



Digital transformation av byggplatser:
Produktivitet och hållbarhet

Effektivare betonguttorkning

AHMET ANIL SEZER, LIU
BIRGITTA BERGLUND, NCC
MARTIN RUDBERG, LIU

li.u LINKÖPINGS
UNIVERSITET

L
LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

←
**SMART BUILT
ENVIRONMENT**
UPPKOPPLAD BYGGPLATS →



Effektivare betonguttorkning

Minskad elförbrukning och förbättrat inomhusklimat

Ahmet Anil Sezer¹, Birgitta Berglund² och Martin Rudberg¹

1) Linköpings universitet 2) NCC

Uttorkningsprocessen av betong är avgörande för både byggkvaliteten och inomhusklimatet. Denna process kan accelereras med högre temperaturer, men det kräver ständig uppsikt och noggrann kontroll för att också få ett behagligt inomhusklimat för yrkesarbetarna. I ett testbäddsprojekt utfört vid ett nytt sporthallsprojekt uppfört av NCC, användes värmefläcktar med inbyggda sensorer från El-Björn. Dessa fläcktar, tillsammans med sensorer placerade i taket och inbäddade i betongen, möjliggjorde kontinuerlig övervakning av temperatur och luftfuktighet. Fläcktarna var programmerade för att upprätthålla en specifik temperatur under arbetstid (dag) respektive tider när personal inte var på plats (natt och helger). Vid avvikelser från den inställda temperaturen, sände systemet larm till El-Björn, så att värmefläcktarna kunde justeras. Tack vare denna teknik kunde uttorkningstiden förkortas och energiförbrukningen minskades avsevärt, från en beräknad förbrukning på 82 MWh till en faktisk förbrukning på 51 MWh. Trots vissa mindre klagomål från personalen om torr luft, som orsakade torra ögon, och ljudnivån från fläcktarna, var det i huvudsak positiva utvärderingar gällande inomhusklimatet och temperaturen. Totalt sett gav därmed testet positiva resultat gällande såväl elförbrukningen som inomhusklimatet.

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program

1 Utmaningen

1.1 Bakgrund, syfte och behov

Att noggrant hantera uttorkningen av betong är avgörande, eftersom det påverkar både byggnadens kvalitet och inomhusmiljön. Med ökad tidspress i byggprojekt så leder det ofta till krav på en förkortad uttorkningstid för betongen och i värsta fall till att golvet läggs tidigare än rekommenderat. Detta kan i sin tur leda till fuktskador som kanske inte upptäcks förrän långt efter projektets avslut, vilket resulterar i problem som mikrobiologisk tillväxt, kemisk nedbrytning, formförändringar i material, obehaglig lukt och försämrad luftkvalitet.

Det är känt att högre temperaturer kan accelerera uttorkningen, men det kan också försämra inomhusklimatet och arbetsmiljön för yrkesarbetarna. Därför är det kritiskt att upprätthålla en optimal temperatur under uttorkningsprocessen. Traditionellt styrs fläktar manuellt, vilket kan leda till ineffektiva och ojämna uttorkningsförhållanden, speciellt om dörrar lämnas öppna eller om temperaturen inte justeras korrekt inför helger och vid variationer i temperatur utomhus.

Detta testprojekt syftar till att förbättra uttorkningsprocessen genom att använda sensorer för att noggrant övervaka inomhusklimatet (temperatur och luftfuktighet) och automatisera styrningen av värmefläktar som används under uttorkningstiden. Genom denna metodik kan uttorkningen optimeras för effektivitet och energibesparing, samtidigt som en behaglig arbetsmiljö upprätthålls. Målet är att minimera riskerna för fuktskador och att skapa en mer hållbar, energieffektiv byggprocess, samtidigt som ett behagligt inomhusklimat skapas under byggtiden.

2 Genomförande

Detta är ett testbäddsprojekt inom ramen för projektet "Digital transformation av byggplatser". NCC agerar testbäddsvärd och projektet leds också av en testbäddsansvarig från NCC, med deltagare från NCC, El-Björn, Scharc och Linköpings Universitet.

Testet genomfördes vid byggandet av Sigfridsborgsskolans nya sporthall i Älta, ett projekt genomfört av NCC i ett partneringkontrakt med Nacka kommun. Sporthallen, som är en del av Sigfridsborgsskolan, är utformad för att rymma 150 personer under vanliga aktiviteter och upp till 750 personer vid evenemang. Byggstarten var i september 2021, och byggnaden stod färdig i december 2022.

Teknikerna som användes i detta test innefattade värmefläktar och en digital plattform (BuildingCloud) där dessa fläktar placerades i den digitala modellen av

byggnaden. All data (temperatur och luftfuktighet) delades via API från El-björns system till BuildingCloud. Syftet var att data om temperatur och luftfuktighet skulle delas så att platschefen skulle få larm om avvikelser från de önskade värdena via BuildingCloud. Dock blev inte alla funktioner i BuildingCloud färdigställda i tid, varför de inte testades fullt ut under projektets gång. Värmefläktarna, med temperaturövervakningsfunktion som användes i testerna, levererades av El-Björn medan BuildingCloud levererades av Scharc. Teknikerna som användes i testet valdes ut gemensamt av tre de inblandade företagen, NCC, El-Björn och Scharc, med stöd från forskarna (från Linköpings universitet).

För att bedöma effektiviteten av dessa tekniker jämfördes uttorkningstiden med den i en referenshall (Boo Gårds sporthall) och den ursprungliga tidsplanen. Utvärderingen påbörjades i vecka 10 (från byggstart), när byggnaden var 'tätt hus', och avslutades när betongens fukthalt nådde 85% - en traditionell gräns för minsta acceptabla uttorkningstid.

3 Resultat från testet

3.1 Lösningen

För att säkerställa uppvärmning och ventilation på byggarbetsplatsen, användes ett flertal värmefläktar från El-Björn (modell TF 36EL EBC-EL)¹. Dessa fläktar hyrdes in inte bara för att effektivisera uttorkningen av betongen, utan också för att skapa en bättre arbetsmiljö för personalen. En unik egenskap hos dessa fläktar är deras avancerade funktionalitet. De är utrustade med inbyggda sensorer som mäter både temperatur och luftfuktighet. För ytterligare precision i övervakningen, installerades även externa sensorer för att mäta lufttemperatur och luftfuktighet på strategiska platser, som i taket och direkt i betongen.

Dessa sensorer gjorde det möjligt att få larm vid temperaturavvikelser, exempelvis om en dörr oväntat lämnades öppen. Fläktarna programmerades också för att leverera mer värme under kvällar och helger, jämfört med vanliga arbetsdagar. Dessutom var varje fläkt direktkopplad till elcentralen genom en egen elmätare, vilket möjliggjorde en kontinuerlig och exakt övervakning av deras energiförbrukning.

Exempel på de fläktar som användes visas i Figur 1 nedan.

¹ <https://www.elbjorn.com/sv-se/klimat/tork-och-varme-system/eb14646-tf-36el/>

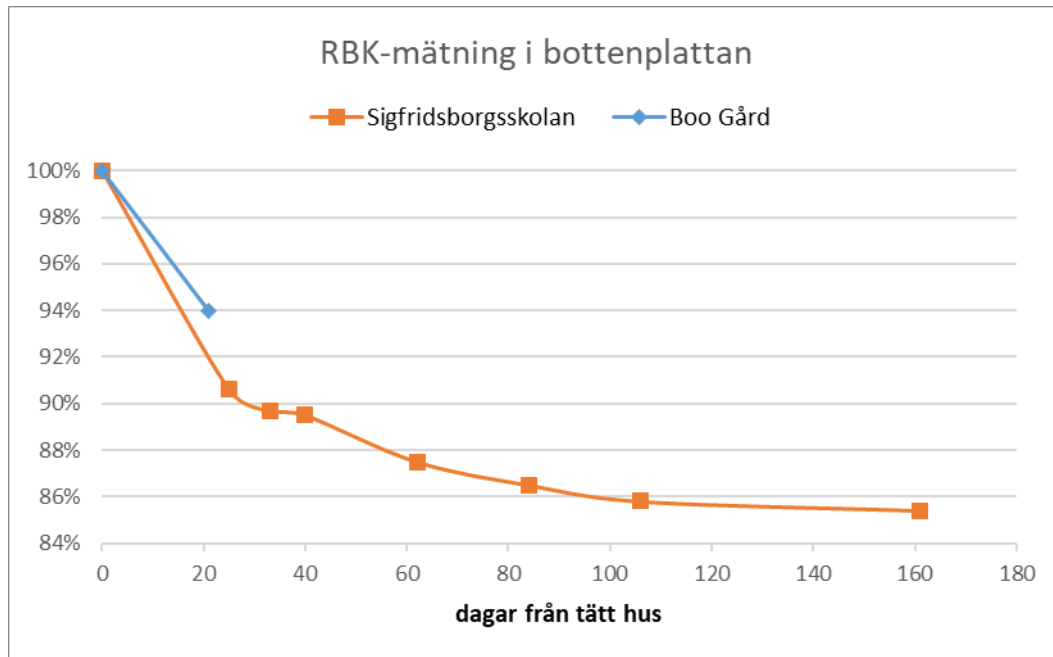


Figur 1. El-Björns värmeflaktar i Sigfridsborgsskolan.

3.2 Effekter och noterade resultat

3.2.1 Tid för uttorkning

Kontinuerliga mätningar av RBK (relativ betongfuktighet) genomfördes i sporthallen vid Sigfridsborgsskolan för att övervaka och fastställa när betongens fukthalt nådde 85%, vilket är ett viktigt värde för att kunna fortsätta till nästa fas i byggprocessen. I kontrast till detta, så hade man en stramare tidsplan vid Boo Gårds sporthall (som användes som referenshall), och det fanns därför inte möjlighet att vänta tills betongens fukthalt nådde 85 % på det projektet. Istället användes vid Boo Gård fuktspärren 'florosil', som endast kräver att betongen når en fukthalt på 98 %. Detta innebär att färre mätningar behövdes för att fastställa att 98 %-tröskeln uppnåddes i Boo Gårds skola, samt att jämförelserna mellan Sigfridsborgsskolan och Boo Gård blev svåra att göra. Figur 2 illustrerar jämförelsen i utvecklingen av betongens fukthalt mellan de två sporthallarna.



Figur 2: RBK-mätningar i Sigfridsborgsskolan och i Boo Gårds skola

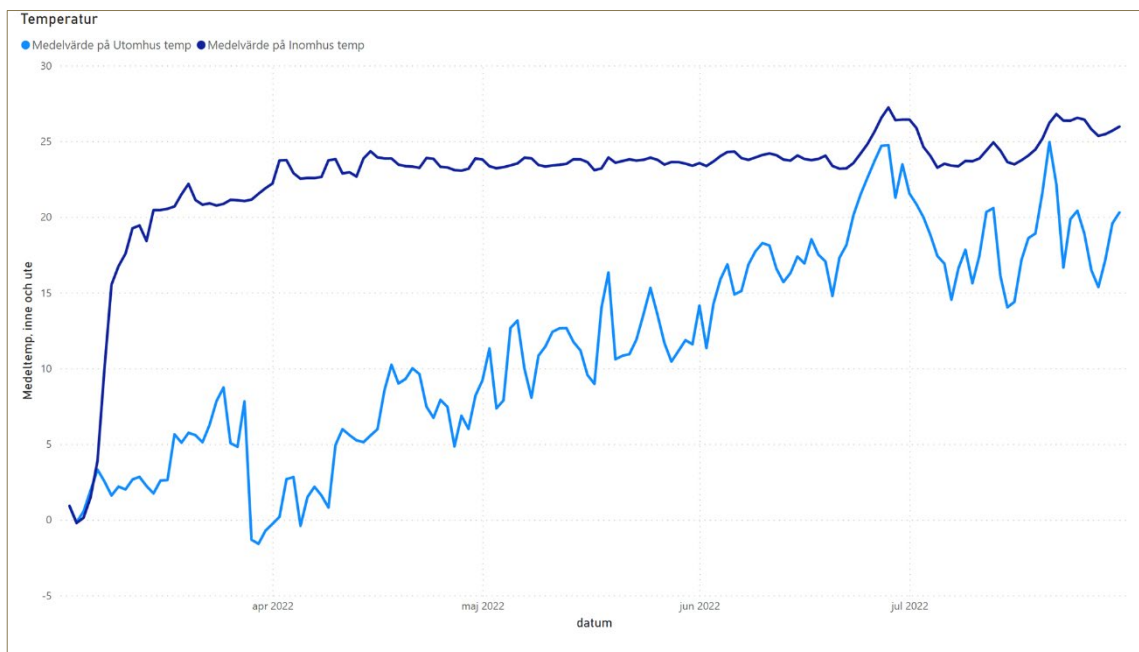
Uttorkningsprocessen vid Sigfridsborgsskolan visade sig bli något kortare än den initialt planerade tiden. Detta kan troligtvis tillskrivas det effektivare inomhusklimatet, som uppnåddes med hjälp av de mer avancerade fläktarna. I jämförelse genomfördes golvläggningen i Boo Gårds skola betydligt tidigare än i Sigfridsborgsskolan. Det är värt att notera att i Boo Gårds skola avbröts uttorkningsprocessen till förmån för användning av fuktspärren florosil. Denna åtgärd gör det svårt att direkt jämföra de två projekten. Trots detta, som framgår av figur 2, tyder den initiala data på att uttorkningsprocessen påbörjades snabbare i Sigfridsborgsskolan.

3.2.2 Effekter på inomhusklimatet

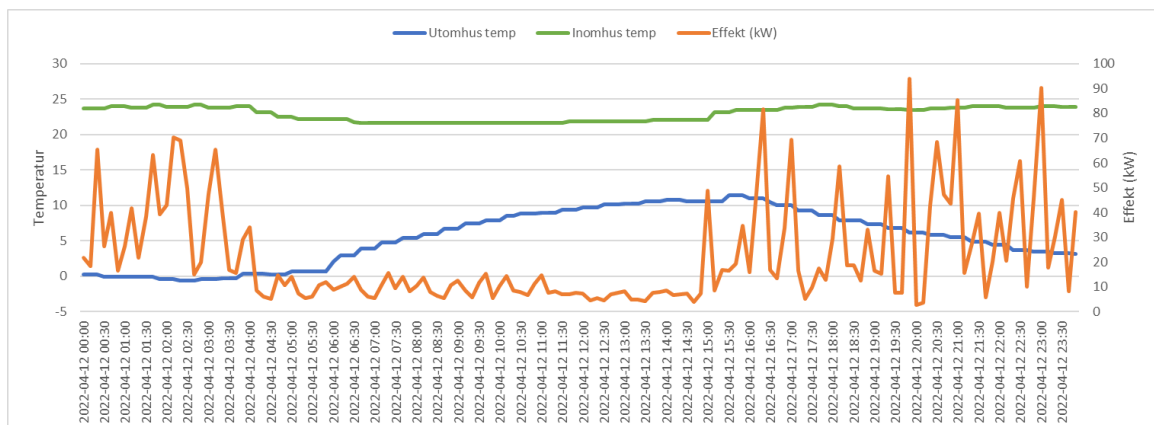
El-Björns fläktar har loggat inomhus- och utomhustemperatur var tionde minut från det att de installerades till det att de togs ur bruk, totalt nästan 6 månader. Därmed samlades totalt mätvärden från över 25 000 olika tidpunkter in. I figur 3 presenteras det genomsnittliga dygnsmedelvärdet av temperaturen under hela perioden då fläktarna var aktiva. Data visar att trots att de yttre temperaturerna varierade kraftigt under perioden, från april till slutet av juni, lyckades fläktarna upprätthålla en jämn och stabil inomhustemperatur på mellan 23 och 25 grader C.

Fläktarna programmerades för att bibehålla en högre inomhustemperatur under tider då arbetsplatsen var tom, såsom nätter och helger. Detta framgår i figur 4, där

man kan observera att inomhustemperaturen (visad i grönt) generellt var något lägre under dagtid, medan den ökade under natten. Samtidigt visar diagrammet (med orange) att effekten från fläktarna var betydligt högre under nattetid.



Figur 3: Inne- och utetemperatur, loggad under tiden 3 mars – 31 juli 2022.



Figur 4: Variation i temperatur och effekt under ett dygn (12 april 2022)

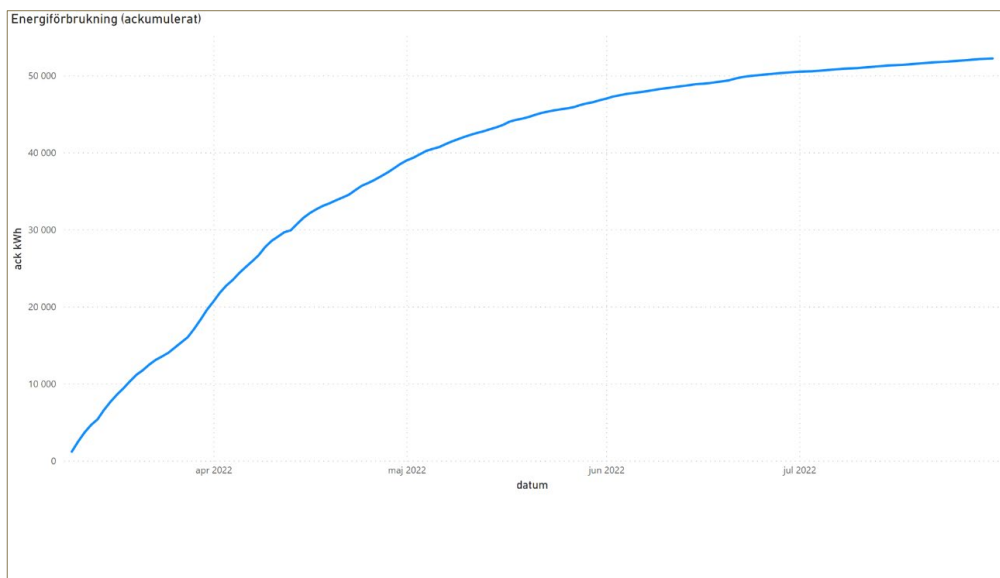
Tack vare de fjärrstyrda och noggrant övervakade fläktarna har det varit möjligt att upprätthålla ett jämnt och behagligt inomhusklimat på byggarbetsplatsen. Denna

anpassning av temperaturen har varit särskilt effektiv för att påskynda uttorkningen av betongen utanför arbetstiderna. Den enda återkopplingen från arbetarna var rapporter om torra ögon, vilket eventuellt kan ha orsakats av för torr luft i byggnaden.

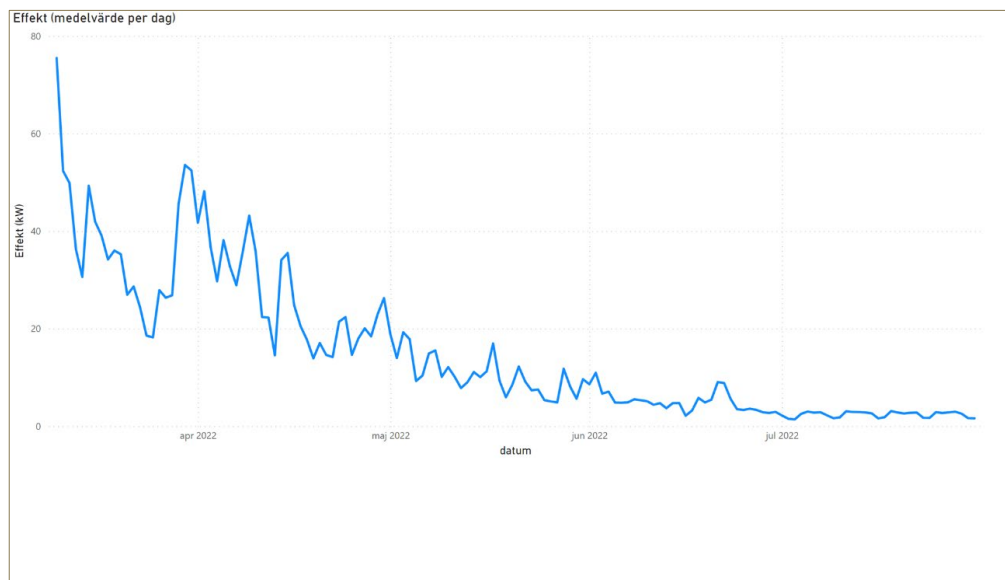
El-Björns fläktar har varit utrustad med ett larmsystem som aktiveras vid temperaturavvikelser från de förinställda värdena. Under detta projekt har alla larm skickats direkt till El-Björn. Vid varje larmtillfälle har det visat sig att det funnits naturliga förklaringar till avvikelserna. De vanligaste orsakerna har varit att dörrar lämnats öppna, vilket lett till att inomhustemperaturen ändrats, eller att användningen av flytspackel temporärt ökat luftfuktigheten.

3.2.3 Energiförbrukning

Under hela perioden för uttorkning av betongen, som sträckte sig från mars till juli, registrerades det att El-Björns fläktar, vilka användes för uppvärmning och ventilation, förbrukade en total mängd av 51 MWh energi. Denna totala energiförbrukning under uttorkningsperioden framgår av Figur 5. Dessutom visas den genomsnittliga dagliga effekten av fläktarna i Figur 6.



Figur 5: Ackumulerad energiförbrukning av El-björns fläktar, mars – juli 2022.



Figur 6: Medeleffekt (per dag), använd av El-Björns fläktar, mars – juli 2022.

3.2.4 Jämförelse med energikalkyl

I ett tidigt skede av projektet genomförde El-Björn en energikalkyl, baserad på tidpunkten för att uppnå 'tätt hus' och målet att nå en betongfukthalt på 85 %. Den ursprungliga beräkningen för energiförbrukningen under betonguttorkningen låg på 82 MWh. Men den faktiska förbrukningen visade sig vara betydligt lägre, endast 51 MWh, vilket motsvarar 60 % av den initialt beräknade förbrukningen. Denna markanta skillnad kan bero på flera faktorer. För det första kan det vara så att beräkningsmetoden var bristfällig och gav ett överestimerat resultat. För det andra, och troligtvis mer avgörande, är de specialutrustade maskinernas förmåga att möjliggöra uppföljning av energianvändning och torkklimat i realtid, vilket ledde till större engagemang i produktionsprocessen och åtgärder för att minska energianvändningen. Dessutom bidrog maskinernas behovsstyrda värmefunktion till besparingen.

Det är rimligt att anta att energiförbrukningen för betonguttorkningen i Sigfridsborgsskolans sporthall blev lägre än vad den skulle ha varit med standardfläktar. Jämfört med Boo Gårds projekt, där man använde fuktspärren florosil istället för att fullt ut torka betongen, var energiförbrukningen i Sigfridsborgsskolan högre. Den extra energikostnaden jämfört med kostnaden för att använda florosil (ungefär 750 000 kr) visar dock att användningen av dessa specialfläktar

innebar en besparing på cirka 30 000 kr och minskade utsläpp av koldioxidekvivalenter med 2,7 ton, utifrån en energikostnad på 1 kr/kWh².

3.3 Krav och utmaningar

Kontroll av torkklimatet är en kritisk faktor på alla byggarbetsplatser där betonguttorkning pågår. I detta specifika fall med övervakning har man effektivt kunnat identifiera temperaturförändringar som indikerar energiläckage. Trots detta har det förekommit tillfällen då dörrar lämnats öppna, antingen för att ventileras eller för att släppa ut överskottsvärme. Det är därför avgörande att information om uttorkningsprocessen och vikten av att hålla dörrarna stängda kommuniceras tydligt till alla inblandade på arbetsplatsen.

Även om torkprocessen kan kontrolleras noggrant, finns det en gräns för hur mycket den kan påskyndas. I situationer med begränsade produktionstider kan andra åtgärder bli nödvändiga, som till exempel användningen av fuktspärren florosil. Detta innebär en avvägning mellan tid, energianvändning och kostnad. Från det vi sett verkar det som att kostnaden för att använda florosil överstiger den energikostnad som är förknippad med en fullständig uttorkning av betongen till en relativ fukthalt på 85 %.

4 Sammanfattning

Automatiserad temperaturkontroll, med högre värmeinställningar under nätter och helger, har visat sig vara betydligt effektivare än manuell justering. Manuell kontroll innebär alltid en risk för förbiseenden, vilket kan leda till att temperaturen inte höjs som planerat, eller att det blir för varmt under dagtid. Det senare kan resultera i att någon öppnar dörrar eller fönster för att släppa ut värme, vilket i sin tur skapar energiläckage. Den automatiska styrningen har bidragit till ett bättre inomhusklimat och en bättre arbetstemperatur, samtidigt som risken för onödigt höga temperaturer har minskat. Det bör dock noteras att fläktarna upplevdes som störande på grund av ökad ljudnivå.

Förbättrad kontroll av uttorkningsklimatet har lett till en kortare produktionstid och en minskning av energiförbrukningen, jämfört med de initiala beräkningarna. Denna erfarenhet väcker även frågor om tillförlitligheten i nuvarande energikalkylmetoder.

² Räknd med emissionsfaktorn för nordisk elmix enligt IVL Svenska Miljöinstitutet: 90 g CO₂e/kWh, <https://www.ivl.se/publikationer/publikationer/emissionsfaktorer-for-nordiskelmix-med-hansyn-till-import-och-export.html> (2022-11-11)

Att nu ha tillgång till data om den faktiska energiförbrukningen är värdefullt för att få en mer exakt förståelse av den verkliga förbrukningen. Denna information är även avgörande för att förbättra framtida kalkyler och projektplanering.

Dessutom skapar det faktum att det är enkelt och effektivt att samla in och logga klimatdata under uttorkningsprocessen möjligheter till omfattande och mer tillförlitlig analys av effektiva uttorkningsprocesser. Denna data är nyttig för att utvärdera, följa upp och vidareutveckla uttorkningsprocessen. I händelse av framtida diskussioner eller konflikter med kunder gällande betongkvaliteten, utgör dessa data också ett konkret bevis på hur processen sköttes.

Efter genomförda tester kunde följande observationer göras:


- Tekniken visade sig vara effektiv, vilket möjliggjorde noggrann uppföljning och kontroll av inomhustemperaturerna. Detta inkluderade förmågan att höja temperaturen under natten för att främja uttorkningsprocessen.
- Varningsfunktionen var särskilt användbar för att övervaka temperaturfluktuationer, framför allt vid scenarion där en öppen dörr kunde leda till snabb värmeförlust, särskilt vid lägre utomhustemperaturer.
- Genom att använda denna teknik ökades medvetenheten bland personalen om vikten av energieffektivitet och miljökontroll på arbetsplatsen.
- Tekniken bidrog till att förkorta uttorkningstiden för betongen till en viss grad. Även om den inte var lika effektiv som att använda florosil för att minska produktionstiden, var den betydligt mer kostnadseffektiv. En detaljerad energikalkyl och jämförelse med referensprojekt under liknande förhållanden skulle vara nödvändigt för en mer fullständig utvärdering.
- Användningen av värmefläktar ledde till torrare luft, vilket påverkade arbetsmiljön. Dock kan detta problem minskas med bättre kontroll och hantering av fläktarna. Trots detta uppskattades en stabil och behaglig inomhustemperatur av personalen.

Kontaktpersoner

För mer information om testprojektet, kontakta gärna:

- Martin Rudberg, professor vid Linköpings universitet och akademiskt ansvarig för NCCs testbäddsprojekt:
 - martin.rudberg@liu.se, 0734-14 10 22
- Claes Henschel, projektledare för digitalisering på NCC och testbäddsansvarig för NCC inom projektet:
 - claes.henschel@ncc.se, 0790-788 196





SMART BUILT
ENVIRONMENT
UPPKOPPLAD BYGGPLATS

li.u LINKÖPINGS
UNIVERSITET

LULEÅ
TEKNISKA
UNIVERSITET

Med stöd från

VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

 **Energimyndigheten**

FORMAS 

Strategiska
innovations-
program