temperaturproblematiken. En fungerande lösning för att mögeltillväxt inte skall uppstå i en kryppgrund kräver antingen värmetskott eller avfuktning i kombination med en marktäckning.

### Marktäckning och värmetskott

Den effektivaste och enklaste lösningen för att förhindra gynnsamma förhållanden för mögeltillväxt är en värmeisolerande marktäckning med låg värmekapacitet, hög diffusionstäthet i kombination med tillskottsvärme.

Värmetskottet medför att relativa fuktigheten i krypprymten sjunker eftersom temperaturen stiger. Genom att tillföra värme höjs också temperaturen på marken vilket kan ge ökad markavdunstning. En lösning med en värmekälla ger därför bäst resultat om den kombineras med en tätare marktäckning som förhindrar markavdunstningen.

En öppen marktäckning i kombination med värme medför att mätnadsånghalten i krypprymten höjs p.g.a. Temperaturhöjningen. Om markavdunstningen inte förhindras finns ändå risk att RF-nivåerna högs.

Fördelen med värmetskott i jämförelse med avfuktning är att denna kan göras med relativt enkla medel. Värmekällan kan utgöras av en enkel radiator. Ett värmetskott i kryppgrunden innebär inte bara att temperaturen på krypprumsluften stiger utan även mark och konstruktion kommer att få en högre temperatur. Skulle värmetskottet upphöra kommer effekten av värmetskottet att finnas kvar under viss tid genom konstruktionens värmetröghet.

Eftersom värmebehovet i krypprummet är störst under sommaren när tillgången på sol är störst, är en solfångare en tänkbar värmekälla. En mindre solfångare som kopplas till ett system för distribuering av värmen till kryppgrunden kan vara en ekonomisk och tekniskt fungerande lösning. En sådan lösning kräver dock utförligare undersökningar och beräkningar av kostnad och storlek på solfångaren samt tekniska lösningar för hur värmen skall tillföras och fördelas i krypprummet.

### Avfuktare och marktäckning

Åtgärden med en avfuktare i kryppgrunden är effektiv för att minska risken för mögelproblem. Detta förutsätter att marken är täckt med ett diffusionstätt material som förhindrar markavdunstningen. Har marktäckningen dessutom en värmeisolerande förmåga sänks behovet på avfuktarens kapacitet eftersom temperaturen i krypprummet blir högre.

Nackdelen med avfuktning är att denna kräver större underhåll och är dyrare i inköp än t.ex. en radiator. Slutligen avfuktaren av någon anledning att fungera kommer dessutom den relativa fuktigheten i kryppgrunden snabbt att stiga till samma nivå som skulle råda utan en avfuktare i grunden.

### Enbart markisolering

En lösning med enbart marktäckning räcker inte för att helt eliminera risken för mögeltillväxt. Troligtvis klarar sig konstruktionen under normala förhållanden, men vid extremår finns risk för att problem uppträder. Är marktäckningen diffusionstätt kan detta till och med leda till att max-risken ökar. Lågst max-risk med endast marktäckning fås då den utförs med ett diffusionsöppet material som mineralull.

Ett tätare marktäckningsmaterial som PE-folie och EPS-isolering, sänker fuktnivån i kryprummet under den kallare perioden av året men under den varma delen förhindras fuktflödet från kryprumsluft till marken vilket innebär att risken för mögeltillväxt blir större än utan marktäckning. Tätare marktäckningar minskar totalårsrisken för mögeltillväxt men höjer maxrisken i jämförelse med en krypgrund med otäckt mark eller en diffusionsöppen marktäckning.

En diffusionsöppen marktäckning som t ex mineralull ger något högre totalårsrisk än t ex EPS-isolering. Däremot blir max-risken under sommaren betydligt lägre eftersom den tillåter fuktflöde från luft till marken under sommaren när uteluften är varmare än kryprummet.

Det skall dock beaktas att kondensations och ångbildningsvärme inte tagits med vid beräkningarna och resultatet kan mycket väl bli något annorlunda om detta tas med i beräkningarna.

### **Olika markisoleringar**

En åtgärd med enbart marktäckning ger enligt simuleringarna inte helt acceptabla fuktnivåer i krypgrunden. En isoleringstjocklek på 100 mm EPS- eller mineralullsisolering kan kanske räcka för att ge en fuktsäker konstruktion vid normala år men under år med högre fuktbelastning kan fuktproblem uppstå.

I fallen med olika marktäckningar samt avfuktning eller värmetillskott är tätare marktäckningar bättre än diffusions öppna. Material som EPS eller PE-folie förhindrar effektivt markavdunstningen och huvuddelen av fukten kommer via ventilationsluften. Genom att antingen värma eller avfukta luften i kryprummet kommer RF-nivån att kunna hållas nere på säkra värden.

### **Bjälklagstypens betydelse**

Resultatet av simuleringarna visar inte några större skillnader mellan de olika bjälklagstyperna. Utan marktäckning är nivån på temperatur och relativfuktighet hos de olika bjälklagstyperna, betong-, lättbetong- och träbjälklag relativt lika. Vid simulering med marken i krypgrunden täckt med värmeisolering blir inverkan av bjälklagets värmekapacitet tydligare. Markisoleringen medför att tyngre bjälklagskonstruktioner som bjälklag av betong värms upp långsammare under sommaren än tex ett bjälklag av trä. Men trögheten innebär också att bjälklaget får en något högre temperatur under hösten än träbjälklaget. Skillnaderna mellan bjälklagen vid de simulerade markisoleringstjocklekarna är dock marginella.

## **17 Referenser**

- Anderlind G, Fukthandboken, 1991, Gullfiber AB, ISBN 91-630-0504-2
- Andersson B I, 1991, Fuktsäkring av krypgrunder; Träteknik Centrum, Rapport P 9004022
- Andersson B I, 1995, Fältundersökning av uteluftsventilerade krypgrunder, avdelningen för konstruktionslära, Arkitektur och stadsbyggnad, KTH ISSN 1101-9498
- Björk F, Mattsson B, Jóhannesson G, 2001, Skador i Småhus – Gamla beprövade misstag? Avdelningens för Byggnadsteknik KTH, Stockholm, ISSN 1404-9457
- Carlsson A 1974, Elak lukt i källarlösa hus, Statens institut för Byggnadsforskning, SIB 21:1975
- Elmroth A, 1975, Kryprumsläggning, Rapport R12:1975, Institutionen för Byggnadsteknik, KTH, Stockholm
- Elmroth A, Åberg O, 1990, Kryprumsseminarium Sammanställning av föredrag och referat, TVBH-7127, samarrangemang av Avd. för Byggnadsfysik, LTh och Träteknik, tvärgrupp fukt
- Fukt och mögel i bostäder Faktadel, Svenskbyggtjänst 1986
- Gustavsson I, Löser fuktproblem med strålning, artikel Borås Tidning 8/10 2001
- Hallenberg N, Gilert E, 1983, Svamp och mögel. SP- INFO 1983:03 Borås

- Hallenberg N, Gilert E, 1993, Mikrobiologiska analyser av prover från byggnad, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, SP Rapport 1993:19
- Hallenberg N, Gilert E, 1993, Svamp och mögelukt, Statens provningsanstalt, Borås, SP INFO 1983:03
- Hansson T, 1992, Torrare kryprum genom uppvärmning. Trätek, Rapport ISSN 1102-1070
- Hilling R, Palmgren U, Pegasus lab, 1993, Fukt, svamp och bakterier i byggnader. En handledning vid skadeutredningar, Sveriges Provnings och Forskningsinstitut, Borås, SP Rapport 1993:7
- Impregnerbarhet Biologiska skadegörare Hur skyddar men trä, Svenska Träskyddsinstitutet, Träskydd information 1997:1 ISSN 0348-4858
- Jóhannesson G, Myter värmer våra hus, artikel Forskning & framsteg 2001 nr 2.
- Jóhannesson G. 1999, Lectures in Buildnings Physics Part 2 Moisture transfer, Avd.för byggnadsfysik, KTH, Stockholm
- Jóhannesson G. 1999, Lectures in Buildnings Physics, Part 1 Heat transfer, Avd.för byggnadsfysik, KTH, Stockholm
- Karpe J, Att åtgärda fukt- och mögelskador, artikel Bygg och teknik 1988 nr 6 s 27-28, 31
- Kristiansson G, 35.00 0 småhus mögelskadade, artikel Dagens Nyheter 3/8-1999
- Kurnitski J, 2000, Humidity control in outdoor-air-ventilated crawl spaces in cold climate by means of ventilation, ground covers and dehumidification, Report A3, HVAC-laboratory, Tekniska Högskolan, Helsingfors
- Larsson S, Rätt skött fungerar ännu torpargrunden, artikel Husbyggaren 1992 nr 6, s 28-29.
- Carling O, Folin T, Jermer J, Lunström H. 1984 Träskyddshandbok, Svensk Byggtjänst, ISBN 91-7332-259-8
- Mårdberg B, 1995 Byggt teknik byt 1, Härnö-förlaget Härnösand
- Mårdberg B, 1995, Byggt teknik byt 2, Härnö-förlaget Härnösand
- Mårdberg B, 1995, Byggt teknik byt 3, Härnö-förlaget Härnösand
- Nilsson H, 1986 Mögelhus, Colego förlag ISBN 91-87-0480-43
- Ringmur med ventilerat kryperom, Hösten 1993, Byggtetaljer, Norges byggforskningsinstitut, Byggforskningsserien A 521.203
- Röta, Svenska Träskyddsinstitutet, Träskydd information 1992:1 ISSN0348-4858
- Samuelsson I, Omér S, 1982, Fukt och mögel Rutin för fältundersökning, SIB, ISBN 91-5409127-6
- Sedlbauer, K. 2001. Vorsage von Schimelpilzbildung auf und in Bauteilen (Prediction of mould manifestation on and in building parts). Thesis, University of Stuttgart.
- Sikaner E, 1996, Fuktsäkerhet hos några typer av byggnadskonstruktioner, SP Rapport ISBN 91-7848-639-4
- Svensson C, 2001, Effekter av åtgärder i uteluftsventilerade krypgrunder med fukt- och mögelskador. Rapport TVBH Lund, avdelningen för Byggnadsfysik, LTH.
- Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen, Hösten 1991, Byggtetaljer, Norges byggforskningsinstitut, Byggforskningsserien A 521.011
- Åberg O, 1995, Kryprumsgrunder, T10:1995, Byggforskningsrådet, Stockholm
- Åberg O, 2000, Åtgärder mot fukt i kryprumsgrunder, Byggforskningsrådet, Stockholm, ISBN 91-5405838-4
- Ökad risk för lukt byggnader, artikel Provning och forskning 1999 nr s 4