



# Energianvändning vid klimathållning och avfuktning under byggproduktion - Förstudie

**LÅGAN Rapport**

**2019-12-19**

Nicklas Karlsson, Carolina Larsson, Stephen Burke

## Förord

Förstudien för energianvändning för klimathållning och avfuktning under byggproduktion har tagits fram inom nätverket LÅGAN. Projektet har utförts under tiden september 2019 till november 2019 och har finansierats av Energimyndigheten. Projektet har haft en projektgrupp för genomförande bestående av:

Nicklas Karlsson, Skanska Sverige AB, Projektledare

Carolina Larsson, PEAB AB

Stephen Burke, NCC AB

Vi vill rikta ett stort tack till alla som har besvarat enkäterna i projektet. Ni har visat stort engagemang kring energi- och klimatfrågan i byggbranschen.

*Nicklas Karlsson, Carolina Larsson, Stephen Burke*

**December 2019**



**LÅGAN** (samverkan för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Sveriges Byggindustrier, Energimyndigheten, Boverket, Västra Götalandsregionen, Formas, byggtreprenörer, byggherrar och konsulter.

LÅGAN stöttar regionala nätverk inom byggande av lågenergibyggnader och skapar gemensamma projekt och studier för att utveckla och driva byggande och renovering av lågenergibyggnader framåt. LÅGAN ska bidra till att Sverige ska nå sina energimål genom att bostads- och lokalsektorn starkt effektiviserar sin energianvändning och ökar byggtakten av lågenergibyggnader.

[www.laganbygg.se](http://www.laganbygg.se)

# Sammanfattning

En förstudie har utförts kring energianvändning för klimathållning och avfuktning under byggproduktion. Studien har bestått av litteraturstudier, enkätstudier och beräkningar.

Från enkätstudierna riktade till byggherrar och entreprenörer kan följande slutsatser dras:

- Entreprenören betalar oftast för byggprojektens energifakturor i 2/3 av projekten
- Byggherren ställer sällan krav på energianvändningen under produktionen
- Byggherren ställer sällan krav på klimathållande och avfuktande utrustnings energieffektivitet
- I hälften av projekten har en dialog förts med entreprenören kring tidplanen för att minska energianvändningen under produktion
- Det är vanligt att byggvärme kompletteras med kondensavfuktare
- I en tredjedel av projekten påbörjas klimathållning och avfuktning innan tätt hus har uppnåtts
- Det är vanligt att tillfälliga tätningar för att uppnå tätt hus
- I hälften av projekten har utrustningsuthyraren planerat placering och dimensionering av utrustning för klimathållning och avfuktning
- I två tredjedelar av projekten har entreprenören betalat energifakturorna
- I 9 av 10 projekt har inte byggherren ställt några krav på energianvändning under produktion
- Fjärrvärme är det vanligaste energislaget för klimathållning
- Energianvändningen för klimathållning och avfuktning varierar mellan 1,7 – 100 kWh/m<sup>2</sup> BTA

Utifrån enkätsvaren har beräkningar av klimatpåverkan från klimathållning och avfuktning utförts. Klimatpåverkan för klimathållning och avfuktning per m<sup>2</sup> varierar mellan 0,3–6,0 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> vilket kan jämföras med 214–279 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> för en byggnadsstomme.

Beräkningar har gjorts för att uppskatta potentialen för två innovativa tekniker. Enligt dessa kan Altiflex system för tillfällig tillslutning minska energianvändningen för uppvärmning med ca 50% under 3 vintermånader när fasad inte finns på plats. Beräkningar för luftridåer visar att sådana kan minska energianvändningen för uppvärmning med 1 000–2 000 kWh/port under vinterhalvåret. Luftridåer ger även ett stabilare uttorkningsklimat.

En energibalansberäkning för uttorkning av betong har utförts och visar att det krävs ca 10–13 kWh/m<sup>2</sup> för att avdunsta fukten från betongen då VCT (vattencementtalet) är 0,3–0,4 och betongen är 250 mm tjock. Det som driver energianvändningen för klimathållning och avfuktning är värmeförlusterna genom ett mer eller mindre färdigställt klimatskal under betongens uttorkningstid. Lägre VCT ger en kortare uttorkningstid och kräver mindre ångbildningsenergi. Det lägre VCT-talet ger dock en högre klimatpåverkan genom att mängden cement i betongen ökar och normal även ökar behovet av sprickarmering.

För framtida studier rekommenderas:

- Mätning och uppföljning av energi för klimathållning och avfuktning i väldokumenterade projekt
- Fördjupade enkätstudier med fokus på små, medelstora och stora aktörer
- Framtagande av beräkningsmetoder för att bedöma betongens totala energi- och miljöpåverkan som inkluderar miljöpåverkan under framställning och uttorkning
- Fördjupad studie i hur golvbeläggningsens RF-krav påverkar energianvändning och klimatpåverkan under produktion och drift.

# Innehållsförteckning

## Innehåll

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Förord</b>                                    | <b>2</b>  |
| <b>Sammanfattning</b>                            | <b>3</b>  |
| <b>1 Inledning</b>                               | <b>7</b>  |
| 1.1 Bakgrund                                     | 7         |
| 1.2 Syfte  | 7         |
| 1.3 Mål  | 8         |
| 1.4 Värme på byggarbetsplatser                   | 9         |
| 1.5 Energi för uttorkning av Betong – kort teori | 9         |
| 1.6 Innovativa tekniker                          | 11        |
| 1.6.1 Altiflex                                   | 11        |
| 1.6.2 AWG  | 12        |
| 1.6.3 Luftridå                                   | 12        |
| 1.6.4 Tillfällig värmekabel i betong             | 13        |
| 1.7 Metod  | 14        |
| 1.7.1 Enkätundersökningar                        | 14        |
| 1.7.2 Beräkningar med IDA-ICE                    | 14        |
| 1.7.3 Beräkning av klimatpåverkan                | 16        |
| <b>2 Resultat</b>                                | <b>17</b> |
| 2.1 Enkätundersökning Byggherrar                 | 17        |
| 2.1.1 Energianvändning                           | 17        |
| 2.1.2 Kravställning                              | 18        |
| 2.1.3 Fuktsäkerhet                               | 20        |
| 2.2 Enkätundersökning Platschefer                | 22        |
| 2.2.1 Utrustning                                 | 22        |
| 2.2.2 Energianvändning                           | 25        |
| 2.2.3 Byggnadsteknik                             | 30        |
| 2.3 Beräkningar                                  | 32        |
| 2.3.1 Besparingspotential Altiflex               | 32        |
| 2.3.2 Besparingspotential Luftridå               | 32        |
| 2.3.3 Energibalans uttorkning                    | 33        |
| 2.4 Mätningar                                    | 34        |
| 2.5 Klimatpåverkan                               | 35        |
| <b>3 Diskussion</b>                              | <b>36</b> |
| 3.1 Incitament för en energieffektiv byggprocess | 36        |
| 3.1 Energianvändning och klimatpåverkan          | 37        |
| 3.2 Svårigheter med val av betong och uttorkning | 38        |
| <b>4 Förslag på framtida studier</b>             | <b>40</b> |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Referenser</b>   | <b>41</b> |
| <b>6</b> | <b>Bilagor</b>  | <b>43</b> |
| 6.1      | <i>Bilaga 1: Enkät – Plats- och produktionschefer</i>                 | 43        |
| 6.2      | <i>Bilaga 2: Kompletterande frågor – Plats- och produktionschefer</i> | 44        |
| 6.3      | <i>Bilaga 3: Enkät – Byggherre</i>                                    | 45        |
| 6.4      | <i>Bilaga 4: TorkaS-beräkning uttorkning av betong</i>                | 46        |
| 6.5      | <i>Bilaga 5: Exempel: CO<sub>2</sub> optimering</i>                   | 47        |

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Bygg- och fastighetsbranschen har de senaste åren lagt ett stort fokus på att reducera byggnadens energibehov under driftskede, men mindre fokus på att effektivisera och minska behovet av energi under produktion. I takt med att de byggnader vi uppför blir alltmer energieffektiva under drift uppgår produktionen till en större andel av en byggnads totala energibehov över livslängden. Uttorkning och klimathållning är en aktivitet under byggproduktion som identifierats ha ett större behov av energitillförsel.

Att skapa ett bra torkklimat under byggproduktion är en förutsättning för att byggfukt på ett effektivt sätt skall kunna torka ut. Luften bör ha en hög kapacitet att bära fukt. Detta kan uppnås genom att man har en hög luftomsättning för att kunna transportera ut fukt eller genom att säkerställa att luften hålls torr genom avfuktning. Det är viktigt att det finns sätt att hantera fukten som diffunderar från materialen och de fuktproducerande aktiviteter som råder i byggnaden under produktionen innan fukten kan orsaka problem.

För att kunna uppnå kriterierna ovan krävs att byggnaden är tillräckligt tät, d.v.s. att byggnadens omslutande delar som tak och väggar finns på plats för att klimatet skall kunna styras, tillräckligt tidigt i byggprocessen. Dels för att materialen i byggnaden skall kunna värmas upp och hållas varm under en viss tid, och dels för att fuktig luft inte skall kunna sprida sig till andra delar i byggnaden och fukta upp eller skada övriga material.

Oftast är betong det material som har störst problem med att uppnå en viss Relativ Fuktighet (RF) genom uttorkning under produktion.

## 1.2 Syfte

Syftet med denna förstudie är att kartlägga omfattning och bedöma storleken på energianvändningen för klimathållning och avfuktning under byggproduktion och på så vis synliggöra frågan. Studien ska visa vilken inverkan planering, utrustning samt kravställning har på energianvändningen för klimathållning och avfuktning under produktion. Studien syftar också till att utreda behovet och förutsättningarna för mer detaljerade studier och/eller demonstrationsprojekt i ämnet och ge förslag på sådana projekt.

## 1.3 Mål

Det övergripande målet med förstudien är att kartlägga omfattningen av avfuktning och klimathållning under byggproduktion kopplat till uttorkning av betong. Samt visa hur stor energianvändningen och klimatpåverkan för avfuktning och klimathållning är i verkliga byggprojekt. Förstudien ska också ge förslag på framtida projekt.

När det gäller omfattningen av avfuktning och klimathållning i olika projekt ska studien beskriva:

- Hur vanligt förekommande det är med aktiv avfuktning, dvs användning av kondensavfuktare.
- Orsaken till att kondensavfuktare används
- Vilken utrustning som vanligen används för klimathållning och avfuktning
- När klimathållning och avfuktning påbörjats i relation till om tätt hus har uppnåtts eller ej
- Hur tillfälliga tätningar utformas då klimatskärmen ej än är färdigställd

Gällande energianvändning och klimatpåverkan för klimathållning och avfuktning är förstudiens delmål att:

- Kartlägga hur stor energianvändningen är och vilka energislag som används (el/fjärrvärme/pellets/diesel)
- Visa hur energianvändning och klimatpåverkan påverkas av typ av utrustning samt energislag
- Bedöma klimatpåverkan för klimathållning och avfuktning för de kartlagda projekten

Till hjälp för utformning av framtida projekt ska förstudien även kartlägga:

1. Utbudet av alternativ teknik för klimathållning och avfuktning
2. Olika möjligheter till passiva åtgärder så som, val av betong, golvbeläggning, tillfälliga tätningar samt bättre planerat utförande av klimathållning och avfuktning



## 1.4 Värme på byggarbetsplatser

I Sverige finns idag inget konkret arbetsmiljökrav på inomhustemperatur vid byggarbetsplatser. I AFS 1999:3 64 § skrivs "Vid arbete inomhus skall det termiska klimatet vara lämpligt" (Arbetsmiljöverket, 2019).

Då specifika temperaturkrav saknas i lagstiftningen har vi i denna studie valt att anta att all värme som tillförs byggnaden under produktion tillhör klimathållning och avfuktning för uttorkning av betong. Det är dock rimligt att anta att det finns andra informella temperaturkrav för byggnader under produktion exempelvis för att undvika frost och frysning samt klimat för uttorkning av betong.

## 1.5 Energi för uttorkning av Betong – kort teori

Betong används i nästan alla byggnader där slitstarka material behövs. En god och välplanerad klimathållning kan i många fall räcka för att säkerställa uttorkningsförloppet. Ibland kan det dock behövas, aktiva avfuktningssystem, till exempel på grund av tidsscheman. Avfuktning av luften under byggproduktion har fördelen att det kan ge bättre kontroll över torkningsförloppet och en förkortad torktid, men det kräver samtidigt mer energi. Optimalt är att minimera den totala energianvändningen för både klimathållning och avfuktning. För mer information om hur man kan jobba aktivt med uttorkning av betong under byggprocessen och generell uttorkningsteori rekommenderas "Verktyg för optimering av byggtorkning" av Peter Brander (2012a), och "Byggtorkning" av FoU-Syd (Brander, 2012b). Nedan ges en allmän beskrivning på uttorkning av betong.

Det som är viktigaste när det gäller uttorkning av betong är betongens egenskaper och sammansättning. Betongegenskaperna påverkas av vilken sorts betong det är (Byggcement (kalksten), Bascement (flygaska), cement med Slagg eller silikastoff) eller anläggningsbetong, mm), vilket Vatten Cement Tal (VCT) betongen har, och eventuella tillsatsmedel betongen har som kan påverka uttorkningen. (Johansson, 2005)

VCT beskriver förhållandet mellan mängden vatten och cement i betongen. Detta förhållande påverkar hur mycket fritt vatten det finns kvar att torka ut efter alla kemiska reaktioner som binder fast vatten kemikaliskt (så kallad hydratation) har reagerat färdigt. Självuttorkning sker i de fall som mängden inblandat vatten är lägre än mängden vattent som behövs för en fullständig hydratation. Självuttorkningen i kombination med ordinarie uttorkning till omgivningen beskriver betongens sammansatta uttorkningsförmåga. Till exempel, en betong med en hög VCT torkar långsammare än en betong med låg VCT betongen även då en betong med ett högt vct även har ett lägre fukttransportmotstånd. Det är på grund av att det finns mycket mer vatten kvar i betongen med högt VCT då en mindre mängd fukt binds kemiskt och måste då torka ut genom fukttransport ut

genom materialet. Uttorkning är långsamt, och det tar mycket längre tid att torka i jämfört med kemikaliska bindning av vatten som sker i takt med att betongen härdar. Detta teoretiska resonemang förutsätter dock att ingen extra vatten tillförs under uttorkningsperioden. (Johansson, 2005)

Olika cementtypers självtorkningsegenskaper skiljer även på grund av dess innehåll och uppbyggnad. Anläggningsbetong självtorkar inte så mycket utan för dem sker uttorkning mest genom fukttransport även vid lägre VCT. Byggcement har goda självtorkningsförmåga och där självtorkningen dominerar uttorkningen sker ner till en viss nivå, beroende på VCT, och sedan sker fortsatt uttorka genom fukttransport till omgivningen.

Basement har liknande självtorkande egenskaper som byggcement men det finns olika dokumentation om vilken förmåga en sådan betong har för vidare uttorkning via fukttransport på grund av olika uppmätt fukttransportmotsånd (Linderoth och Johansson, 2019, Stelmarczyk, 2019).

Det finns även teorier att betong med flygaska eller slagg torkar snabbare om betongen hålls kall i början, under exempelvis 6 månader efter gjutningen och därefter värms upp jämfört med att värma upp betongen direkt efter gjutningen. Betongen får dock inte frysa. (Stelmarczyk et al., 2019). Resultat som presenterades på Fuktcentrums Informationsdag (Linderoth, 2019) visade intressanta resultat från fuktmätningar. Exempelvis att flygaskans tätande effekt försvinner med lågtemperaturhärdning (d.v.s. betongens fuktegenskaper liknar Portlandcement) och att självtorkning gick långsammare efter härdning i lågtemperatur. Tyvärr så motsäger dessa två studier varandra och i nuläget får vi vänta och se vilket som stämmer i praktiken. Den praktiska slutsatsen man kan dra från dessa två studier är att om man tillåter att betongen förbli kall ett tag efter gjutning kan den eventuellt torka snabbare via självtorkning. Men om det inte självtorkar som man räknat med kommer den att reagera bättre på uppvärmning och avfuktning i ett senare skede.

För att beräkna energibehovet som krävs för uttorkning av betong behöver man beakta två parametrar. Det är dels energin man behöver för att värma betongen till mellan 18 – 20 °C och dels energin för att avdunsta fukten från betongen. Energin för att avdunsta fukt är ångbildningsenergin. Det är uträknas enligt ekvationen nedan:

$$Q=m \cdot I_a$$

Där:

$Q$  = Ångbildningsenergi [J]

$m$  = fuktmängd [Kg]

$I_a$  = ångbildningsvärme (2,4537 MJ/kg vid 20 °C.) (Fukthandbok, 2018)

Den energi man behöver för att höja temperaturen på betongen beror på byggnadens termiska egenskaper. Orsaken till varför man vill höja temperaturen på betongen är att skapa en större skillnad i ånghalt mellan betongen och luften. Det är just skillnaden i ånghalt mellan betongen och luften som styr fukttransportpotentialen, d.v.s. hur snabbt fukttransporten sker i kombination med hur tät betongen är (fukttransportmotstånd). När man höjer temperaturen på betongen, så blir RF i betongen densamma efter temperaturförhöjning. Ånghalten i betongens porer stiger i takt med temperaturändringen eftersom de vatten som finns i materialets porer avdunstar till luften i porerna. Det innebär att man får en högre skillnad mellan betongens ånghalt och luftens ånghalt, och därmed höjer man transportpotentialen i betongen. Man kan göra detta genom att värma upp betongen direkt med golvvärme, värma upp luften omkring betongen och därmed betongen och/eller torka ut luften som avgränsar betongen.

Olika uttorkningsprocesser fungerar olika bra beroende på aktuella förhållanden, till exempel olika årstider eller i vilket skede av produktionen man befinner sig. Ofta är det långt ifrån säkert att klimatet som förutsatts i beräkningarna upprätthålls, till exempel pga. att byggnadens täthet är betydligt sämre än beräknat. Detta kan medföra en utökad aktiv avfuktning som i sin tur kan leda till betydligt högre energianvändning. Om betongen inte torkar som planerat tas idag åtgärder till som ofta innebär användande av flera energikrävande lösningar där bättre planering med till exempel passiva lösningar, såsom väderskydd eller kemiska fuktspärrar hade varit bättre.

Vilken uttorkningsmetod som är mest energieffektiv beror på ovanstående faktorer. Under vintertid när uteluften har en låg ånghalt vilket innebär att luften har en låg RF efter det att den har värmts upp, kan det vara mest energieffektivt att bara värma upp luften och säkerställa ett lågt ventilationsflöde med torr utomhusluft. Avfuktare kan fungera under vintertid, men för att få den bästa uttorkningspotentialen så krävs det att luften värms upp innan man avfuktar den.

Under sommartid behövs det inte så mycket tillskottsvärme, men däremot har uteluften en högre ånghalt vilket i praktiken ger en högre RF inne i byggnaden. Då är det mer energieffektivt att uppnå ett så tätt hus som möjligt och avfukta inomhusluften för att skapa en bra uttorkningspotential.

## 1.6 Innovativa tekniker

### 1.6.1 Altiflex

Altiflex är en ny typ av lösning för tillfällig tillslutning av byggnad under produktionstid, det vill säga för att skapa ett provisoriskt tätt hus under produktion. Systemet består av fönster- och dörrmoduler i olika storlekar som kan anpassas i höjd och bredd så att de kan försegla alla öppningar i bygget och

skydda mot väder och vind. Modulerna tål höga vindlaster och är slagtåliga, inbrottshämmande och godkända som skyddsräcken enligt EN13374.

En effektiv och tät tillfällig tillslutning i byggprojekt minskar mängden fuktillskott som tillförs utifrån under byggprocessen och kan därmed bidra till att produktionen uppnår kravställt RF tidigare i processen. Dock behöver

fortfarande invändigt fuktillskott hanteras. Andra fördelar med denna typ av tillslutning är en minskad påverkan från vind vilket sannolikt skapar en bättre arbetsmiljö. Men en minskad vindpåverkan medför också en minskad luftomsättning vilket kan ge motsatt effekt på uttorkningen om man har tätt hus och ingen mekanisk ventilation eller avfuktning i drift.

### **1.6.2 AWG**

Airwatergreen är ett svenskt bolag som erbjuder energieffektiv avfuktning till alla klimat. Företaget utvecklar och tillverkar produkter som avlägsnar fukt och lukt på ett energieffektivt sätt. Produkterna bygger på en patenterad teknologi med varmkondensering. De fördelar AWG hänvisar till är ett halverat energibehov jämfört sorptionsavfuktare, enkel installation och samma effektivitet vid alla temperaturer.

Varmkondensering är en teknik där man i ett första steg fångar fukten i en absorbent som därefter torkas ut i en sluten varm kondenseringsprocess. Ut levereras vatten samt torr luft. Inga anslutningar utom avledning för vatten behövs vilket gör installationen enkel samt att all tillförd energi stannar i lokalen och inte ventileras ut. Airwatergreens teknologi gör att avfuktaren oberoende av temperatur jobbar lika effektivt i alla klimat och kan därför avfukta även i minusgrader.

### **1.6.3 Luftridå**

En luftridå är en värmeapparat som placeras horisontellt över och vertikalt bredvid öppningar, se Figur 1. Förutom funktionen att tillföra värme till omgivningen skapar den även en klimatavskiljande ridå. Ridåttillverkare marknadsför ofta energibesparingar på 70–80% jämfört med öppningar utan luftridå.

Luftridåer är något som alltid saknas vid transportöppningar och tillfälliga dörrar på byggen idag. Att komplettera öppningar med luftridåer kan bidra till ett stabilare uttorkningsklimat samt minska värmebehovet för att uppnå önskat klimat. Luftridåer finns i flera utföranden, utan och med värmebatteri med elvärme eller vattenburen värme.



Figur 1. Luftridå monterad ovanför dörröppning (Frico, 2019)

#### 1.6.4 Tillfällig värmekabel i betong

En annan metod för att få upp betongens temperatur är med hjälp av små tillfälliga elvärmekablar i betongen. Elvärmekablarna gjuts in i betongplattan och kan tas i drift inom ett par dagar om man önskar. Elkablarna kan leverera mellan 40–60 W/m och kan hjälpa att få igång uttorkning tidigare i projektet. Effekten till elvärmekablar kan styras för att reglera betongens temperatur eller på fast effektläge. Elvärmekablarna kopplas ur och klipps av efter att tätt hus har uppnåtts, när innerväggar monterats eller när annan utrustning finns på plats.

Observera att det kan finnas risker kopplat till att det sker en omfördelning av fukt i betongplattan på grund av den tillförda värmen och att värmen därför måste stängas av i tillräckligt god tid innan fuktmätning i plattan utförs. Omfördelningen som sker på grund av uppvärmningen kan resultera i felaktiga fuktmätningar (mätning visar torr betong men när fukten fördelats tillbaka kan slutresultatet ligga över  $RF_{krav}$ ), speciellt med en platta på mark, eller en annan lösning med en-sidig uttorkning. Felet kan bara upptäckas genom en profilmätning av fukt i plattan där man kan se om fukten har samlats längst ner i plattan.

## 1.7 Metod

### 1.7.1 Enkätundersökningar

Webbaserade enkäter skickades ut till cirka 700 plats- och produktionschefer tillhörande Skanska, NCC och PEAB. Enkäter skickades också till cirka 15 plats- och produktionschefer i andra byggbolag. Enkätfrågorna fokuserade på mottagarens senast färdigställda projekt. För enkätfrågor se Bilaga 1: Enkät – Plats- och produktionschefer.

Enkäterna till plats-/produktionschefer skickades ut i två omgångar där de som accepterat att bli kontaktade på nytt har fått kompletterande frågor som ej var med i det första enkätutskicket. För dessa enkätfrågor se Bilaga 2: Kompletterande frågor – Plats- och produktionschefer.

Webbaserade enkäter skickades även ut till cirka 100 personer i funktionen byggherre tillhörande Skanska, NCC och PEAB. Enkäter skickades även ut till omkring 20 personer i funktionen byggherre hos externa organisationer. Enkätfrågorna riktade sig till mottagarens senast färdigställda projekt. För enkätfrågor se Bilaga 3: Enkät – Byggherre.

### 1.7.2 Beräkningar med IDA-ICE

För att utreda potentialen för teknikerna Altiflex och Luftridå har beräkningar utförts i energiberäkningsprogrammet IDA-ICE. Beräkningarna utfördes med SMHI:s klimatfil för Stockholm.

#### **Altiflex**

En befintlig modell av en kontorsbyggnad på 24 våningar har använts för att utvärdera potentialen i att använda Altiflex i stället för plastfolie med träram i det fall samtliga bjälklag finns på plats men innan någon fasad har rests. Byggnaden har en A-temp på 33 920 m<sup>2</sup>.

Altiflex system har ett U-värde på 2,6 och plast med träram har en U-värde på 5,3. Båda tätningarna antas vara lika lufttäta.

Börvärde för inomhustemperaturen sattes till minst 18°C likt typiskt uttorkningsklimat enligt kapitel 1.4.

Beräkningar har utförts för två perioder:

-Dec-Mars, Vinter

-Jun-Sept, Sommar

#### **Luftridå**

Energiflödet genom en teoretisk transportöppning med måtten 1,6 x 2,1 m på 4:e våningen har beräknats. Dörren till öppningen har antagits vara öppen 5 min/h mellan 7–16 vardagar.

Skillnaden mellan energianvändning då dörren aldrig är öppen och öppen enligt ovan har beräknats. Luftridåns inverkan har konservativt antagits halvera energiflödet genom öppningen, flera aktörer påpekar dock en högre besparing men konkreta studier saknas. Energi till fläkt och värme antas vara medräknat i besparingen.

Börvärde för inomhustemperaturen sattes till minst 18°C likt typiskt uttorkningsklimat.

Beräkningar har utförts för två perioder:

-Oktober till april

-April till oktober

Då behovet av luftridåer sträcker sig en längre tid än Altiflex systemet sker beräkningen för 6 månader.

### 1.7.3 Beräkning av klimatpåverkan

För beräkning av klimatpåverkan har koldioxidekvivalenter enligt Tabell 1 använts för respektive energislag.

Tabell 1: Olika energislags ekvivalent CO<sub>2</sub> utsläpp i g/kWh.

| Energislag:         | Koldioxidekvivalent<br>g CO <sub>2</sub> /kWh | Källa            |
|---------------------|---|------------------|
| Nordisk Elmix       | 125   | Naturvårdsverket |
| Fjärrvärme          | 69  | Naturvårdsverket |
| Träpellets          | 19  | Naturvårdsverket |
| Diesel/Eldningsolja | 288   | Naturvårdsverket |



## 2 Resultat

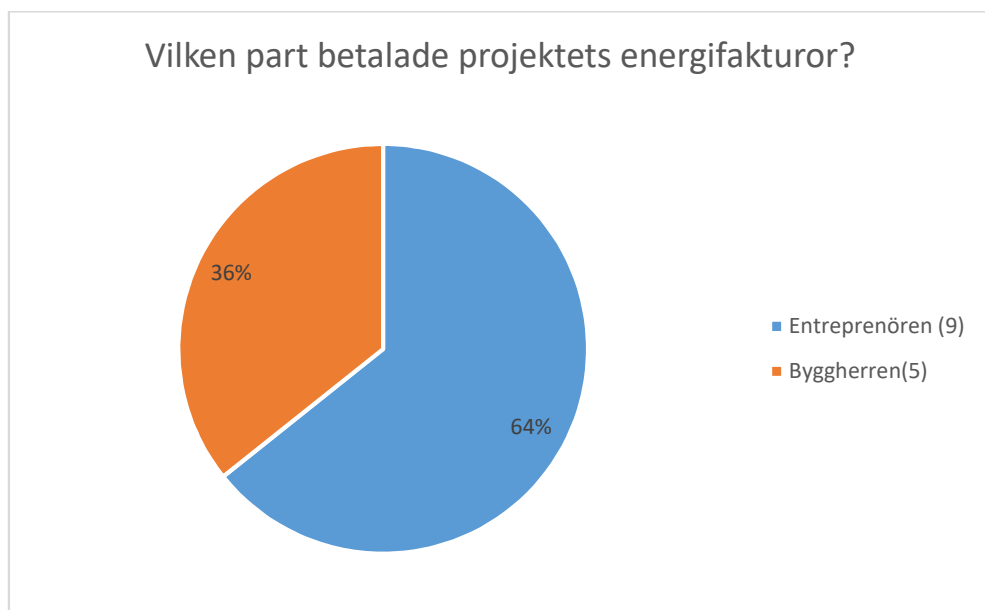
### 2.1 Enkätundersökning Byggherrar

Totalt 14 st. byggherrar svarade på enkäten. Samtliga 14 svaranden kommer ifrån flera olika organisationer dock inom samma företag. Därav representerar inte enkätsvaren någon större spridning bland byggherrar i Sverige.

#### 2.1.1 Energianvändning

På frågan hur "stor energianvändning under produktion?" och "specifik energianvändning för klimathållning och avfuktning" svarar samtliga 14 "Vet Ej"

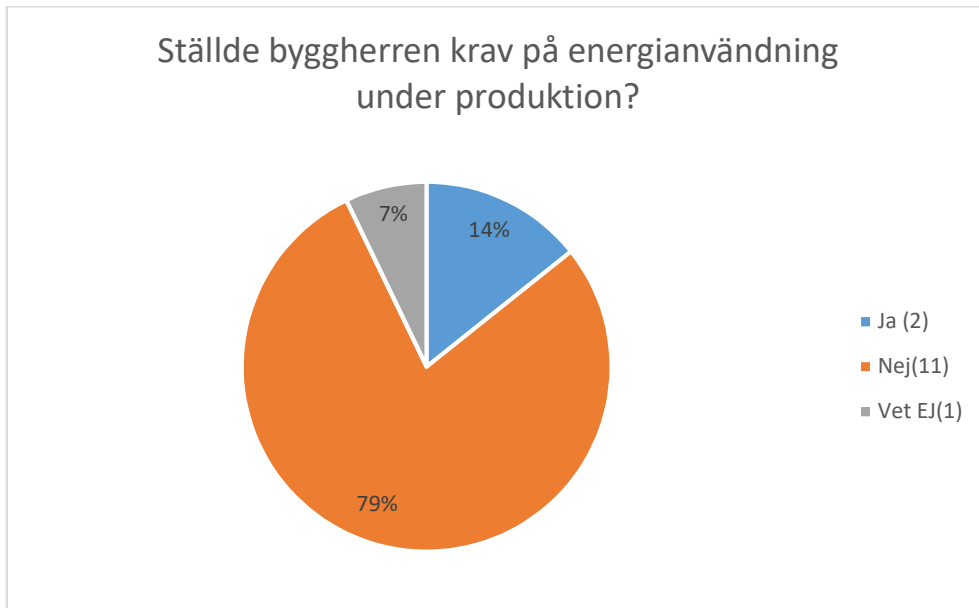
På frågan "Vilken part betalade projektets energifakturor?" svarade 64% att entreprenören betalade och 36% att byggherren betalade för energianvändningen. Se Figur 2.



Figur 2. Svar på frågan "Vilken part betalade projektets energifakturor?"

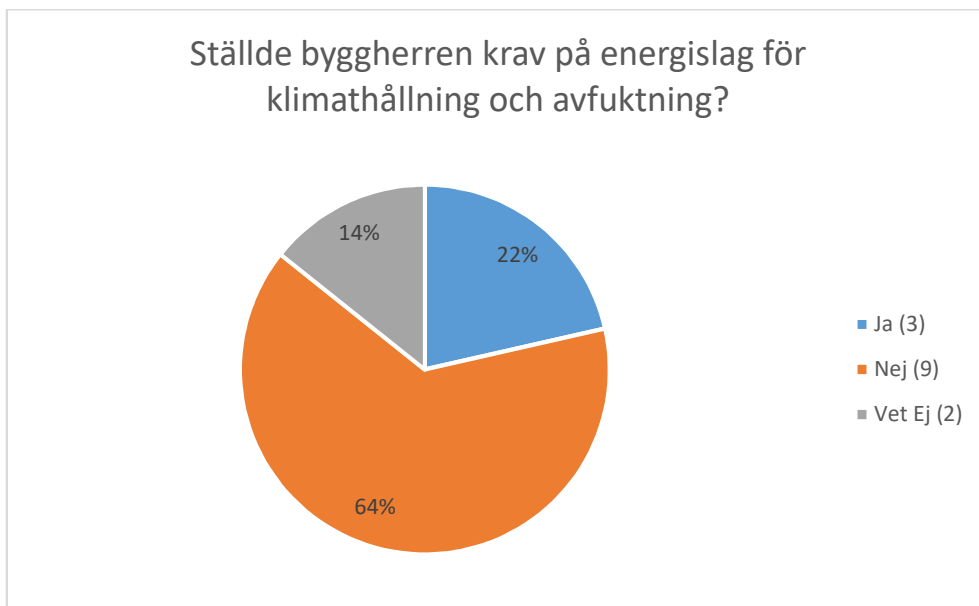
## 2.1.2 Kravställning

På frågan om de ställde några krav på energianvändningen under produktionen svarade 79% "Nej", 14 % "Ja" och 7% "Vet Ej" se Figur 3.



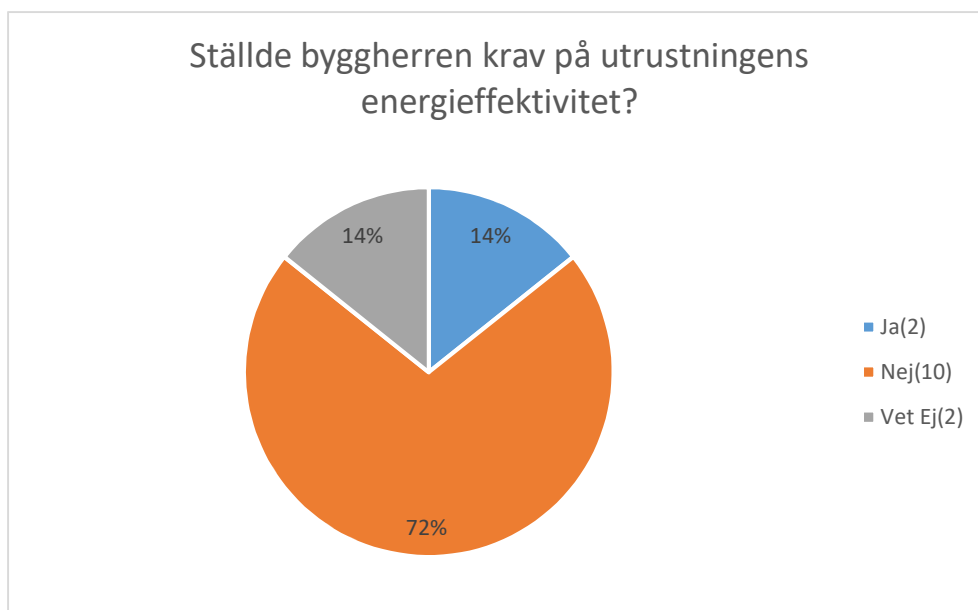
**Figur 3** Svar på frågan "Ställde byggherren krav på energianvändning under produktion?"

På frågan om de ställde något krav på energislag för klimathållning och avfuktning svarade 64% av byggherrarna "Nej", 22 % svarade "Ja" och 14% "Vet Ej". Se Figur 4.



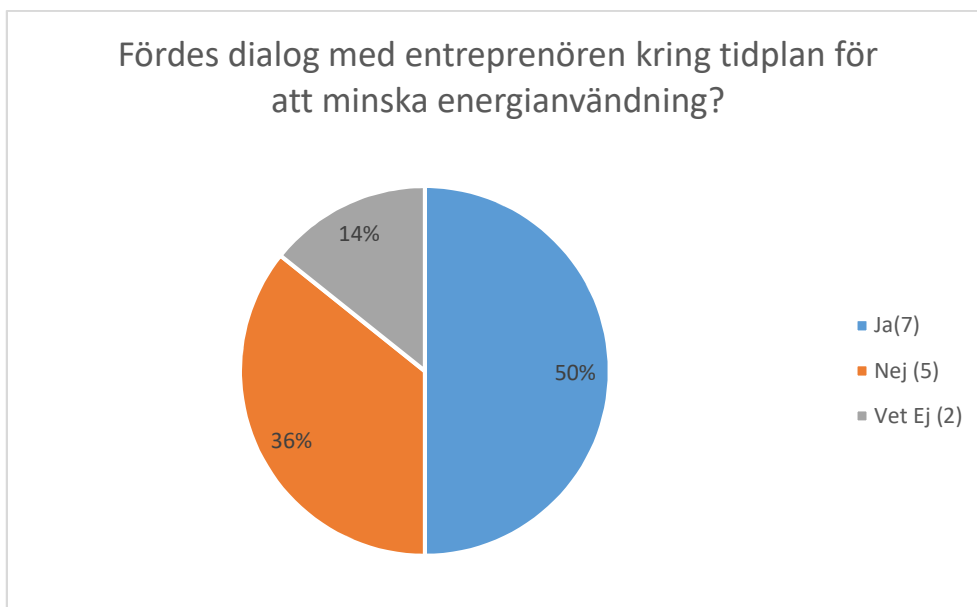
**Figur 4** Svar på frågan " Ställde byggherren krav på energislag för klimathållning och avfuktning?"

På frågan om de ställde krav på utrustningens energieffektivitet svarar 72 % "Nej", 14 % "Ja" och 14% "Vet Ej". Se Figur 5.



**Figur 5** Svar på frågan "Ställde byggherren krav på utrustningens energieffektivitet?"

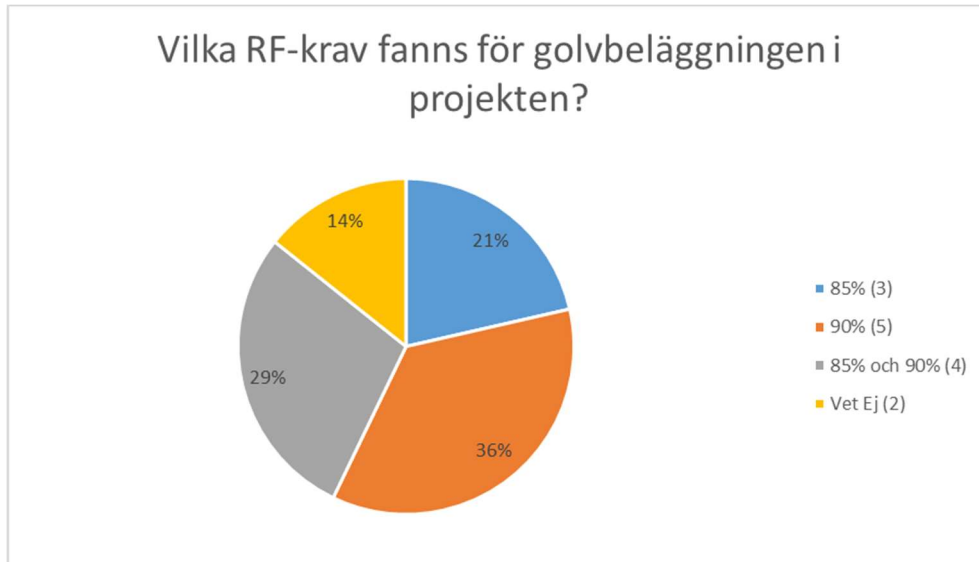
50% av byggherrarna uppger att de har fört en dialog med entreprenören kring produktionens tidplan för att minska energianvändningen. 36 % uppger att de inte hade någon dialog och 14% vet ej. Se Figur 6.



**Figur 6** Svar på frågan "Förde byggherren en dialog med entreprenören kring tidplan för att minska energianvändningen?"

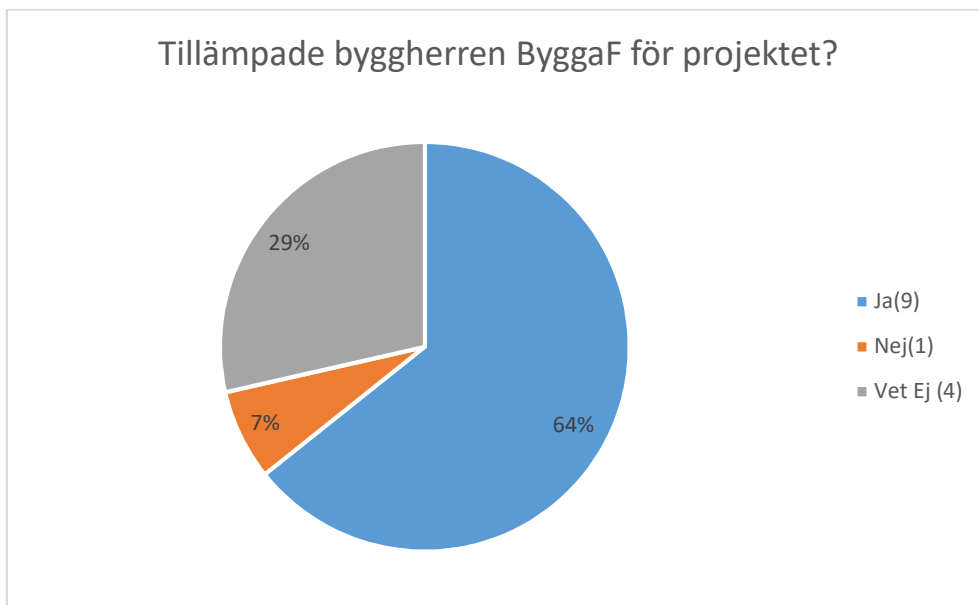
### 2.1.3 Fuktsäkerhet

36 % av projekten anger att det fanns ett RF-krav på 90% motsvarande kravet för parkett. 29 % anger att de har haft både 85% och 90% RF-krav. 21 % Har haft ett RF-krav på 85% vilket motsvarar en plastmatta och 14 % vet ej vilket krav som har funnits. Se Figur 7.



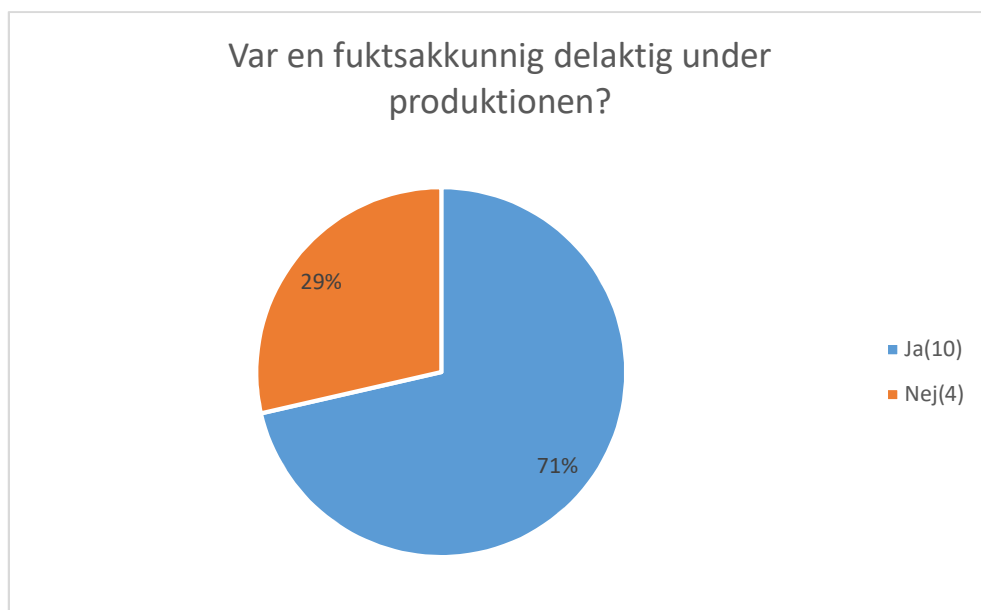
Figur 7. Vilka RF-krav fanns för golvbeläggningen i byggherrarnas projekt

På frågan om byggherrarna har tillämpat ByggaF för projektet svarar 64 % "Ja", 29 % "Vet Ej" och 7% "Nej". Se Figur 8.



Figur 8 Svar på frågan "Tillämpade byggherren ByggaF i sina projekt?"

På frågan om en fuksakkunnig varit delaktig under produktionen svarar 71 % "Ja" och 29 % "Nej". Se Figur 9.



**Figur 9.** Enkät svar på frågan "Var det en fuksakkunnig delaktig under produktion?"

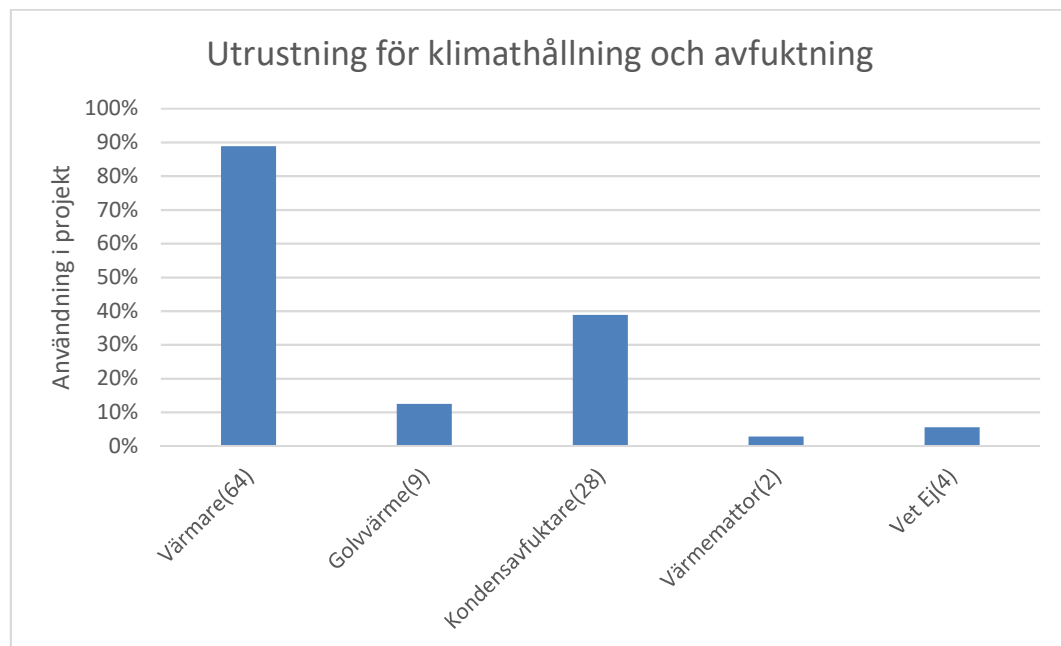
## 2.2 Enkätundersökning Platschefer

Den ursprungliga enkätundersökningen gav 72 st. svar från plats- och produktionschefer från Skanska, NCC och PEAB. 56 personer accepterade att bli kontaktade igen för kompletterande frågor. Enkäten med kompletterande frågor skickades ut till 56 personer varav 28 svarade.

Projekten som mottagarna har baserat sina svar på har haft stor spridning. Golvarean varierade mellan 1 500 m<sup>2</sup> och 150 000 m<sup>2</sup>, med olika verksamheter och olika stomsystem. Nedan följer de enkätsvar som är relevanta för frågeställningarna definierade i projektets mål samt några andra resultat av intresse.

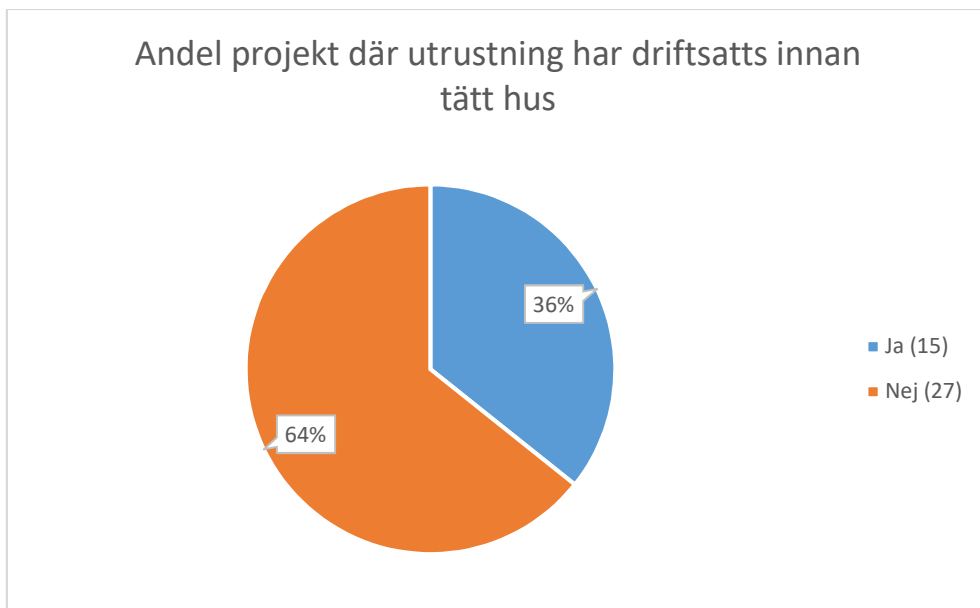
### 2.2.1 Utrustning

Ur enkätsvaren framgår det att byggvärme, dvs varmluftsfläktar är den dominerande utrustningen för klimathållning och avfuktning. Byggvärme används i kombination med kondensavfuktare i 40 % av projekten. Golvärme har använts i 13 % av projekten och värmemattor endast i ett fåtal projekt. 4 svarande har uppgett att de inte vet vilken utrustning som använts. Se Figur 10.



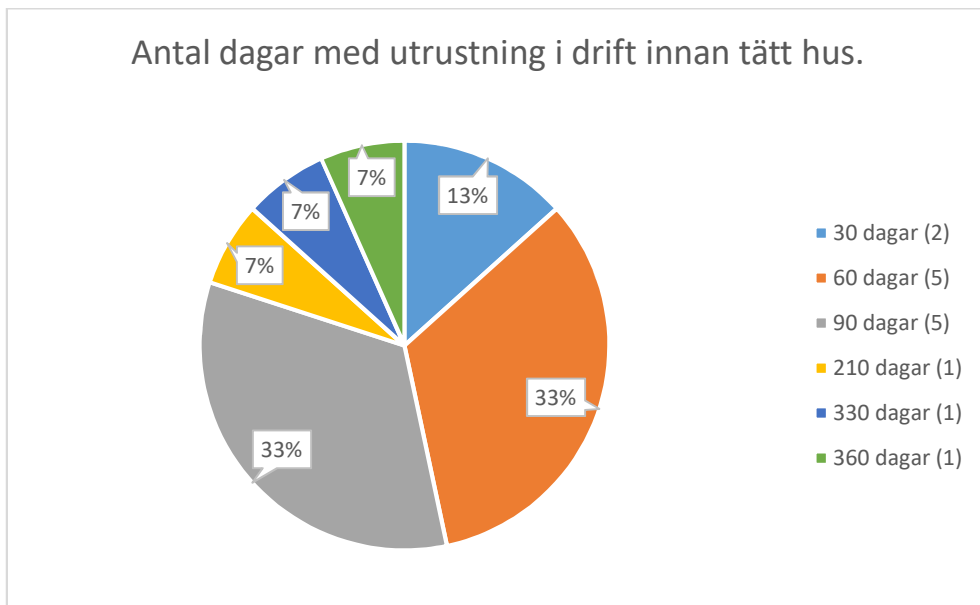
Figur 10. Enkätsvar för vilken utrustning som har använts för klimathållning och avfuktning

Från 42 st svar har det framgått när tätt hus har uppnåtts samt när utrustning för klimathållning och avfuktning har tagits i drift. I 64 % av projekten har inte utrustningen tagits i drift innan dess att tätt hus har uppnåtts. I 36 % av projekten har utrustningen driftsatts innan tätt hus har uppnåtts. Se Figur 11.



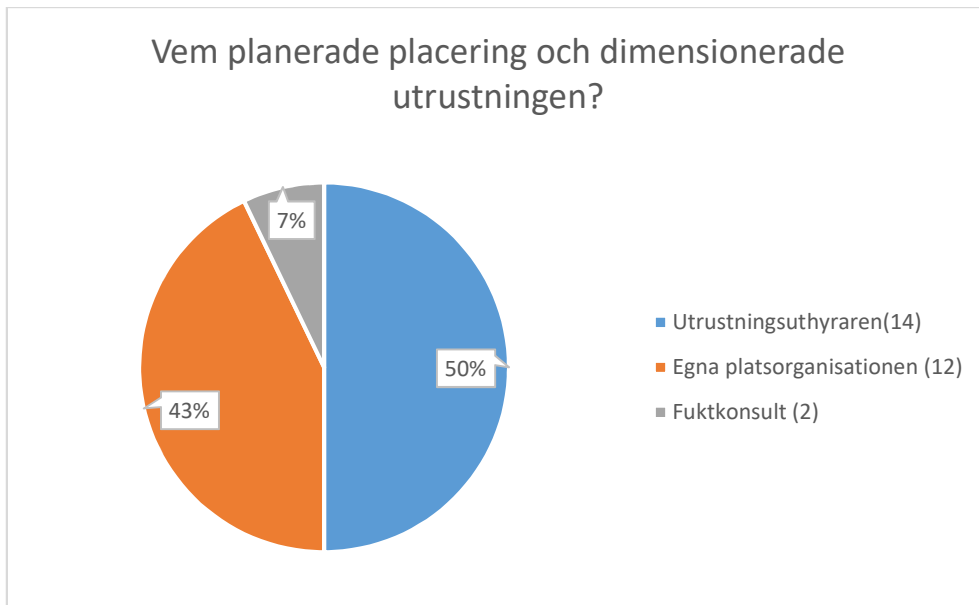
**Figur 11.** Utifrån svar på frågorna kring när utrustning har driftsatts och när tätt hus uppnåtts har andelen projekt fastställts

Bland de 15 st. projekt som driftsatt utrustning innan tätt hus uppnåtts varierade drifttiden mellan 30 till 360 dagar innan de uppger att tätt hus har uppnåtts. En drifttid på mellan 60 till 90 dagar innan tätt hus är vanligast. Se Figur 12.



**Figur 12.** Antal dagar då utrustning varit i drift innan tätt hus har uppnåtts

På frågan ”vem som planerade placering och dimensionering av utrustning för klimathållning och avfuktning” svarade 50 % av totalt 28 svaranden att utrustningsuthyraren har planerat och dimensionerat utrustningen. 42 % svarar att organisationen på plats gjorde det och 7 % uppger att de har tagit hjälp av en fuktkonsult. Se Figur 13.



**Figur 13** Svar på frågan ”vem som planerade placering och dimensionering av utrustning för klimathållning och avfuktning”

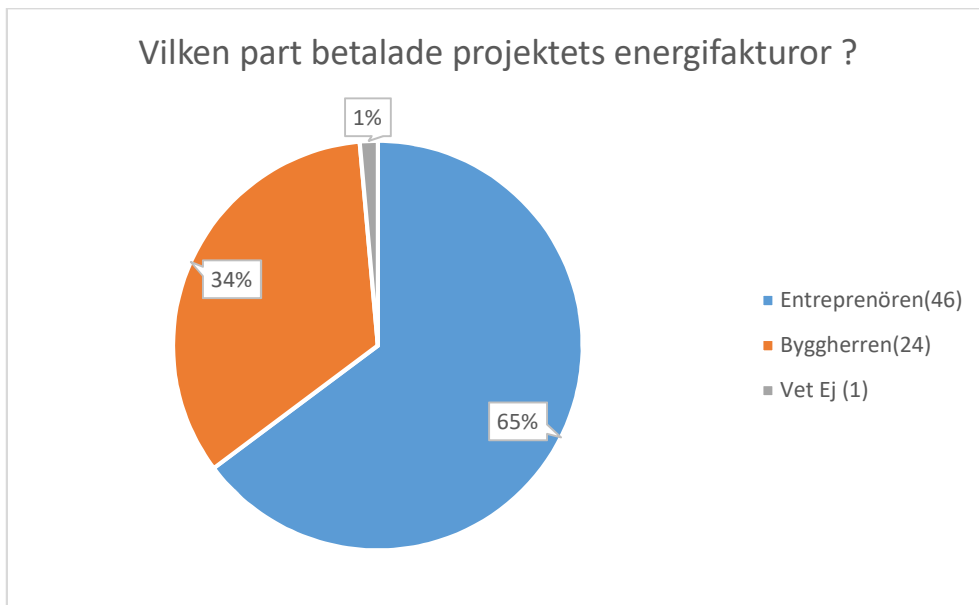


## 2.2.2 Energianvändning

På frågan om byggherren hade något krav på energianvändningen under produktion svarar 93 % Nej och 7 % Ja. Av de 5 st. som svarar ja har 4 st. angett följande energikrav för produktionen:

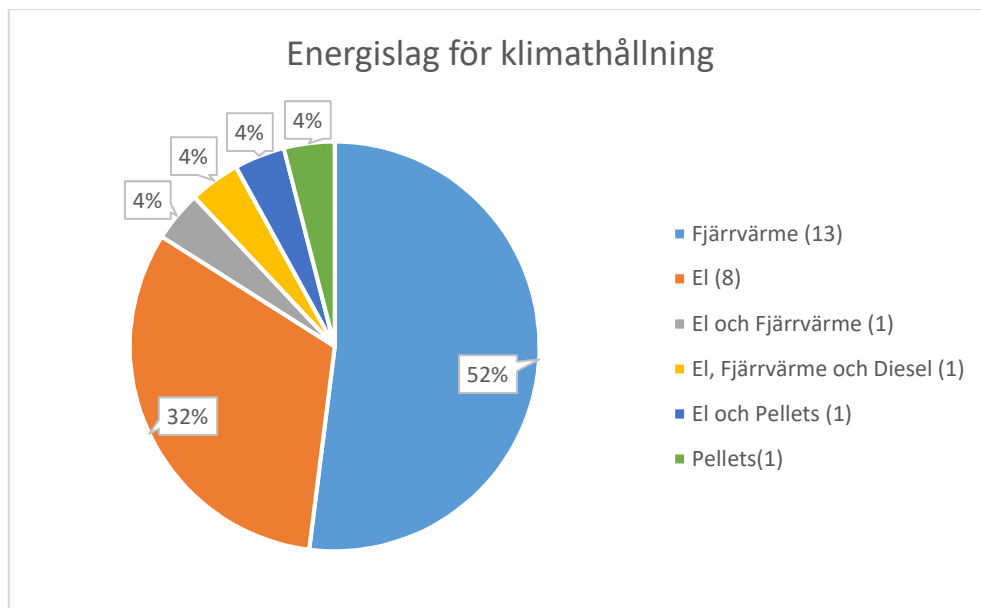
- Grön el och fjärrvärme till värmare
- Uppföljning enligt BREEAM, följ projekt målet
- Krav på att använda fjärrvärme

På frågan " Vilken part betalade projektets energifakturor" svarade 65 % att entreprenören betalar för energin, 34 % svarar att det är byggherren och 1 % svarar vet ej. Se Figur 14.



Figur 14. Enkät svar på frågan " Vilken part betalade projektets energifakturor?"

På frågan om vilket energislag som användes för klimathållning (värme) under produktion svarar 52 % att de använt sig av fjärrvärme, 32 % att de har använt sig av el, 12 % att de har använt sig av flera energislag och 4 % har använt sig av Pellets. Se Figur 15.



**Figur 15** Svar på frågan " Vilket energislag användes för klimathållning (värme)?"

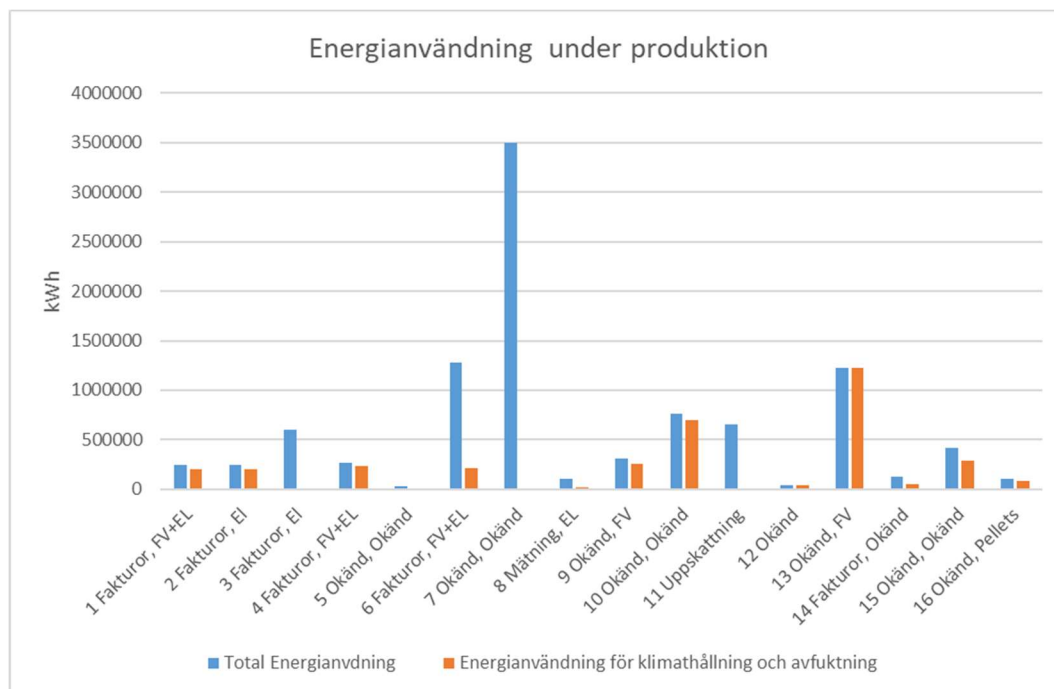
På frågan ”Hur mycket energi som användes under produktionen” svarade 16 st. Energianvändningen varierar kraftigt vilket beror på flera olika faktorer. Byggnadens storlek, var i landet byggnationen sker, om energi för bodetablering är inkluderat och så vidare. Kvalitén på uppgifterna varierar där några anger att dem har mätt energianvändningen, några har gått på fakturor och några har endast uppskattat energianvändningen. Energianvändningen för produktionen kan ses med blå staplar i Figur 16 nedan.

Följdfrågan var ”Hur mycket energi användes för klimathållning och avfuktning under produktionen?”. Tolv personer kunde svara på hur mycket energi som hade gått åt specifikt för klimathållning och avfuktning. Även på denna fråga var det skiftande kvalitet på uppgifterna med mätning, faktura och uppskattning som källor. Energianvändningen för klimathållning och avfuktning visas som orangea staplar i Figur 16 nedan.

Enkätsvaren namnges med följande logik:

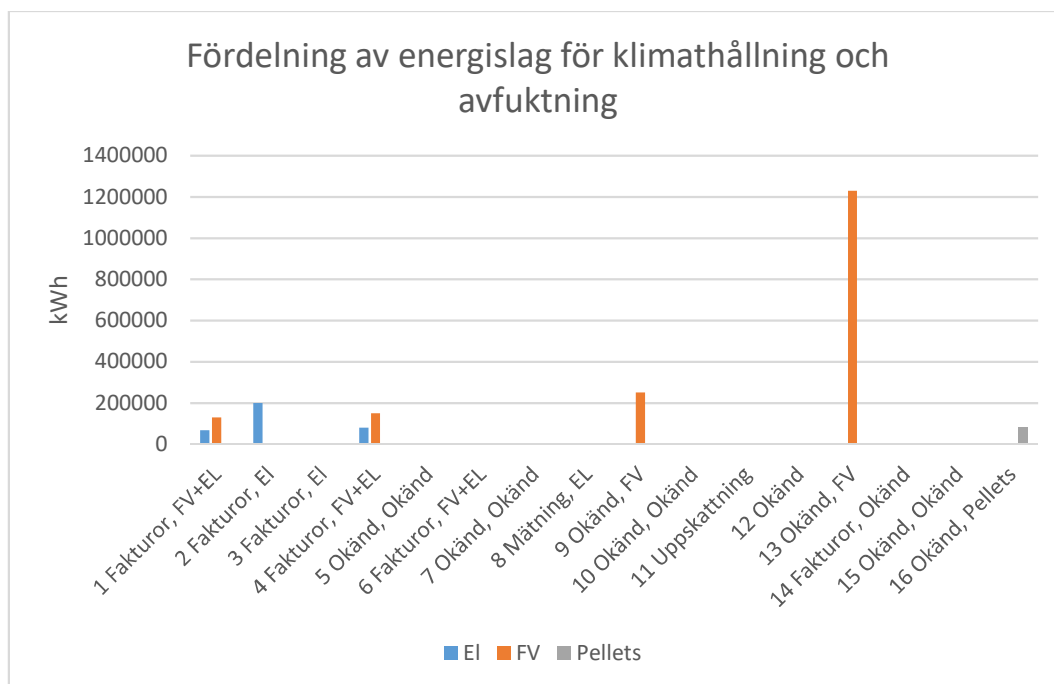
Id\_källa på energianvändning, energislag

Exempelvis: 1 Fakturor, FV+EL



**Figur 16.** Energianvändning under produktion, total energianvändning och energianvändning för klimathållning och avfuktning för 16 olika projekt.

Sex st. personer svarade så att fördelningen av energislag för energianvändning för klimathållning och avfuktning framgick. El visas som blå stapel, fjärrvärme med orange och pellets med grå i Figur 17 nedan. I två projekt framgick användningen av både el och fjärrvärme vilket där mer fjärrvärme än el används.

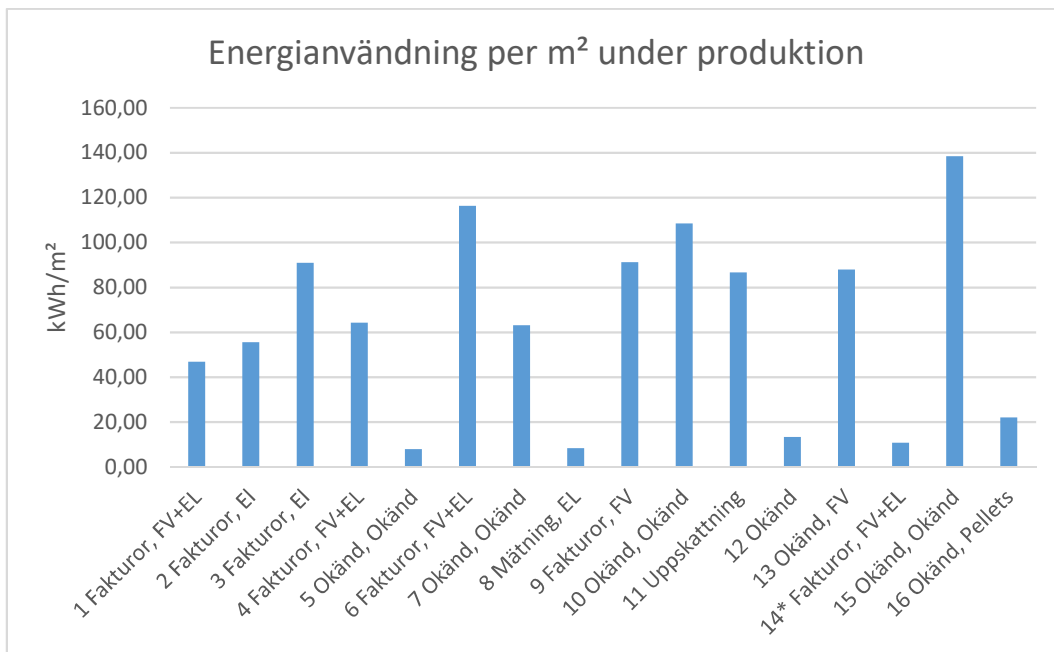


**Figur 17** Fördelning av energislag för klimathållning och avfuktning

Byggnadens storlek i m<sup>2</sup> är en viktig parameter för hur stor energianvändningen blir. I tabellen nedan anges BTA i m<sup>2</sup> för projekten. I figur 18 på nästa sida visas den totala energianvändningen under produktion om kWh/m<sup>2</sup>.

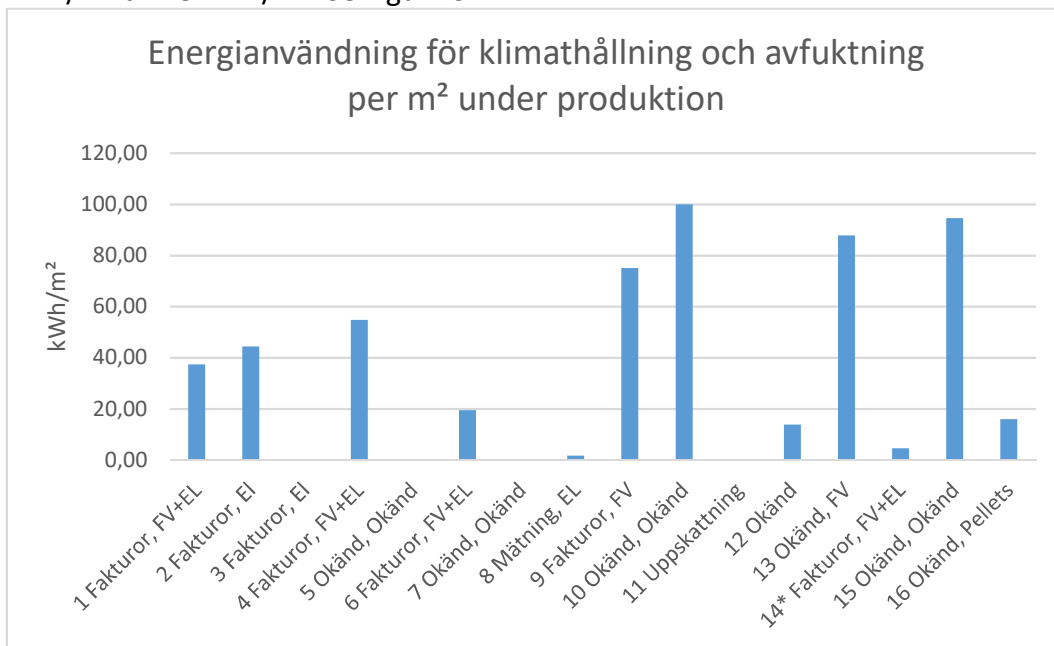
Energianvändningen varierar från 8 kWh/m<sup>2</sup> till 138 kWh/m<sup>2</sup>. Majoriteten av projekten ligger i spannet 47 kWh/m<sup>2</sup> till 116 kWh/m<sup>2</sup>. Se Figur 18.

|                |      |      |      |      |       |       |       |       |
|----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| ID             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     |
| m <sup>2</sup> | 5300 | 4500 | 6600 | 4200 | 4400  | 11000 | 55000 | 12000 |
| ID             | 9    | 10   | 11   | 12   | 13    | 14    | 15    | 16    |
| m <sup>2</sup> | 3340 | 7000 | 7500 | 2748 | 14000 | 12000 | 3000  | 5000  |



**Figur 18** Energianvändning per m<sup>2</sup> under produktion

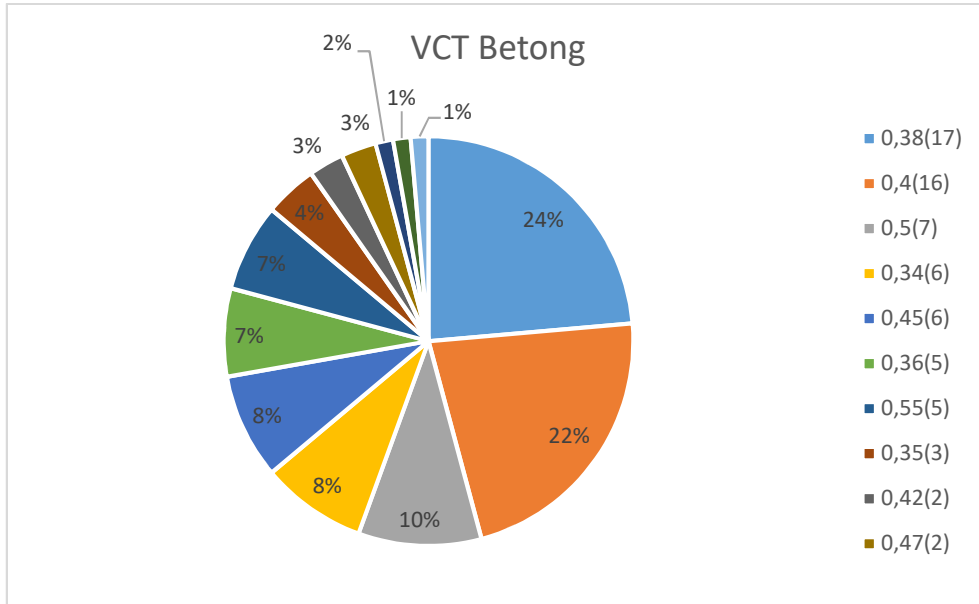
För de tolv projekt som specificerat energianvändningen för klimathållning och avfuktning under produktion varierar energianvändningen från 1,7 kWh/m<sup>2</sup> till 100 kWh/m<sup>2</sup>. De projekt som har lite mer säkerhet i svaren bedöms ligga på 16 kWh/m<sup>2</sup> till 75 kWh/m<sup>2</sup>. Se Figur 19



**Figur 19.** Energianvändning kWh per m<sup>2</sup> för klimathållning och avfuktning under produktion

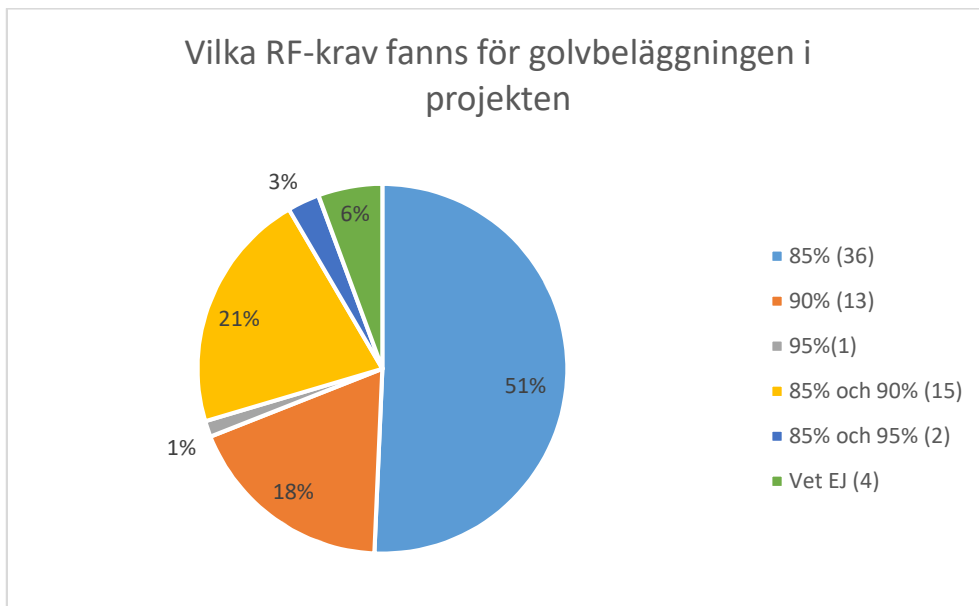
### 2.2.3 Byggnadsteknik

På frågan vilket/vilka VCT tal (Vatten /Cement tal) de använt i projektet svarar de flesta att de använt 2 olika betongtyper. Några har använt 3 eller fler i samma projekt. Den vanligaste betongen har ett VCT-tal på 0,38 men även 0,40 och 0,50 är vanligt förekommande i projekt. Totalt har 12 olika VCT-tal angetts som svar på frågan i enkäten. Se Figur 20.



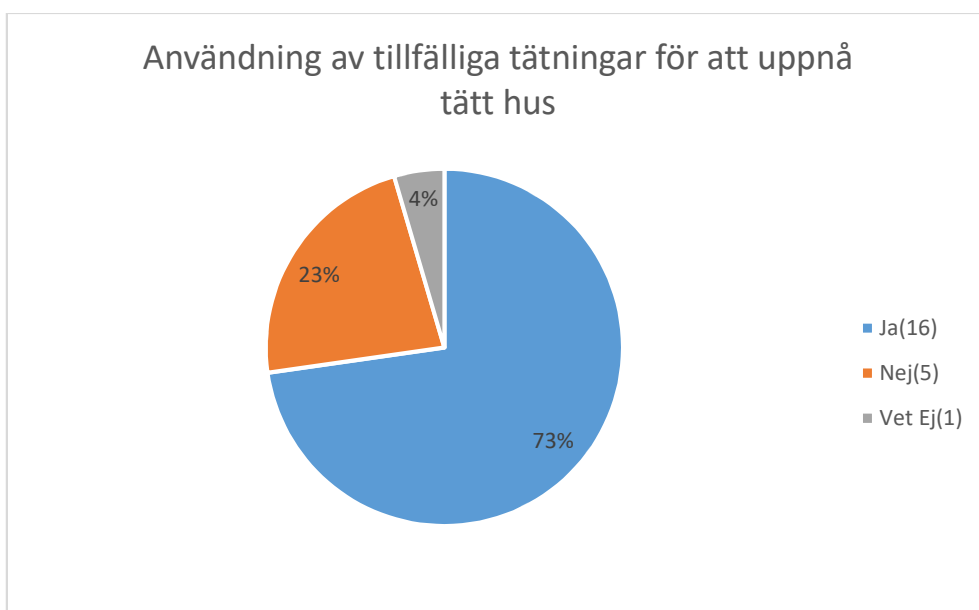
Figur 20. VCT-tal betong

Valet av betong är ofta kopplat till vilket RF-krav som finns för golvbeläggningen. I 50 % av projekten var RF-kravet 85%, i 21 % av projekten fanns både 85 % och 90 % som krav och i 18 % av projekten var kravet 90 %. Se Figur 21.



Figur 21 Vilka RF-krav fanns för golvbeläggningen i respektive projekt

På frågan om projektet har använt sig av tillfälliga tätningar för att uppnå tätt hus svarar 73 % "Ja", 23 % "Nej" och 4 % svarar "Vet Ej". Se Figur 22.



**Figur 22** Användning av tillfälliga tätningar för att uppnå tätt hus

Hur har man arbetat med tillfälliga tätningar?

- Provisoriska dörrar i stål eller plyfa, några väljer att även att isolera dörrarna med 70 mm mineralull.
- Tillfälliga väggar av plywood
- Tillfällig täckning av fönsternischer med plast, duk och plywood
- Diverse täckningar av plast, duk och pressningar
- Tätning mellan bjälklag genom att gjuta igen valv för att sedan öppna upp
- Tätning mellan bjälklag med hjälp av svetsad PVC-duk

## 2.3 Beräkningar

### 2.3.1 Besparingspotential Altiflex

Energianvändning för användningen av Altiflex jämfört med plast och träram har beräknats för ett 24-våningshus i Stockholm med betongstomme och curtainwall fasad. Beräkningen jämför de fall då plast med träram alternativt Altiflex används som provisorisk fasad. Energiberäkningen visar att det finns stor potential vid användningen av Altiflex på vintern. Den energibesparande potentialen är betydligt lägre vid användning under sommaren. För indata se kapitel 1.7.2. För resultat se Tabell 2.

| Period  | Altiflex U=2,6 | Plast U=5,3 | Skillnad kWh | Skillnad kWh/m <sup>2</sup> |
|---------|----------------|-------------|--------------|-----------------------------|
| Dec-Feb | 1 587 990      | 2 981 934   | 1 393 944    | 41,1                        |
| Jun-Aug | 82 962         | 198 195     | 115 233      | 3,4                         |

Tabell 2 Beräkningsresultat jämförande energiberäkning mellan Altiflex och plast med träram

### 2.3.2 Besparingspotential Luftridå

En grov beräkning av besparingspotentialen för användning av luftridå vid tungt trafikerade öppningar har utförts för tillfällig ingång med måtten 1,6 x 2,1m. Energianvändningen har beräknats för vinter- och sommarhalvår vid två olika belastningsfall där dörren är öppen 5 respektive 10 minuter per timme mellan 07–16. För vinterfallet beräknas en luftridå spara ca 1 100–2 100 kWh och för sommarfallet ca 170–300 kWh. Den totala besparingen för ett projekt beror på hur många transportöppningar och luftridåer som kan användas samt hur trafikerade ingångarna är. För indata och metodik se kapitel 1.7.2. För resultat se Tabell 3 och Tabell 4.

| Energianvändning    |           |           |     |
|---------------------|-----------|-----------|-----|
| Fall:               | Okt-April | April-Okt |     |
| Dörr öppen 10 min/h | 34 700    | 9 529     | kWh |
| Dörr öppen 5 min/h  | 32 796    | 9 261     | kWh |
| Dörr Stängd         | 30 511    | 8 919     | kWh |

Tabell 3. Beräkningsresultat för energianvändning vid olika fall och tider på året

| Besparingspotential         |           |           |     |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----|
| Fall:                       | Okt-April | April-Okt |     |
| Besparing ridå vid 5 min/h  | 1143      | 171       | kWh |
| Besparing ridå vid 10 min/h | 2095      | 305       | kWh |

Tabell 4. Besparingspotential för en luftridåvärmare vid olika fall och tider på året



### 2.3.3 Energibalans uttorkning

Som skrevs i kapitel 1.5, Energi för uttorkning av Betong – kort teori, energin som behövs i praktiken för att torka betong då är:

1. Ångbildningsenergi
2. Energiförluster genom byggnadens klimatskal/otätheter som krävs för att bibehålla betongens temperatur på det önskade temperatur för uttorkningen (oftast 18 °C).

Ångbildningsenergi är uträknad enligt ekvationen nedan

$$Q=m \cdot I_a$$

Där:

Q = Energi [J]

m = fuktmängd [Kg]

$I_a$  = ångbildningsvärme (2,4537 MJ/kg @ 20 °C.)

Omräkning från MJ till kWh görs genom sambandet: 1 kWh = 3,6 MJ. Den totala mängden energi som behövs till uttorkning av betongen blir den energi som behövs för att avdunsta fukten från betongen under uttorkningstiden plus energiförluster genom klimatskalet under uttorkningstiden. Det innebär i de fall man måste välja ett högre VCT på betongen så finns det mer fukt som måste torkas ut och uttorkningstiden blir längre i jämfört med betong med lågt VCT.

Ett enkelt exempel kan vara att torka ut byggfukt i ett hus. I detta exempel antar vi att byggnaden har ett energibehov för uppvärmning på ca 80 kWh/m<sup>2</sup>år under produktionen på grund otätheter, temporära dörrar och fönster och andra faktorer.

Under projekteringen måste projektet välja mellan en betong med VCT = 0,3 eller VCT = 0,4. Enligt Fukthandboken har betongen (Portlandcement) med VCT = 0,3 ca 60 kg/m<sup>3</sup> att torka ut medan betongen med VCT = 0,40 kan ha ca 75 kg/m<sup>3</sup> att torka ut. Energin som behövs till ångbildning för betong med VCT = 0,3 blir ca 40 kWh/m<sup>3</sup> (om man antar att byggnaden har en betongplatta som är 250 mm tjock, och 1 m<sup>2</sup> då blir energibehovet för avdunstning = 10 kWh/m<sup>2</sup>) medan betongen med VCT = 0,4 behöver ca 51 kWh/m<sup>3</sup> (eller 13 kWh/m<sup>2</sup> för en 250 mm tjock betongplatta). *Observera att denna mängd energi är fördelat över hela uttorkningstiden.*

Enligt en TorkaS simulering tar uttorkningen av en teoretisk 250 mm tjock betongplatta på mark med  $vct = 0,32$  och 300 mm cellplast (se Bilaga 4: TorkaS-beräkning uttorkning av betong ) samt  $RF_{krav} = 83\%$  (inklusive säkerhetsmarginal) i Skåne ca 43 dagar. Under de 43 dagarna, kommer det behövas ca  $10 \text{ kWh/m}^2 + 80 \text{ kWh/m}^2\text{år} * 43/365$  eller ca  $19,4 \text{ kWh/m}^2$  för att torka ut betongen.

Beräkning av samma byggnad fast med en betong som har  $VCT = 0,40$  så tar det mer än 550 dagar (1,5 år) att komma ned i 83% RF. Då blir energibehovet för uttorkning av betongen ca  $13 \text{ kWh/m}^2 + 80 \text{ kWh/m}^2\text{år} * 1,5 \text{ år} =$  eller  $13 + 120 = 133 \text{ kWh/m}^2$ .

Man kan se från exemplet att betongens egenskaper påverkar mängden energi som behövs för uttorkning, men det är inte energibehovet för att avdunsta fukten som är den största posten. Hur mycket energi det behövs beror främst på hur länge man måste upprätthålla en specifik temperatur på betongen samt hur stora förlusterna är genom byggnaden under uttorkningstiden. Mängden energi för uttorkning kan variera mycket beroende på hur färdigt byggnadens klimatskal är när man påbörjar uppvärmningen, samt hur bra byggnadens energiprestanda blir under produktionen. En byggnad som är mer färdigställd när klimathållning och avfuktning påbörjas under produktionen har därmed ett lägre energibehov för uppvärmning samt för att upprätthålla rätt uttorkningstemperatur på betongen.

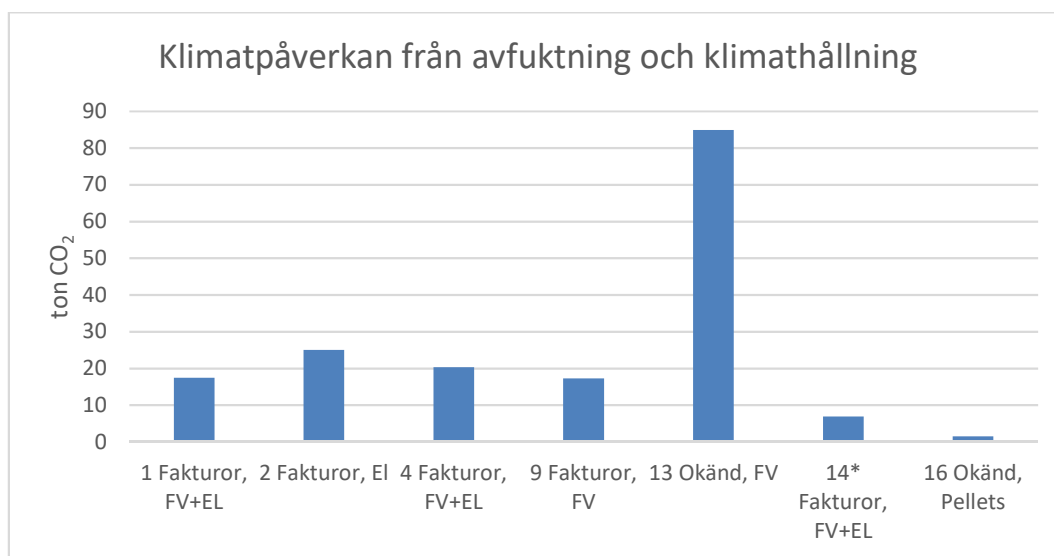
## 2.4 Mätningar

Under förstudien har en eftersökning på redan utförda energimätningar av klimathållning och avfuktning gjorts. Eftersökningarna har dock inte gett det resultat som önskades inför det att förstudien påbörjades. Inga fler mätningar än de som erhöles via enkätundersökningen kunde hittas till rapporten. Några svar i enkäten anger att de har mätt energin för klimathållning och avfuktning. Ingen kvalitetsgranskning av den uppmätta data som erhållits har gjorts under förstudien. Resultatet visar dock på att det finns en tydlig utvecklingspotential inom området med mätning och uppföljning av energi under produktion.

I en skola i har man använt pellets som uppvärmningskälla. Värmebehovet under produktion var ca 20 ton pellets, eller 98 000 kWh ( $19 \text{ kWh/m}^2$ ). En snabb beräkning av det totala energibehovet för uttorkning visade att för ca  $1200 \text{ m}^3$  betong (självuttorkande,  $vct$  ca 0,40) krävdes ca 20 000 kWh till ångbildningsvärme och ca 80 000 kWh krävdes för att hålla skolans inomhusmiljö på en lämplig uttorkningstemperatur. Betongen torkade i tid men det är okänt vilken inomhustemperatur skolan hade.

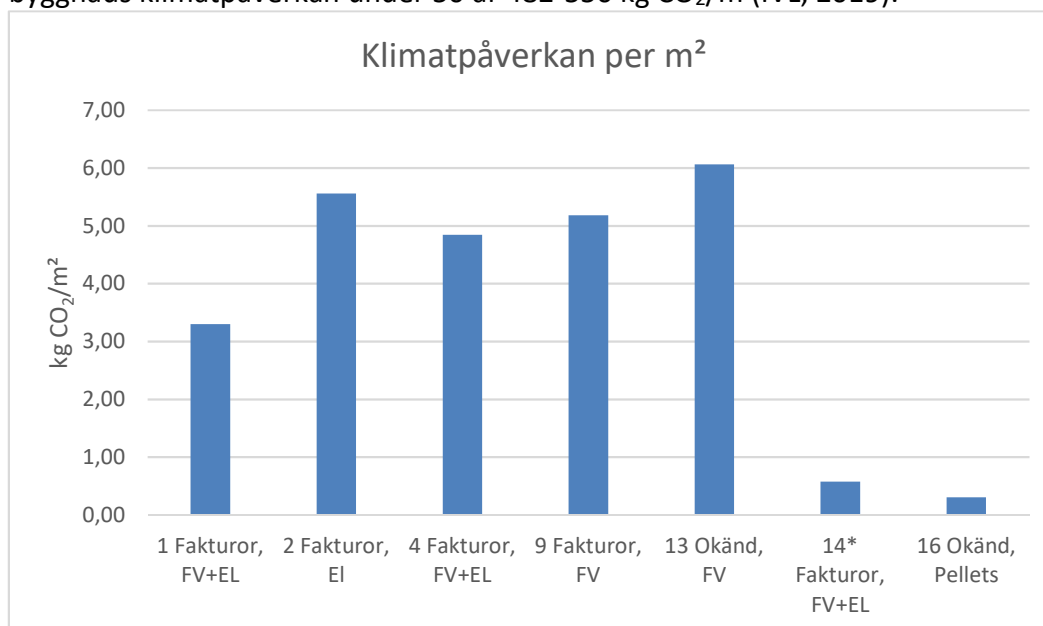
## 2.5 Klimatpåverkan

För de 7 projekt som angett hur mycket energi samt vilka energislag som använts för avfuktning och klimathållning har klimatpåverkan beräknats med hjälp av CO<sub>2</sub> ekvivalenter enligt 1.7.3 Beräkning av klimatpåverkan. Klimatpåverkan beror på energianvändningen och vilket energislag som har använts. För den totala klimatpåverkan från avfuktning och klimathållning se Figur 23 och Figur 24.



Figur 23 Klimatpåverkan från avfuktning och klimathållning enligt information från enkätresultat.

Klimatpåverkan per m<sup>2</sup> varierar mellan 0,3–6 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> vilket kan jämföras med klimatpåverkan från byggnaders stomme på 214–279 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> samt en hel byggnads klimatpåverkan under 50 år 482-550 kg CO<sub>2</sub>/m (IVL, 2019).



Figur 24 Klimatpåverkan från Figur 23 fördelat på m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>.

## 3 Diskussion

En stor del av diskussionen kommer behandla resultat från enkätundersökningen i detta projekt. Enkäterna är besvarade av Sveriges 3 största byggbolag som samtliga har genomfört energikartläggningar, har tydligt uttalande hållbarhetsmål och interna utvecklingsorganisationer som hanterar energi- och klimatfrågor. Det kan betyda att resultaten i denna rapport inte fullt representerar Sveriges byggbransch i sin helhet. Det finns också en stor risk i att svarsfrekvensen är ca 7% på de utskickade enkäterna.

### 3.1 Incitament för en energieffektiv byggprocess

93% av entreprenörerna uppgav att byggherren inte hade några energikrav på produktionen. Det framgår också att det oftast är entreprenören som betalar för energin under produktion. Om inte entreprenadformen gör att det ändå är byggherren som i slutändan betalar för energin så är det starkaste incitamentet för en energieffektiv produktion i dagsläget entreprenörens ekonomiska vinst.

Det saknas i dagsläget miljöcertifieringssystem som krävställer energianvändning och miljöpåverkan under produktion. Samtidigt är det väldigt komplext att krävställa energianvändningen för klimathållning och avfuktning då många parametrar spelar in, exempelvis byggnadens formfaktor, var i landet den byggs, kustnära eller i inland. Energianvändningen kan normalårkorrigeras mot temperatur men inte mot luftfuktighet. Därav är det väldigt viktigt att energianvändningen för klimathållning och avfuktning mäts och följs upp så att effektiva krävställningar kan utformas.

I 50% av de tillfrågade projekten är det utrustningsuthyraren som bestämmer var och hur mycket utrustning som behövs. Uthyraren får i sin tur betalt per uthyrd maskin och dygn. Energieffektiv utrustning i rätt mängd och på rätt plats kan därmed konkurrera med uthyrarens affärsmodell. Därav är det viktigt att byggherrar och miljöcertifieringar börjar krävställa energianvändningen under produktion för att driva på teknikutveckling och ge tydliga incitament för energieffektivitet under produktion.

I nuläget är det i de flesta fall utrustningsuthyrarens och platsorganisationens kompetens som avgör hur effektiv klimathållning- och avfuktningprocessen blir. Det kan därav finnas en potential i utbildningsinsatser att höja kompetensen hos de två grupperna. Det kan också finnas värde införa rollen energiansvarig för produktion likt fuktansvarig produktion.

### 3.1 Energianvändning och klimatpåverkan

Energianvändningen för klimathållning och avfuktning varierar i denna studie mellan 4,5 kWh – 100 kWh/m<sup>2</sup>. De flesta projekt använder ca 50 kWh/m<sup>2</sup> vilket kan likställas med ca 3 års uppvärmningsenergi.

Vid jämförelse av klimatpåverkan från klimathållning och avfuktning i denna studie, med studier på byggnaders totala klimatpåverkan fram går det att klimathållning och avfuktning står för en liten del av den totala klimatpåverkan. Den största klimatpåverkande delen om man tittar på en byggnad ur ett livscykelperspektiv är tillverkningen av material och framförallt då betongen i en byggnad med betongstomme (IVL, 2019). Med detta sagt finns ett behov att titta på alla delar oavsett storlek för att minska dess klimatpåverkan. Speciellt då enkätresultatet visar tydligt att det finns ett stort kunskapsgap och en informationsbrist kring hur stort energibehov som behövs för avfuktning och klimathållning i branschen.

Vidare finns även anledning att misstänka att den energi som tillförs vid avfuktning och klimathållning i de flesta fall inte har optimerats för ändamålet och att onödiga energiförluster föreligger. I rapporten har vi också visat på att klimatskalet under produktionen även påverkar storleken på energibehovet till klimathållning och avfuktning, trots att ett energieffektivt klimatskal kräver mer materialresurser så ger det energibesparande effekter både under produktion samt driftskede. Ett bra klimatskal minskar även risken för kondensbildning.

Något som tydligt framgår av förstudiens resultat är att planering med hänsyn till årstider vid byggande med betong kan vara av vikt för att minska energibehovet under produktionen. Här är det tydligt att en tidig samverkan mellan entreprenören och byggherren är ett bra initiativ för att effektivisera energi i produktion och anpassa tidplaner efter när gjutningen av betong passar för att skapa optimerade förhållanden. Enkätresultatet visade på att kravställandet från byggherrens sida ännu inte finns i någon större utsträckning. Det kan mycket väl bero på att kravställningen ses som komplex och att man saknar kunskap kring vad som är rimligt.

Som visas i nästa del, det är inte heller säkert om kravställningen ger rätt förutsättningar för att bygga på ett optimalt sett utifrån miljöpåverkan och optimering av CO<sub>2</sub> ekvivalent utsläpp för projektet. Lägre VCT behövs i betong för att hinna med korta produktionsstider men det extra CO<sub>2</sub> som behövs för att sänka VCT i betongen är lika stor som flera års energianvändning. Om kravet i framtiden handlar om en minimering eller optimering mot klimatpåverkan, då kan det bli bättre att förlänga produktionstiden och torka betongen med uppvärmningsenergi. Det är klart att detta varierar mellan olika projekt, betongens utsläpp, och uppvärmningsenergislut som användes under uttorkningstid.

## 3.2 Svårigheter med val av betong och uttorkning

Vilken betong man ska ha i ett projekt med hänsyn till uttorkning är ett stort diskussionsämne i produktionen idag. En viktig faktor är att välja en betong som kommer att hinna torka i tid för att lägga golvet men betongen bör helst också ha ett högt VCT för att minimera armeringsbehovet. Ett högt VCT ger även en bättre arbetsmiljö då betong med lågt VCT är svårare att jobba med. Samtidigt blir produktionstiden kortare med ny byggteknik och produktionsmetoder. I vissa projekt tillåts uttorkningstiden styra produktionstiden för hela projektet. Men som vi visade i del 2.3.3 (19 kWh/m<sup>2</sup> i en teoretisk byggnad med kort produktion och ett lågt VCT i betongen jämfört med 133 kWh/m<sup>2</sup> i samma projekt med längre produktionstid och ett högre VCT i betongen). Korta produktionstider behöver inte betyda att man måste använda stora mängder energi för att torka betongen snabbt om man väljer rätt betong och en lämplig uttorkningsstrategi.

Brander (2012a) har skrivit om hur man kunde optimera byggtorkning för nyproduktion genom att räkna på flera parametrar, bland annat väderförhållande, lufttäthet, energibalans och fuktbalansen för byggnaden. Slutsatsen i hans studie var att de tumregler som finns för att uppskatta energieffekt/energianvändning är inte relevanta. Det betyder att det finns en brist på information om hur mycket energi det krävs för uttorkning av betongen under produktion. Han skrev även (Brander, 2012b) om hur energibehovet för uttorkning av betong oftast underskattas och har släppt en checklista för att hjälpa med planering av uttorkning av betongen. Samtidigt beskrev han att det inte finns så mycket tillgängliga energidata över hur mycket energi som köps just för uttorkning.

Som rapporten och enkäten visar, uttorkning av betong är väldigt komplicerat på grund av att man försöker hålla en inomhusmiljö samtidigt som man bygger. Det finns även andra faktorer som är okända, inom materialegenskaper och forskning jobbar man med att ta fram ny kunskap om materialet, som till exempel hur bascementets diffusionsegenskaper påverkas av temperaturen under härdningsprocesser.

Det senaste tiden, det har diskuterats mycket om vilket påverkan den mer miljövänliga betongen med flygaska eller slagg (Bascement) har på uttorkningstiden. Torkar den långsammare än den mer klassiska Portlandcementbetongen (Byggcement) eller har de samma uttorkningstider? Det verkar som att under vissa förutsättningar kan Bascement ändra sina materialegenskaper under tiden och därmed ändra sin uttorkningshastighet mycket mer än med Byggcementen. Detta kan potentiellt vara ett problem om man försöker använda energi för att torka ut betongen, då fukten torkar mycket långsammare oavsett betongens temperatur jämfört med byggcement. Samtidigt behöver det inte vara ett problem om det visar sig att betongen är så pass tät att golvbeläggningen släpper ut fukt snabbare än betongen. Det skulle i så fall

innebära att det i praktiken aldrig uppstår en fuktproblematik då limmet aldrig blir fuktigt. I ett sådant fall blir energianvändningen för uttorkning av betongen lägre under produktionen och fördelas istället på byggnadens livstid. Det största problemet just nu är att man inte vet hur temperaturen i betongen under ett tidigt skede påverkar just transportegenskaperna sedan. Vissa förutsättningar kan resultera i en väldigt tät betong, och andra i en betong med nästan samma egenskaper som Portlandcement.

På grund av de potentiella problemen med olika egenskaper i Bascement ska den hanteras mer försiktigt än Byggcement. Ett exempel är om en Bascement med flygaska får vatten på sig tidigt efter gjutning och suger in vatten kapillärt kan det uppstå uttorkningsproblem senare om betongen blir tät då den stänger in fukten. En Portlandcement reagerar på värmen (d.v.s. att man höjer betongens temperatur ännu mer för att torka ut den) medan en tät betong inte kommer reagera lika mycket på värme.

Flera leverantörer lägger till olika medel i Bascement (tillsatsmedel) för att få en snabbare/bättre självuttorkning i sin betong. Det kan påverka energibehovet på ett positivt sätt om man kan torka snabbare utan värme och istället med kemi.

Det blir mer viktigt att ha koll på hur mycket energi man behöver för uttorkning om ska kunna räkna på CO<sub>2</sub> utsläpp i framtiden. Dessutom behövs mer forskning när det gäller vilket material man får beroende på hur man härdar den.

En snabb uträkning av CO<sub>2</sub> utsläpp mellan två teoretiska fall (se Bilaga 5: Exempel: CO<sub>2</sub> optimering), en byggnad med uttorkningstid på ett år och lågt VCT i betongen jämfört en likvärdig byggnad med två års uttorkningstid och ett högt VCT i betongen visar att det är optimalt ur ett miljöperspektiv att ha en längre produktionstid med högt VCT i betong då den extra CO<sub>2</sub>-belastning som orsakas av ett lägre VCT betong skulle täcka 3 års uppvärmning med el, eller 20 års uppvärmning med pellets! Detta kan vara ännu längre om man har ett miljövänligt fjärrvärmesystem.

Beräkning tar inte hänsyn till optimering av betongtjocklekar eller betong som framtagits för att reducera miljöpåverkan. Beräkningssättet kan kanske användas för att göra en snabb bedömning och jämförelse mellan två olika produkters miljöpåverkan.

## 4 Förslag på framtida studier

För kommande studier är det viktigt att ha energimätningar från flera projekt med olika husbyggnadsteknik där även metoder och utrustning följs upp och dokumenteras. Exempel på mätningar kan vara värme till uppvärmning, mätning av energi till avfuktare (samt övrig avfuktningsteknik), mätning av ventilation, loggning av inomhusmiljö, mätning av fukthalten i betongen, uttorkningsberäkningar, CO<sub>2</sub> ekvivalent beräkningar och dokumentation av kostnader.

För vidare enkätstudier är det viktigt att komma ut till fler byggherrar och platschefer på mindre och medelstora företag för att på så sätt få en mer rättvisande bild av branschen i sin helhet.

Då utrustningsuthyrare står för mycket planering och dimensionering av klimathållning och avfuktning kan det vara relevant att kartlägga aktörernas kunskapsnivå, vilken typ av utrustning som används samt deras incitament för energieffektivisering.

Betongens VCT-tal är kraftigt betydande för betongens klimatpåverkan samtidigt som VCT-talet också kraftigt påverkar uttorkningstiden och därmed energianvändningen. Produktionen av betongen har en mycket större miljöpåverkan än energin för uttorkning av betongen. Betongen kan optimeras för kort produktionstid eller för lågmiljöpåverkan men inte både. Flera studier behövs för att utveckla beräkningsmetoder när det gäller både energi- och miljöpåverkan, utvärdering av betong med lägre miljöpåverkan på projektnivå, och alternativt golvmaterial med högre RF-krav. Efter en sådan studie kan beställaren välja vad är viktigt i just deras projekt – kortare produktionstid eller minsta miljöpåverkan.

Ett sätt att påverka uttorkningstiden är genom golvbeläggnings RF-krav. Flera studier och utvecklingar behövs på materialsidan för att utveckla material som klarar ett högre RF-krav. Detta kan vara genom fukttåligare material, mer diffusionsöppet material kombinerat med tätare betong, eller snabbare torkning av betong genom kemi. Om man kan höja RF-kravet för olika golvmaterial utan risk för fuktskador, då påverkar energianvändningen för klimathållning och avfuktning positivt genom kortare uppvärmningstid. Om man kan dessutom klarar golvets RF-krav med en hög vct betong och en kort produktionstid då kan man få en byggnad med en kort produktionstid, lägre betongkostnader, och en lägre miljöpåverkan från både energibehovet och materialtillverkning samtidigt.



## 5 Referenser

Frico, 2019

[https://shop.frico.net/upload/assets/AIRCURTAIN\\_20180614\\_155332011.jpg](https://shop.frico.net/upload/assets/AIRCURTAIN_20180614_155332011.jpg)

Brander, p., 2012a, "Verktyg för optimering av byggtorkning", Rapport TVBM-3148, Licentiatuppsats, Byggnadsmaterial, Lunds Universitet, Tillgängligt via SBUFs hemsida:

<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/3d509821-f103-4034-b17d-f5b7950517dd/FinalReport/SBUF%2011589%20Licentiatuppsats%20Verktyg%20f%C3%B6r%20optimering%20av%20byggtorkning.pdf>

Brander, P., 2012b, "Byggtorkning", Sveriges Byggindustrier, Malmö, Tillgängligt via SBUFs hemsida, projekt #12485:

<https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/ee28610c-9660-40d1-b2f0-143081480a5b/FinalReport/SBUF%2012485%20Slutrapport%20Undvik%20fel%20och%20f%C3%A4llor%20vid%20byggtorkning.pdf>

Johansson, N. (2005). Uttorkning av betong: inverkan av cementtyp, betongkvalitet och omgivandefuktförhållanden. Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Linderoth och Johansson, 2019, "Fuktegenskaper hos cementbundet material med flygaskainblandning" Bygg och teknik Nr 7, 2019, s 8-11

Stelmarczyk, M., Rapp, T., Hedlund, H., och Gränne, F., 2019, "Självuttorkning och temperatur", SBUF, Tillgängligt via:

[https://www.sbuf.se/ppb/Nyheter/sjalvtorkning\\_och\\_temperatur/](https://www.sbuf.se/ppb/Nyheter/sjalvtorkning_och_temperatur/)

Stelmarczyk, Rapp, Hedlund, Carlström, 2019, " Utveckling av beräkning av uttorkning i programmet Produktionsplanering Betong samt Inmätning av Basement för uttorkningsberäkning i Produktionsplanering Betong", SBUF Rapport ID: 13197 & 13198 version 2.04 daterad 2019-05-10

Naturvårdsverket 2019

<https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/bidrag-och-ersattning/bidrag/klimatklivet/berakna-utslappsminskning-vagledning-klimatklivet-2018-09-04.pdf?fbclid=IwAR1-Ymn34NP15ywtgGSbfl6EYU5PnJ5RoKtW9HKQETvo6iMd5BaG9BibLaw>

Arbetsmiljöverket

<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/byggnads-och-anlaggningsarbete-foreskrifter-afs1999-3.pdf>

IVL 2019

<https://www.ivl.se/download/18.72aeb1b0166c003cd0d1d5/1542035270063/C350.pdf>



LÅGAN (program för byggnader med mycket LÅG energiANvändning) är ett samarbete mellan Energimyndigheten, Boverket, Sveriges Byggindustrier, Västra Götalandsregionen, Formas, byggherrar, entreprenörer och konsulter med syfte att öka byggtakten av lågenergibygnader.

[www.laganbygg.se](http://www.laganbygg.se)

## **6 Bilagor**

### **6.1 Bilaga 1: Enkät – Plats- och produktionschefer**

# Bilaga 1

1.E-post

2.Godkänner ni att vid behov bli kontaktade för kompletterande frågor?

- Ja  
 Nej

3.Vilket är ditt senast slutförda projekt? (Frivilligt)

4. På vilken ort ägde projektet rum?

5.Hur stort var projektet i m<sup>2</sup> ?

6.Vilken typ av stomme har byggnaden/byggnaderna ?

7.Vilket/vilka RF-krav fanns för golvbeläggningsen ?

- 95%  
 90%  
 85%  
 Vet Ej

8.Vilket VCT hade betongen? VCT (Vattencementtalet)

9.När göts plattan? (År och månad)

10.När uppnåddes tätt hus? (År och månad)

11.När var betongen uttorkad dvs RF <RF-krit ? (År och månad)

12.Vilken utrustning hade ni på plats för klimathållning(värme) och avfuktning

- Värmare  
 Golvvärme  
 Kondensavfuktare  
 Värmemattor  
 Vet Ej

13.När driftsattes respektive utrustning (År/Månad)

14.Hade byggherren några krav avseende energianvändningen under produktionen?

Ja

15.Vilket krav hade byggherren på energianvändningen?

16.Vilken part betalade projektets energifakturor?

Entreprenören

Byggherre

Annan

Vet Ej

17.Hur mycket energi användes under produktionen? Svara i kWh

18.Hur mycket energi användes från det datum då utrustningen för klimathållning(värme) och avfuktning installerades? kWh

Skicka

## 6.2 Bilaga 2: Kompletterande frågor – Plats- och produktionschefer

## Bilaga 2, kompletterande enkät plats/produktionschef

1.E-post

2.Hur fastställdes energianvändningen för klimathållning och avfuktning?

- Mätning
- Fakturor
- Uppskattning

3.Vem planerade och dimensionerade mängden utrustning för värme och avfuktning?

- Utrustningsuthyraren
- Fuktkonsult
- Ni själva / organisationen på plats
- Utförande enligt förfrågningsunderlag
- Vet Ej

4.Vilket energislag eller vilka energi användes för byggvärme i ert projekt?

- El
- Fjärrvärme
- Pellets
- Diesel
- 

5.Fanns det någon begränsning i effektuttag av El/Fjärrvärme vid produktionen?

- Ja
- Nej
- Vet Ej

6.Använde ni er av provisoriska tätningar för att uppnå tätt hus?

- Ja
- Nej
- Vet Ej

7.Vilka provisoriska tätningar användes?

## 6.3 Bilaga 3: Enkät – Byggherre



## Bilaga 3, enkät byggherre

1.E-post

2.Godkänner ni att vid behov bli kontaktade för kompletterande frågor?

- Ja  
 Nej

3.Vilket är ditt senast slutförda projekt? (Frivilligt) Samtliga frågor i enkäten relaterar till ert senaste färdigställda projekt.

4.Vilken typ av stomme har byggnaden/byggnaderna?

5.Vilken/Vilka typ av golv hade ni som ställde krav på RF i betong innan läggning?

- Parkettgolv, RFkrav = 90 %  
 Linoleumgolv, RFkrav = 90 %  
 Plastmatta, RFkrav = 85 %  
 Övriga, RFkrav = 85 %  
 Vet Ej

6.Fördes det någon dialog ihop med entreprenören om att anpassa tidplaner för att minimera energibehovet för klimathållning och avfuktning?

- Ja  
 Nej  
 Vet ej

7.Vilken part betalade projektets energifakturor?

- Byggherren  
 Entreprenören  
 Vet ej

8.Hur mycket energi användes under produktionen? Svara i kWh och om möjligt svara för varje energislag, el, fjärrvärme, olja osv

9.Hur mycket av produktionens energi användes för klimathållning och avfuktning? Svara i kWh om möjligt svara för varje energislag, el, fjärrvärme, olja osv

10.Ställde ni några krav på val av energislag för klimathållning(värme) och avfuktning?

- Ja
- Nej
- Vet ej

11.Hade ni några krav på den utrustning som användes för klimathållning(värme) och avfuktning, sett till energieffektivitet?

- Ja
- Nej
- Vet Ej

12.Hade ni något krav för energianvändningen under produktionen?

- Ja
- Nej
- Vet Ej

13.Vilket krav ställde ni på energianvändning under produktion?

14.Tillämpade ni ByggaF i projektet? ByggaF är en metod som säkerställer, dokumenterar och kommunicerar fuktsäkerheten i hela byggprocessen, från planering till förvaltning.

- Ja
- Nej
- Vet Ej

15.Var en fuktsakkunnig involverad under produktion?

- Ja
- Nej

## 6.4 Bilaga 4: TorKaS-beräkning uttorkning av betong

# Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS 3.1

Projekt:

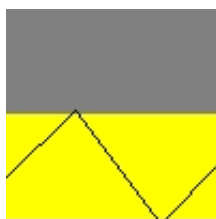
Namn:

Företag:

## Förutsättningar

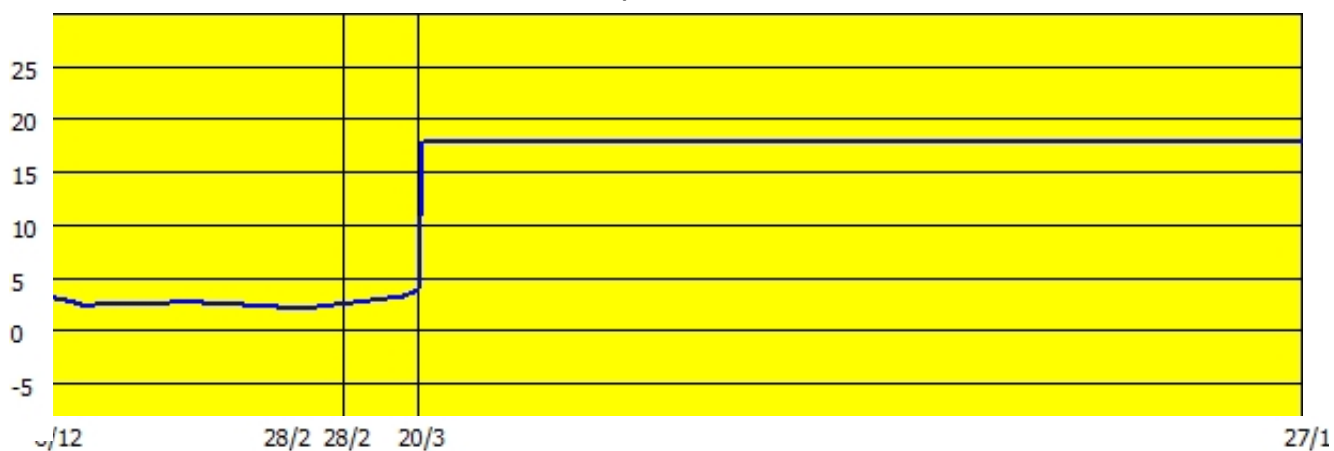
Platta på mark med underliggande (ESP) cellplast

Gjutning: 6/12 2019  
Tätt hus: 28/2 2020  
Torkstart: 20/3 2020  
Slutdatum: 27/11 2020  
Ort: Lund

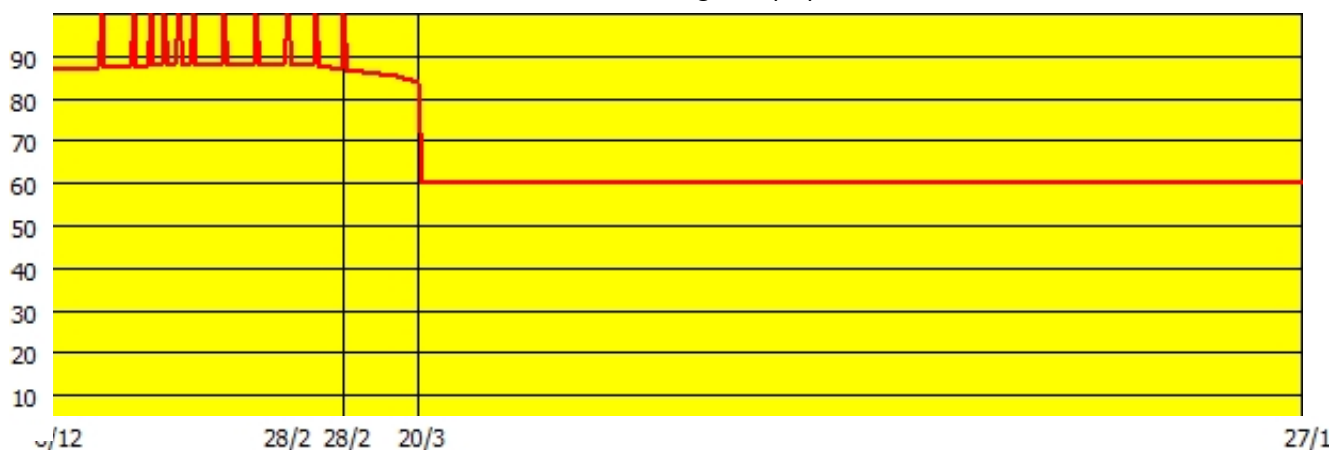


Tjocklek: 25cm  
Vct: 0,32  
Vattenhalt: 180  
Cementhalt: 563kg/m<sup>3</sup>

## Torkklimat Temperatur

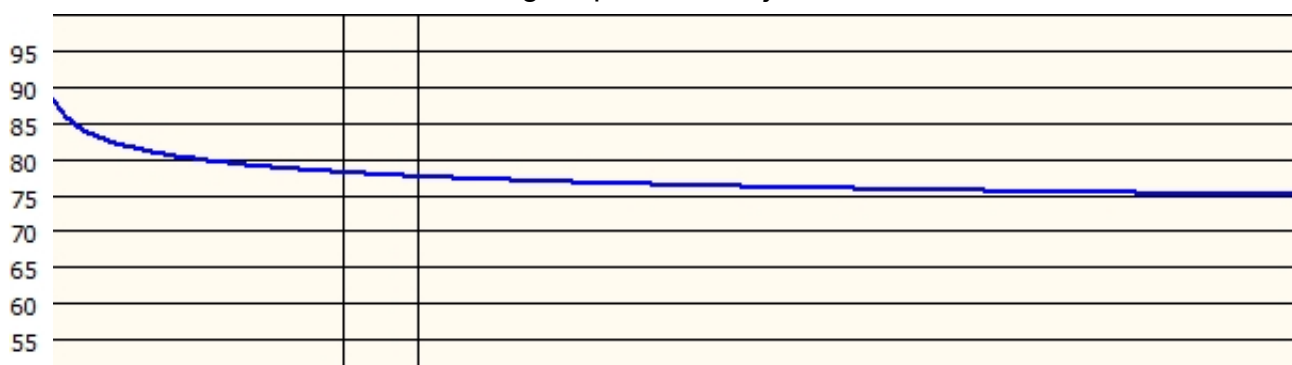


## Relativ fuktighet (%)



## Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



## Relativ fuktighet i betongplattan

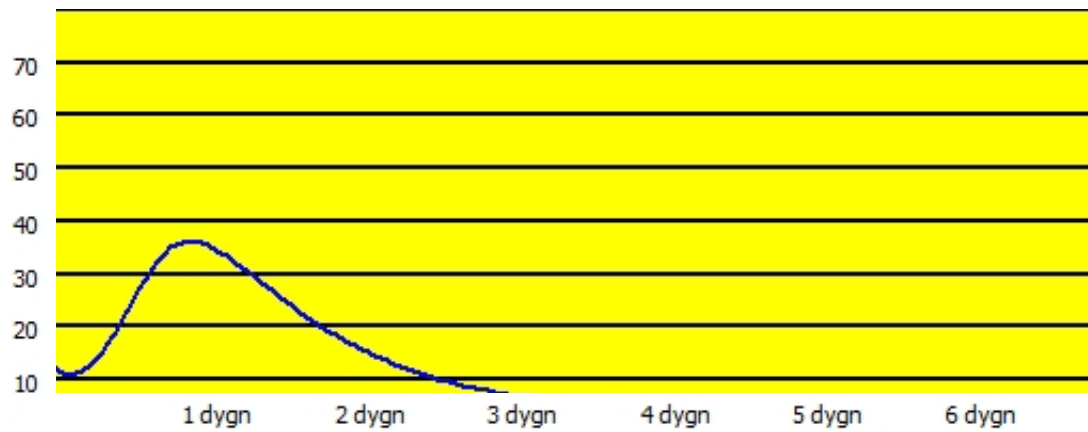


100-97,5      97,5-95,0      95,0-92,5      92,5-90,0      90,0-87,5      87,5-85,0

85,0-82,5      82,5-80,0      80,0-77,5      77,5-75,0      75,0-72,5      72,5-70,0

70,0-50,0

## Temperaturutveckling i betongplattan de första dagarna



## Förutsättningar för temperaturberäkning

Form:            Ingen

Täckning:        ingen  
 Värmekond.:    0,30W/(mK)  
 Tjocklek:        1mm  
 Täckningstid:    0dygn

Vindstyrka:      Vindstill

Projekt:

Namn:

Företag:

## Relativ fuktighet på 40% av tjockleken

| Dag   | RF | Dag  | RF | Dag  | RF | Dag  | RF | Dag   | RF | Dag   | RF |
|-------|----|------|----|------|----|------|----|-------|----|-------|----|
| 7/12  | 89 | 11/2 | 79 | 17/4 | 77 | 22/6 | 76 | 27/8  | 76 | 1/11  | 75 |
| 8/12  | 88 | 12/2 | 79 | 18/4 | 77 | 23/6 | 76 | 28/8  | 76 | 2/11  | 75 |
| 9/12  | 87 | 13/2 | 79 | 19/4 | 77 | 24/6 | 76 | 29/8  | 76 | 3/11  | 75 |
| 10/12 | 86 | 14/2 | 79 | 20/4 | 77 | 25/6 | 76 | 30/8  | 76 | 4/11  | 75 |
| 11/12 | 86 | 15/2 | 79 | 21/4 | 77 | 26/6 | 76 | 31/8  | 76 | 5/11  | 75 |
| 12/12 | 85 | 16/2 | 79 | 22/4 | 77 | 27/6 | 76 | 1/9   | 76 | 6/11  | 75 |
| 13/12 | 85 | 17/2 | 78 | 23/4 | 77 | 28/6 | 76 | 2/9   | 76 | 7/11  | 75 |
| 14/12 | 85 | 18/2 | 78 | 24/4 | 77 | 29/6 | 76 | 3/9   | 76 | 8/11  | 75 |
| 15/12 | 84 | 19/2 | 78 | 25/4 | 77 | 30/6 | 76 | 4/9   | 76 | 9/11  | 75 |
| 16/12 | 84 | 20/2 | 78 | 26/4 | 77 | 1/7  | 76 | 5/9   | 76 | 10/11 | 75 |
| 17/12 | 84 | 21/2 | 78 | 27/4 | 77 | 2/7  | 76 | 6/9   | 76 | 11/11 | 75 |
| 18/12 | 84 | 22/2 | 78 | 28/4 | 77 | 3/7  | 76 | 7/9   | 76 | 12/11 | 75 |
| 19/12 | 83 | 23/2 | 78 | 29/4 | 77 | 4/7  | 76 | 8/9   | 76 | 13/11 | 75 |
| 20/12 | 83 | 24/2 | 78 | 30/4 | 77 | 5/7  | 76 | 9/9   | 76 | 14/11 | 75 |
| 21/12 | 83 | 25/2 | 78 | 1/5  | 77 | 6/7  | 76 | 10/9  | 76 | 15/11 | 75 |
| 22/12 | 83 | 26/2 | 78 | 2/5  | 77 | 7/7  | 76 | 11/9  | 75 | 16/11 | 75 |
| 23/12 | 83 | 27/2 | 78 | 3/5  | 77 | 8/7  | 76 | 12/9  | 75 | 17/11 | 75 |
| 24/12 | 82 | 28/2 | 78 | 4/5  | 77 | 9/7  | 76 | 13/9  | 75 | 18/11 | 75 |
| 25/12 | 82 | 29/2 | 78 | 5/5  | 77 | 10/7 | 76 | 14/9  | 75 | 19/11 | 75 |
| 26/12 | 82 | 1/3  | 78 | 6/5  | 77 | 11/7 | 76 | 15/9  | 75 | 20/11 | 75 |
| 27/12 | 82 | 2/3  | 78 | 7/5  | 77 | 12/7 | 76 | 16/9  | 75 | 21/11 | 75 |
| 28/12 | 82 | 3/3  | 78 | 8/5  | 77 | 13/7 | 76 | 17/9  | 75 | 22/11 | 75 |
| 29/12 | 82 | 4/3  | 78 | 9/5  | 77 | 14/7 | 76 | 18/9  | 75 | 23/11 | 75 |
| 30/12 | 82 | 5/3  | 78 | 10/5 | 77 | 15/7 | 76 | 19/9  | 75 | 24/11 | 75 |
| 31/12 | 81 | 6/3  | 78 | 11/5 | 77 | 16/7 | 76 | 20/9  | 75 | 25/11 | 75 |
| 1/1   | 81 | 7/3  | 78 | 12/5 | 77 | 17/7 | 76 | 21/9  | 75 | 26/11 | 75 |
| 2/1   | 81 | 8/3  | 78 | 13/5 | 77 | 18/7 | 76 | 22/9  | 75 |       |    |
| 3/1   | 81 | 9/3  | 78 | 14/5 | 77 | 19/7 | 76 | 23/9  | 75 |       |    |
| 4/1   | 81 | 10/3 | 78 | 15/5 | 77 | 20/7 | 76 | 24/9  | 75 |       |    |
| 5/1   | 81 | 11/3 | 78 | 16/5 | 77 | 21/7 | 76 | 25/9  | 75 |       |    |
| 6/1   | 81 | 12/3 | 78 | 17/5 | 77 | 22/7 | 76 | 26/9  | 75 |       |    |
| 7/1   | 81 | 13/3 | 78 | 18/5 | 77 | 23/7 | 76 | 27/9  | 75 |       |    |
| 8/1   | 81 | 14/3 | 78 | 19/5 | 77 | 24/7 | 76 | 28/9  | 75 |       |    |
| 9/1   | 81 | 15/3 | 78 | 20/5 | 77 | 25/7 | 76 | 29/9  | 75 |       |    |
| 10/1  | 80 | 16/3 | 78 | 21/5 | 77 | 26/7 | 76 | 30/9  | 75 |       |    |
| 11/1  | 80 | 17/3 | 78 | 22/5 | 77 | 27/7 | 76 | 1/10  | 75 |       |    |
| 12/1  | 80 | 18/3 | 78 | 23/5 | 77 | 28/7 | 76 | 2/10  | 75 |       |    |
| 13/1  | 80 | 19/3 | 78 | 24/5 | 76 | 29/7 | 76 | 3/10  | 75 |       |    |
| 14/1  | 80 | 20/3 | 78 | 25/5 | 76 | 30/7 | 76 | 4/10  | 75 |       |    |
| 15/1  | 80 | 21/3 | 78 | 26/5 | 76 | 31/7 | 76 | 5/10  | 75 |       |    |
| 16/1  | 80 | 22/3 | 78 | 27/5 | 76 | 1/8  | 76 | 6/10  | 75 |       |    |
| 17/1  | 80 | 23/3 | 78 | 28/5 | 76 | 2/8  | 76 | 7/10  | 75 |       |    |
| 18/1  | 80 | 24/3 | 77 | 29/5 | 76 | 3/8  | 76 | 8/10  | 75 |       |    |
| 19/1  | 80 | 25/3 | 77 | 30/5 | 76 | 4/8  | 76 | 9/10  | 75 |       |    |
| 20/1  | 80 | 26/3 | 77 | 31/5 | 76 | 5/8  | 76 | 10/10 | 75 |       |    |
| 21/1  | 80 | 27/3 | 77 | 1/6  | 76 | 6/8  | 76 | 11/10 | 75 |       |    |
| 22/1  | 80 | 28/3 | 77 | 2/6  | 76 | 7/8  | 76 | 12/10 | 75 |       |    |
| 23/1  | 80 | 29/3 | 77 | 3/6  | 76 | 8/8  | 76 | 13/10 | 75 |       |    |
| 24/1  | 80 | 30/3 | 77 | 4/6  | 76 | 9/8  | 76 | 14/10 | 75 |       |    |
| 25/1  | 79 | 31/3 | 77 | 5/6  | 76 | 10/8 | 76 | 15/10 | 75 |       |    |
| 26/1  | 79 | 1/4  | 77 | 6/6  | 76 | 11/8 | 76 | 16/10 | 75 |       |    |
| 27/1  | 79 | 2/4  | 77 | 7/6  | 76 | 12/8 | 76 | 17/10 | 75 |       |    |
| 28/1  | 79 | 3/4  | 77 | 8/6  | 76 | 13/8 | 76 | 18/10 | 75 |       |    |
| 29/1  | 79 | 4/4  | 77 | 9/6  | 76 | 14/8 | 76 | 19/10 | 75 |       |    |
| 30/1  | 79 | 5/4  | 77 | 10/6 | 76 | 15/8 | 76 | 20/10 | 75 |       |    |
| 31/1  | 79 | 6/4  | 77 | 11/6 | 76 | 16/8 | 76 | 21/10 | 75 |       |    |
| 1/2   | 79 | 7/4  | 77 | 12/6 | 76 | 17/8 | 76 | 22/10 | 75 |       |    |
| 2/2   | 79 | 8/4  | 77 | 13/6 | 76 | 18/8 | 76 | 23/10 | 75 |       |    |
| 3/2   | 79 | 9/4  | 77 | 14/6 | 76 | 19/8 | 76 | 24/10 | 75 |       |    |
| 4/2   | 79 | 10/4 | 77 | 15/6 | 76 | 20/8 | 76 | 25/10 | 75 |       |    |
| 5/2   | 79 | 11/4 | 77 | 16/6 | 76 | 21/8 | 76 | 26/10 | 75 |       |    |
| 6/2   | 79 | 12/4 | 77 | 17/6 | 76 | 22/8 | 76 | 27/10 | 75 |       |    |
| 7/2   | 79 | 13/4 | 77 | 18/6 | 76 | 23/8 | 76 | 28/10 | 75 |       |    |
| 8/2   | 79 | 14/4 | 77 | 19/6 | 76 | 24/8 | 76 | 29/10 | 75 |       |    |
| 9/2   | 79 | 15/4 | 77 | 20/6 | 76 | 25/8 | 76 | 30/10 | 75 |       |    |
| 10/2  | 79 | 16/4 | 77 | 21/6 | 76 | 26/8 | 76 | 31/10 | 75 |       |    |

# Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS 3.1

Projekt:

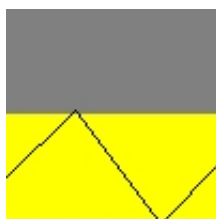
Namn:

Företag:

## Förutsättningar

Platta på mark med underliggande (ESP) cellplast

Gjutning: 6/12 2019  
Tätt hus: 28/2 2020  
Torkstart: 20/3 2020  
Slutdatum: 30/6 2021  
Ort: Lund



Tjocklek: 25cm  
Vct: 0,40  
Vattenhalt: 180  
Cementhalt: 450kg/m<sup>3</sup>

## Torkklimat Temperatur

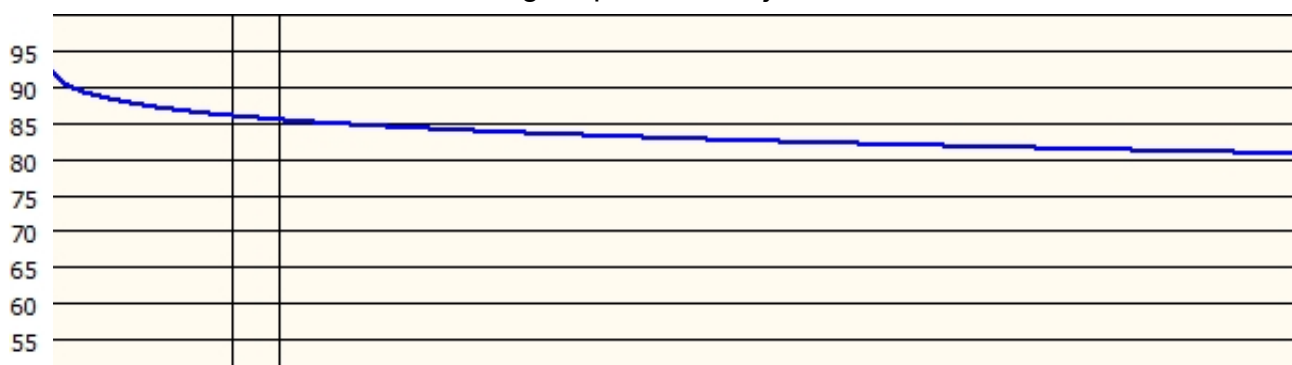


## Relativ fuktighet (%)

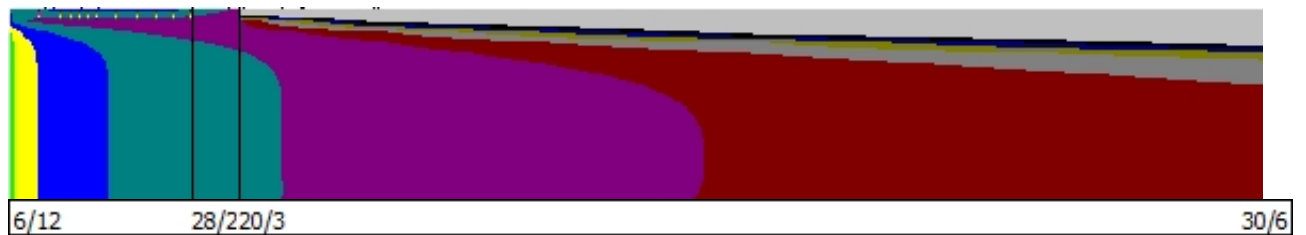


## Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 40% av tjockleken



## Relativ fuktighet i betongplattan



100-97,5

97,5-95,0

95,0-92,5

92,5-90,0

90,0-87,5

87,5-85,0

85,0-82,5

82,5-80,0

80,0-77,5

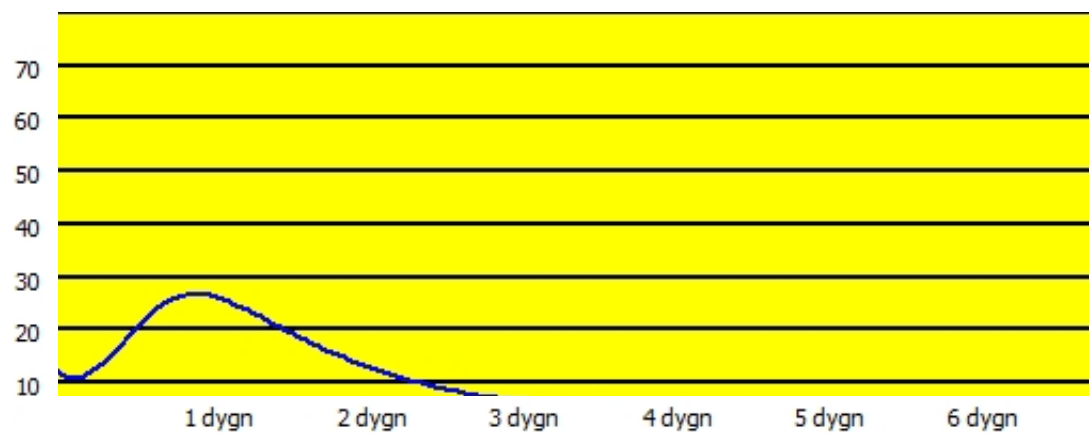
77,5-75,0

75,0-72,5

72,5-70,0

70,0-50,0

### Temperaturutveckling i betongplattan de första dagarna



### Förutsättningar för temperaturberäkning

Form: Ingen

Täckning: ingen  
 Värmekond.: 0,30W/(mK)  
 Tjocklek: 1mm  
 Täckningstid: 0dygn

Vindstyrka: Vindstill



Projekt:

Namn:

Företag:

## Relativ fuktighet på 40% av tjockleken

| Dag   | RF | Dag  | RF | Dag  | RF | Dag  | RF | Dag   | RF | Dag   | RF |
|-------|----|------|----|------|----|------|----|-------|----|-------|----|
| 7/12  | 93 | 11/2 | 86 | 17/4 | 85 | 22/6 | 84 | 27/8  | 83 | 1/11  | 82 |
| 8/12  | 92 | 12/2 | 86 | 18/4 | 85 | 23/6 | 84 | 28/8  | 83 | 2/11  | 82 |
| 9/12  | 92 | 13/2 | 86 | 19/4 | 85 | 24/6 | 84 | 29/8  | 83 | 3/11  | 82 |
| 10/12 | 91 | 14/2 | 86 | 20/4 | 85 | 25/6 | 84 | 30/8  | 83 | 4/11  | 82 |
| 11/12 | 91 | 15/2 | 86 | 21/4 | 85 | 26/6 | 84 | 31/8  | 83 | 5/11  | 82 |
| 12/12 | 91 | 16/2 | 86 | 22/4 | 85 | 27/6 | 84 | 1/9   | 83 | 6/11  | 82 |
| 13/12 | 91 | 17/2 | 86 | 23/4 | 85 | 28/6 | 84 | 2/9   | 83 | 7/11  | 82 |
| 14/12 | 90 | 18/2 | 86 | 24/4 | 85 | 29/6 | 84 | 3/9   | 83 | 8/11  | 82 |
| 15/12 | 90 | 19/2 | 86 | 25/4 | 85 | 30/6 | 84 | 4/9   | 83 | 9/11  | 82 |
| 16/12 | 90 | 20/2 | 86 | 26/4 | 85 | 1/7  | 84 | 5/9   | 83 | 10/11 | 82 |
| 17/12 | 90 | 21/2 | 86 | 27/4 | 85 | 2/7  | 84 | 6/9   | 83 | 11/11 | 82 |
| 18/12 | 90 | 22/2 | 86 | 28/4 | 85 | 3/7  | 84 | 7/9   | 83 | 12/11 | 82 |
| 19/12 | 90 | 23/2 | 86 | 29/4 | 85 | 4/7  | 84 | 8/9   | 83 | 13/11 | 82 |
| 20/12 | 90 | 24/2 | 86 | 30/4 | 85 | 5/7  | 84 | 9/9   | 83 | 14/11 | 82 |
| 21/12 | 89 | 25/2 | 86 | 1/5  | 85 | 6/7  | 84 | 10/9  | 83 | 15/11 | 82 |
| 22/12 | 89 | 26/2 | 86 | 2/5  | 85 | 7/7  | 84 | 11/9  | 83 | 16/11 | 82 |
| 23/12 | 89 | 27/2 | 86 | 3/5  | 85 | 8/7  | 84 | 12/9  | 83 | 17/11 | 82 |
| 24/12 | 89 | 28/2 | 86 | 4/5  | 85 | 9/7  | 84 | 13/9  | 83 | 18/11 | 82 |
| 25/12 | 89 | 29/2 | 86 | 5/5  | 85 | 10/7 | 84 | 14/9  | 83 | 19/11 | 82 |
| 26/12 | 89 | 1/3  | 86 | 6/5  | 85 | 11/7 | 84 | 15/9  | 83 | 20/11 | 82 |
| 27/12 | 89 | 2/3  | 86 | 7/5  | 84 | 12/7 | 84 | 16/9  | 83 | 21/11 | 82 |
| 28/12 | 89 | 3/3  | 86 | 8/5  | 84 | 13/7 | 84 | 17/9  | 83 | 22/11 | 82 |
| 29/12 | 89 | 4/3  | 86 | 9/5  | 84 | 14/7 | 84 | 18/9  | 83 | 23/11 | 82 |
| 30/12 | 89 | 5/3  | 86 | 10/5 | 84 | 15/7 | 84 | 19/9  | 83 | 24/11 | 82 |
| 31/12 | 88 | 6/3  | 86 | 11/5 | 84 | 16/7 | 84 | 20/9  | 83 | 25/11 | 82 |
| 1/1   | 88 | 7/3  | 86 | 12/5 | 84 | 17/7 | 84 | 21/9  | 83 | 26/11 | 82 |
| 2/1   | 88 | 8/3  | 86 | 13/5 | 84 | 18/7 | 83 | 22/9  | 83 | 27/11 | 82 |
| 3/1   | 88 | 9/3  | 86 | 14/5 | 84 | 19/7 | 83 | 23/9  | 83 | 28/11 | 82 |
| 4/1   | 88 | 10/3 | 86 | 15/5 | 84 | 20/7 | 83 | 24/9  | 83 | 29/11 | 82 |
| 5/1   | 88 | 11/3 | 86 | 16/5 | 84 | 21/7 | 83 | 25/9  | 83 | 30/11 | 82 |
| 6/1   | 88 | 12/3 | 86 | 17/5 | 84 | 22/7 | 83 | 26/9  | 83 | 1/12  | 82 |
| 7/1   | 88 | 13/3 | 86 | 18/5 | 84 | 23/7 | 83 | 27/9  | 83 | 2/12  | 82 |
| 8/1   | 88 | 14/3 | 86 | 19/5 | 84 | 24/7 | 83 | 28/9  | 83 | 3/12  | 82 |
| 9/1   | 88 | 15/3 | 86 | 20/5 | 84 | 25/7 | 83 | 29/9  | 83 | 4/12  | 82 |
| 10/1  | 88 | 16/3 | 86 | 21/5 | 84 | 26/7 | 83 | 30/9  | 83 | 5/12  | 82 |
| 11/1  | 88 | 17/3 | 85 | 22/5 | 84 | 27/7 | 83 | 1/10  | 83 | 6/12  | 82 |
| 12/1  | 88 | 18/3 | 85 | 23/5 | 84 | 28/7 | 83 | 2/10  | 83 | 7/12  | 82 |
| 13/1  | 88 | 19/3 | 85 | 24/5 | 84 | 29/7 | 83 | 3/10  | 83 | 8/12  | 82 |
| 14/1  | 88 | 20/3 | 85 | 25/5 | 84 | 30/7 | 83 | 4/10  | 83 | 9/12  | 82 |
| 15/1  | 88 | 21/3 | 85 | 26/5 | 84 | 31/7 | 83 | 5/10  | 83 | 10/12 | 82 |
| 16/1  | 88 | 22/3 | 85 | 27/5 | 84 | 1/8  | 83 | 6/10  | 83 | 11/12 | 82 |
| 17/1  | 87 | 23/3 | 85 | 28/5 | 84 | 2/8  | 83 | 7/10  | 83 | 12/12 | 82 |
| 18/1  | 87 | 24/3 | 85 | 29/5 | 84 | 3/8  | 83 | 8/10  | 83 | 13/12 | 82 |
| 19/1  | 87 | 25/3 | 85 | 30/5 | 84 | 4/8  | 83 | 9/10  | 83 | 14/12 | 82 |
| 20/1  | 87 | 26/3 | 85 | 31/5 | 84 | 5/8  | 83 | 10/10 | 83 | 15/12 | 82 |
| 21/1  | 87 | 27/3 | 85 | 1/6  | 84 | 6/8  | 83 | 11/10 | 83 | 16/12 | 82 |
| 22/1  | 87 | 28/3 | 85 | 2/6  | 84 | 7/8  | 83 | 12/10 | 83 | 17/12 | 82 |
| 23/1  | 87 | 29/3 | 85 | 3/6  | 84 | 8/8  | 83 | 13/10 | 83 | 18/12 | 82 |
| 24/1  | 87 | 30/3 | 85 | 4/6  | 84 | 9/8  | 83 | 14/10 | 83 | 19/12 | 82 |
| 25/1  | 87 | 31/3 | 85 | 5/6  | 84 | 10/8 | 83 | 15/10 | 83 | 20/12 | 82 |
| 26/1  | 87 | 1/4  | 85 | 6/6  | 84 | 11/8 | 83 | 16/10 | 83 | 21/12 | 82 |
| 27/1  | 87 | 2/4  | 85 | 7/6  | 84 | 12/8 | 83 | 17/10 | 83 | 22/12 | 82 |
| 28/1  | 87 | 3/4  | 85 | 8/6  | 84 | 13/8 | 83 | 18/10 | 83 | 23/12 | 82 |
| 29/1  | 87 | 4/4  | 85 | 9/6  | 84 | 14/8 | 83 | 19/10 | 83 | 24/12 | 82 |
| 30/1  | 87 | 5/4  | 85 | 10/6 | 84 | 15/8 | 83 | 20/10 | 83 | 25/12 | 82 |
| 31/1  | 87 | 6/4  | 85 | 11/6 | 84 | 16/8 | 83 | 21/10 | 83 | 26/12 | 82 |
| 1/2   | 87 | 7/4  | 85 | 12/6 | 84 | 17/8 | 83 | 22/10 | 83 | 27/12 | 82 |
| 2/2   | 87 | 8/4  | 85 | 13/6 | 84 | 18/8 | 83 | 23/10 | 83 | 28/12 | 82 |
| 3/2   | 87 | 9/4  | 85 | 14/6 | 84 | 19/8 | 83 | 24/10 | 82 | 29/12 | 82 |
| 4/2   | 87 | 10/4 | 85 | 15/6 | 84 | 20/8 | 83 | 25/10 | 82 | 30/12 | 82 |
| 5/2   | 87 | 11/4 | 85 | 16/6 | 84 | 21/8 | 83 | 26/10 | 82 | 31/12 | 82 |
| 6/2   | 87 | 12/4 | 85 | 17/6 | 84 | 22/8 | 83 | 27/10 | 82 | 1/1   | 82 |
| 7/2   | 87 | 13/4 | 85 | 18/6 | 84 | 23/8 | 83 | 28/10 | 82 | 2/1   | 82 |
| 8/2   | 87 | 14/4 | 85 | 19/6 | 84 | 24/8 | 83 | 29/10 | 82 | 3/1   | 82 |
| 9/2   | 87 | 15/4 | 85 | 20/6 | 84 | 25/8 | 83 | 30/10 | 82 | 4/1   | 82 |
| 10/2  | 87 | 16/4 | 85 | 21/6 | 84 | 26/8 | 83 | 31/10 | 82 | 5/1   | 82 |



## 6.5 Bilaga 5: Exempel: CO<sub>2</sub> optimering

För att kontrollera om det är bättre ur ett miljöperspektiv att sänka betongens VCT och få en kortare uttorkningstid alternativt värma upp byggnaden längre. En enkel beräkning gjordes baserat på resultat från TorkaS (d.v.s. Portland Cement) och indata från Fukthandboken. CO<sub>2</sub> utsläpp från betongen hämtades från Svensk Betongs hemsida: <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/koldioxidutslapp>. Elens CO<sub>2</sub> ek värde kommer från "Emissionsfaktor för nordisk elproduktionsmix", tabell 2 sidan 2.

<https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b7669/1445517637082/B2118.pdf>

Vi utgår ifrån en fiktiv byggnad med 5100 m<sup>2</sup> golv area, med platsgjutet betongbjälklag. Tabellen även visar vilket CO<sub>2</sub> ek utsläpp/kWh för två olika uppvärmnings sätt, el och pellets.

|                   |                     |              |                                |       |
|-------------------|---------------------|--------------|--------------------------------|-------|
| A <sub>temp</sub> | 5104 m <sup>2</sup> |              | el CO <sub>2</sub> Kg/kWh      | 0,125 |
| Betongvolym       | 1200 m <sup>3</sup> | (TorkaS 3.2) | Pellets CO <sub>2</sub> kG/kWh | 0,019 |

Först beräknas hur många kg CO<sub>2</sub> eq som släpps på grund av tillverkning av betongen. kg cement/m<sup>3</sup> betong är enligt TorkaS. I tabellen nedan man kan se att det släpps ca 76 000 kg mer CO<sub>2</sub> för att producera en lägre vct. betong.

|                    | kg cement/m <sup>3</sup> | Kg CO <sub>2</sub> /ton cement | Kg CO <sub>2</sub><br>Betongtillverkning |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------|--|
| vct 0,40           | 450                      | 709                            | 382 860                                  |
| vct 0,50 (Basfall) | 360                      | 709                            | 306 288                                  |
|                    |                          | Skillnad i Kg CO <sub>2</sub>  | 76 572                                   |

Nästa steg är att räkna ut avdunstningsenergi. Avdunstningsenergi som behövs för att avdunsta vattnet från betongen är den mängd energi som används för att torka byggfukten (Byggfukt för betongen är enligt Fukthandbok, 2017).

| Energi uttorkning av byggfukt | Byggfukt Kg/m <sup>3</sup> | Byggfukt Kg | Avdunstningsenergi |
|-------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------|
| vct 0,40                      | 75                         | 90000       | 40836              |
| vct 0,50                      | 85                         | 102000      | 46280,8            |

För att räkna ut hur lång tid betongen behöver torka och hållas uppvärmd till minst den antagna uttorkningstemperaturen (18-20°C) gjordes uttorkningsberäkningar med TorkaS. Den energi som används för byggnadens uppvärmning beräknas genom byggnadens uppvärmningsbehov från en energiberäkning multiplicerad med tiden det tar att torka ut betongen, dvs produktionstiden.

|   | Produktionstid | Uppvärmningsenergi<br>per år * produktionstid |
|---|----------------|---|
| vct 0,40                                  | 1              | 158224  |
| vct 0,50 (Basfall)                        | 2              | 316448  |
| * Spec. Energi = 31 kWh/m <sup>2</sup> år |                |   |

Det totala energibehovet under uttorkningstiden = avdunstningsenergi + energiförluster i byggnaden (Uppvärmningsenergi). I tabellen nedan se man att den kortare produktionstiden behöver mindre energi för att torka ut betongen.

| Total uttorkningsenergi                               | Avdunstningsenergi | Energiförluster byggnad | Totalt energibehöv |
|---|--------------------|-------------------------|--------------------|
| vct 0,40  | 40836              | 158224                  | 199060             |
| vct 0,50  | 46280,8            | 316448                  | 362728,8           |
| *Antar energi under uppvärmning, ca 8 månader per år. |                    |                         |                    |

För att kontrollera om energibesparingen med lägre VCT är den bättre lösningen ur ett miljöperspektiv multipliceras energianvändningen med CO<sub>2 ek</sub> för respektive energikälla. I detta fall jämfördes nordisk el mix med pellets.

Först räknar man det totala CO<sub>2 ek</sub> utsläppet för el genom att ta total energibehov \* CO<sub>2</sub> faktorn för el. Sedan summera man CO<sub>2 ek</sub> utsläpp för el och betongtillverkning. Resultatet i tabell nedan visar att det behövs 56 000 kg CO<sub>2</sub> mer för att sänka produktionstiden med 1 år genom att köpa en lägre vct betong, eller man kan tolka det som att man spara 56 000 kg CO<sub>2 ek</sub> genom att tillåta en längre produktionstid med en högre vct betong.

|                    | Kg CO <sub>2</sub> Energi (el) | Kg CO <sub>2</sub> Betong | Summa CO <sub>2</sub> (el) | Extra Kg CO <sub>2</sub> (el) |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| vct 0,40           | 24 883                         | 382 860                   | 407 743                    | 56 113                        |
| vct 0,50 (Basfall) | 45 341                         | 306 288                   | 351 629                    | 0                             |

Om man har en förnybar energikälla så som pellets istället minskar den mängden CO<sub>2</sub> men skillnaden mellan VCT 0,4 och VCT 0,5 ökar.

|                    | Kg CO <sub>2</sub> Energi<br>(Pellets) | Kg CO <sub>2</sub> Betong | Summa CO <sub>2</sub><br>(Pellets) | Extra Kg CO <sub>2</sub> (Pellets) |
|--------------------|--|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| vct 0,40           | 3 782                                  | 382 860                   | 386 642                            | 73 462                             |
| vct 0,50 (Basfall) | 6 892                                  | 306 288                   | 313 180                            | 0                                  |

Skillnaden ökar då förnybar energi släpper ut mindre CO<sub>2 ek</sub> och utsläppen från produktionen av betongen blir mer dominant. Observera att, i detta teoretiska exempel, det är till och med bättre att ha en längre produktionstid med nordisk el mix jämfört med att välja betong med lägre vct och använda sig av förnybar energi.