

Digitaliserade odlingssystem i Stockholms Industriområden

– en innovativ installation för urbana kretslopp

Med stöd från:



Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	6
	Summary	8
2	Bakgrund	10
	Cirkulär urban ekonomi	10
	Hållbar energi och Öppen fjärrvärme	10
	Biologisk mångfald, grönytefaktor	11
	Lokaldelning och gröna installationer	11
	Grönt företagande	11
3	Projektet	14
	Energiplattform	15
	Kylhusets energisystem	16
	IT-plattformen	19
	Anpassning av fastigheten "KYLHUSET"	20
	Innovationspiloter	23
	Forskning	27
	Utveckling av affärsmodeller, marknadsföring	27
4	Resultat	29
	Energibesparing	29
	Innovationspiloter	29
	Resursåtervinning	30
	Digitalisering	30
	Öppna en marknad för lokalodlat	30
	Främjande av innovationskluster	30
5	Diskussion	33
	Bilagor	35
	Referenser	35



Atrium Ljungberg, Slakthusområdet

Partners

Partners för projektet "Digitaliserade odlingssystem i Stockholms industriområden – en innovativ installation för urbana kretslopp":

Sammanfattning ***Summary***



Sammanfattning

Projektet "Digitaliserade odlingssystem i Stockholms industriområden – en innovativ installation för urbana kretslopp" har demonstrerat ett nytt koncept för hur matproduktion och växtodling kan bli integrerade i stadens resursflöden och skapa en hög resurseffektivitet genom återbruk av gammal industrifastighet och retur av överskottsenergi till Stockholms Exergis fjärrvärmenät. Projektet utgår från Stockholms stads miljöprogram och dess mål om en klimatpositiv stad 2040 och en hållbar matkonsumtion.

Inom energiförsörjning arbetar det kommunala energibolaget Stockholm Exergi mot målet om fossilfri produktion år 2025 genom att bl. a. utveckla Öppen Fjärrvärme som möjliggör en ökad cirkulation och återanvändning av spillvärme i fjärrvärmenätet.

Ursprungsidén om återvinning av överskottsenergi till fjärrvärmenätet samt delning av fastigheter är sedan tidigare testad i stor skala vid exempelvis etablering av datahallar. Däremot saknas erfarenhet av hur småskalig och energiintensiv urban livsmedelsproduktion kan integreras med äldre fastigheter och existerande energiinfrastruktur. En tidigare studie med stöd från Viable Cities hade visat på att en sådan integration potentiellt kan ge en energibesparing på 30 procent genom cirkulation och retur av överskott till nätet.

Projektet realiserade denna idé i en gemensam produktionsanläggning i Slakthusområdet, Stockholms tidigare livsmedelsdistrikt, idag en stadsdel i omvandling som attraherar nya verksamheter inom bland annat produktion, gastronomi och kreativa industrier. Pandemin har inledningsvis försvårat etableringen av verksamheten, anpassningen av tekniska system och insamlingen av energidata. När projektionen väl var etablerad och värmeöverskott uppstod, runt ett år efter projektets start, kunde fastighetens existerande teknik användas för cirkulation av värme mellan odlingsrum och övriga utrymmen och för återvinning via fastighetsbeståndets gemensamma kyl- och fjärrvärmecentral.

Minst 40 procent av elförbrukningen kunde sparas genom att integrera en växtodling, baserad på en energieffektiv LED belysning, med en fastighet som är ansluten till fjärrvärmenätet. Ett betydligt mindre värmeöverskott uppstod jämfört med en odling med fluorescerande belysning, vilket är det näst mest energieffektiva alternativet. I hus som inte är direkt, eller som i detta fall indirekt, anslutna till öppen fjärrvärme skulle dessutom en extra investeringskostnad för behovet av utrustning för kylning och driften av denna behöva tas med i kalkylen.

Projektet har bidragit till utveckling av innovation inom det globalt växande tekniksegmentet CEA (Controlled Environment Agriculture) dvs klimatskyddad produktion av livsmedel som grönsaker och fisk. IT för odling, gröna väggar och biokol agerar här som stödfunktioner för odlingen. Företagen har kunnat bedriva forskning, utveckla, och demonstrera sina produkter i en gemensam, öppen och uppkopplad testbädd. I och med detta har fördjupad kunskap kunnat genereras om komplexa samspel såväl mellan odling, fastighet och energisystem som mellan olika odlingsrelevanta parametrar. Projektets erfarenhet av flerpartsarbete och de sammantagna positiva resultaten kan komma att underlätta planering och riskbedömning av framtida projekt inom recirkulerande urbana produktionssystem. Förutom direkt klimatnytta kan den här typen av projekt bidra till social hållbarhet till exempel genom nya arbetsplatser och en mer levande och integrerande stadscentra.

Projektet finansierades av ett konsortium av 14 parter med Stockholms stad, Atrium Ljungberg, Stockholm Exergi och en grupp teknik- och konsultföretag. Stödfinansiering kom från innovationsprogrammet Viable Cities och Energimyndigheten. I projektet deltog forskare från KTH, SLU och IVL Svenska Miljöinstitutet samt rådgivare från riskkapitalbolag, affärsnätverket Sweden Foodtech, branschföreningen Sweheat samt företagsföreningarna Högdalsgruppen och Electricity Stockholm. Projektet har samverkat med marknadsföringskonsortiet Stockholm Green Innovation District och den ideella föreningen Stadsodla Stockholm.

Projektet ska introduceras på marknaden under 2022 som del av nya privat-offentliga initiativen Stockholm Good Food City och Stockholms FoodTech Investment Guide.



Summary

The project “Digitalized farming systems in industrial districts of Stockholm – an innovative test bed for urban closed loops” has demonstrated a new concept for how food production and crop cultivation can be integrated into the city’s flow of resources, creating a high level of resource efficiency that is attained through the reuse of old industrial property and by returning excess energy to Stockholm Energi’s district heating network. The concept, that is based on the Stockholm Environment Programme, targets for achieving a fossil free and climate positive Stockholm by 2040 and sustainable food consumption.

In the area of sustainable energy supply, one of the ways that the municipal company Stockholm Exergi is working to achieve the target of fossil free production by 2025 is by developing Open District Heating, which facilitates higher circulation and reuse of waste heat in the district heating network. By setting up data centres, it has been possible to test the concept of property sharing and recycling excess energy to the district heating network on a large scale. However, we lack experience on how small scale and energy-intensive urban food production systems can be integrated with older properties and existing energy infrastructures. A prior study, supported by Viable Cities, indicated that energy savings of up to 40 percent are possible through such an integration by circulating and returning excess energy to the grid. The project tested the concept at a joint production facility located in Slakthusområdet, which is the old meatpacking district of Stockholm. Today, it is a city district attracting new businesses in the food industry and other creative industries.

The pandemic has made it difficult to set up new businesses, adapt the energy system and collect energy data. Approximately one year after the project had been set up, it was possible to use the existing technology at the property to capture heating surpluses that had arisen and reuse them to circulate heat to cultivation rooms and other areas. It was also possible to recycle surplus heat through the property portfolio’s joint cooling and district heating plant.

By setting up an LED-based cultivation system at one of the properties that was connected to district heating, surplus heating could be captured, resulting in energy savings of up to 40 percent compared to cultivation systems that rely on fluorescent lighting. For buildings that are not connected to district heating, neither directly nor indirectly, it is necessary to budget for extra investment expenses to cover the need for cooling and operations.

The project has contributed to the development of innovation in Controlled Environment Agriculture (CEA), which is a technology segment focused on climate-protected production of food such as vegetables and fish. Living walls, biochar and IT are supportive functions for the food production. Companies were able to develop, research and demonstrate their products in a joint, open and connected testbed. In-depth knowledge was generated on the complex interaction between cultivation, properties and energy systems, as well as parameters relevant to cultivation. The experience gained from this multi-stakeholder collaboration and the overall positive results are expected to help facilitate planning and risk assessment of future projects on recirculating urban production systems. Besides the direct climate benefits, these types of projects can contribute to social sustainability in the form of new workplaces and more vibrant, integrative urban centres.

The project was financed by a consortium of 14 parties – the City of Stockholm, Atrium Ljungberg, Stockholm Exergi and a group of technology and consultancy companies. The Swedish Energy Authority supported via the innovation program Viable Cities. A number of researchers from the Royal Academy of Technology, the Swedish Agricultural University and IVL Swedish Environmental Institute participated in the activities as well as advisors from venture capital companies and specialised industrial associations such as Sweden Foodtech, Sweheat, Högdalsgruppen and Electricity Stockholm. The project has co-operated with the marketing consortium Stockholm Green Innovation District and with the non-profit association Stadsodla Stockholm.

The project will be presented in 2022 in conjunction with the public private initiatives Stockholm Good Food City and Stockholm Foodtech Investment Guide.

Bakgrund

2

Bakgrund

Cirkulär urban ekonomi

Stockholms Stads Miljöprogram anger sju prioriterade mål om bl a ett fossilfritt och klimatpositivt Stockholm 2040, en resurssmart stad och biologisk mångfald i väl fungerade ekosystem. Cirkulär ekonomi, förebyggande av avfall och resursåtervinning ska främjas. Klimatpåverkan från produktion, konsumtion och transporter ska begränsas. Stockholms stad har nyligen antagit en ny policy för cirkulärt byggande och renovering i sitt eget bestånd och vid anläggningsarbeten. Återvinning, bevarande och renovering ska bidra till bättre hushållning med de begränsade urbana resurser som mark, fastigheter och energi.

Andra strategiska satsningar som till exempel Stockholm Good Food City, som utgår från en deklaration antagen av den globala storstadsorganisationen C40, syftar mot hållbar matförsörjning och avskaffande av matsvinn. Arbetet med att höja hållbarheten i offentliga måltider och i privat konsumtion driver på innovation i urbana livsmedelssystem. Det finns än så länge bara ett fåtal exempel på stadsintegrerad matproduktion som integrerad vertikal odling akvakultur. Stockholmregionens livsmedelsföretag och kommuner brottas med utmaningar som konkurrens från importerad mat, centraliserade upphandlingar, brist på lämpliga lokaler såväl som höga hyres- och energikostnader.

Hållbar energi och Öppen fjärrvärme

Stockholm Exergi, Stockholm stads energibolag, bidrar till cirkulär energianvändning bland annat genom Öppen Fjärrvärme där värme som annars hade gått förlorad kan tas till vara. Återvinning av överskottsvärme genom Öppen Fjärrvärme är en tjänst som bidrar till att värme- och kylanläggningar utnyttjas mer effektivt då de blir en del av stadens energisystem. Genom Öppen Fjärrvärme kan en fastighetsägare eller verksamhetsutövare välja att sälja sin överskottsvärme (exempelvis från datahallar, livsmedelsbutiker eller andra verksamheter som genererar överskottsvärme) istället för att kyla bort den.

På så sätt hjälps både energileverantör och fastighetsägare/verksamhetsutövare åt att ta tillvara på energi och värme som annars skulle gå förlorad. Målet är att skapa energieffektivitet och lönsamhet för båda aktörerna samtidigt som klimateffekterna för uppvärmning minskar. Senast 2030 ska fjärrvärmerna i Stockholm produceras till 100 procent av förnybar och återvunnen energi.

Även inom klimatskyddad stadsodling inomhus genereras en viss mängd överskottsvärme, något som skulle kunna tas om hand i ett öppet fjärrvärmesystem. För att det ska bli ekonomiskt lönsamt att investera i ett system som tar till vara den värme som annars skulle behöva kylas bort från odlingen, är det viktigt att ha ett relativt slutet system för att säkerställa att värmen kan tas tillvara och systemet kan effektiviseras på bästa sätt. För odling är det också viktigt att den ekonomiska aspekten bedöms i ett tidigt skede för att säkerställa lönsamheten. Vid större utrymmen där värmen kan gå förlorad är det inte säkert att insatsen och investeringen är bäst lämpad då energi- och värmeöverskottet ofta kan vara för liten i relation till den investering som krävs. För att fördjupa sig i detta och för att hitta den mest energieffektiva och ekonomiskt fördelaktiga lösningen är det viktigt att planera för en helhetslösning och möjlig inkoppling i form av en öppen fjärrvärmelösning redan från starten av projektet.

Biologisk mångfald och grönytefaktor

Stockholms stad antog 2020 en handlingsplan för biologisk mångfald. Handlingsplanen för biologisk mångfald är ett tillägg till Stockholm stads miljöprogram. Biologisk mångfald är en så kallad stödjande ekosystemtjänst, en förutsättning för att alla andra ekosystemtjänster ska fungera, tjänster som bland annat reglerar temperatur, ger oss syre, sänker bullernivåer, renar vatten, pollinerar växter och ökar vår livskvalitet. Handlingsplanen ska tillsammans med insatser från boende, fastighetsägare och förvaltningar bidra till att stärka naturen.

I all framtida exploatering, både nybyggnation och förnyelseprojekt ska en hög bestämd grönytefaktor (ett mått på områdets biologiska mångfald) tillämpas, vilket har en positiv påverkan på grönt företagande och stadsodling. I en nyligen genomförd studie "Gröna kompetenser i Stockholm" pekar Sweco på ökande behov av och även en stor tillväxtpotential inom gröna yrken, vilka bland annat återfinns inom anläggning av gröna ytor och hållbara energisystem. Stockholms Gröna Lots är en ny tjänst i den digitala företagsguiden som underlättar etablering av företag inom grönska och matproduktion.

Lokaldelning och gröna installationer

I studien "Lokaldelning som norm" (2020) visar IVA på fördelar av cirkulär användning av byggnader, framför allt kontor. Man pekar också på en rad regulatoriska, skattemässiga och teknologiska hinder. Bland annat saknas erfarenhet från delning av industrilokaler för småskalig livsmedelsproduktion i urbana system. Invest Stockholm har i tidigare innovationsstudier och utvecklingsprojekt som "City Fresh", "10 % mat från staden" och "Odlande Stadsbasarer" pekat på hur fastighetsintegrerade gröna installationer och året runt matproduktion kan bidra till klimatnytta, fastighetsförädling och social hållbarhet.

Den starka globala trenden mot urban agriculture – stadsodling – i större skala kommer sannolikt att påtagligt påverka fastighetsägare och andra aktörer inom stadsutveckling och samhällsbyggnation. Uthyrning av takutrymmen för växthusodling eller utrymmen inomhus för odling kan skapa nya inkomstströmmar, och på sikt kan detta även leda till att spillvärme får ett ekonomiskt värde för fastighetsägaren. Växthus på tak och inomhusodlingar kan förbättra byggnaders energieffektivitet. Att ha inomhusodlingar eller innovativa växthuskonstruktioner inom eller i anslutning till den egna byggnaden kan också vara ett sätt för fastighetsägaren att stärka sitt varumärke som innovationsvänlig aktör, och att nå målsättningar för miljöanpassade byggnader. Inomhusodlingar och växthus kan skapa mervärde för fastighetsägare och för området. Vakanta rum, platta tak och andra oanvända ytor och utrymmen kan tas tillvara och ge intäkter. Inomhusodlingar och växthus kan bli en del av stadens kretslopp och kan utnyttja spillvärme från närliggande verksamheter. Dagvatten, avloppsvatten och organiskt avfall kan användas för livsmedelsproduktion och annan växtproduktion. Det aktuella projektet vill ta frågeställningen om systemintegration och energibesparing i urbana mat- och grönskasystem ett steg vidare.

Grönt företagande

Projektet vill ge ett bidrag till det gröna kompetensområdet genom att belysa vissa frågeställningar kring morgondagens matproduktion i urbana miljöer. Sverige och Stockholm ligger efter den globala konkurrensen inom detta nya område, dels av klimatskäl men även på grund av andra faktorer relaterade till förvaltning, möjligheter till kostnadsdelning etc. Samtidigt har Stockholm en mycket stark FOU och industriell resursbas inom integrerad stadsutveckling, cirkulär ekonomi och klimatarbete.

Innovationsföretagen i projektet representerar miljöteknik och livsmedelsindustri med dess högteknologiska del, s.k. FoodTech. Båda tekniksegmenten växer i Stockholm tack vare den pågående klimatomställningen men är också starkt utsatta i den globala konkurrensen. Samtidigt hindras tillväxten delvis av de unga företagens låga produktionskapacitet, men också av föråldrad upphandlingspraxis och ett högt kostnadsläge i storstäder. Urban produktion möter utmaningar såsom brist på verksamhetslokaler, höga driftskostnader och låg återvinning av energi och andra urbana resurser. Fördjupad erfarenhet saknas av delningsekonomi och integration av småskalig produktion i urban energinfrastruktur. Till följd av detta, vill projektet ge ett bidrag till nya affärsmodeller och samarbeten för högre resurseffektivitet och lönsamhet.



Projektet

3

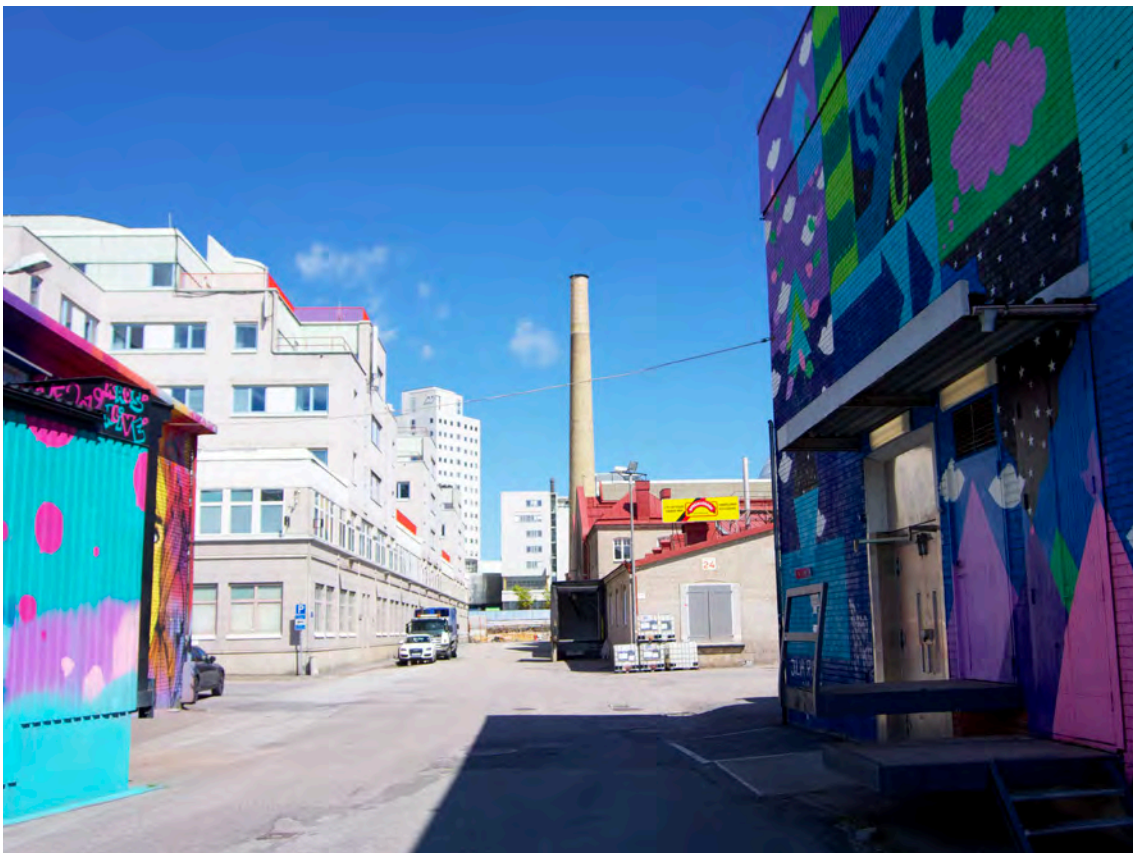
Projektet

Projektet "Digitaliserade odlingssystem i Stockholm Industriområden" har realiserat idén om integration av småskalig, klimatskyddad matproduktion i stadens resursflöden. En kretsloppsbasead testbädd etablerades för ett tiotal innovationsföretag i en äldre industrifastighet i anslutning till fjärrvärme och re-cirkulerande ventilations- och vattensystem. För att besvara konkreta frågeställningar kring effekten av systemintegrationen testade projektet en hypotes om att återvinna överskottsenergi från växt- och fiskodling både till fastigheten och till fjärrvärmenätet, genom systemanpassning och utan stora teknikinvesteringar.

Försöksverksamheten genomfördes i en experimentell skala, i en gemensam produktionsanläggning i Slakthusområdet, ett tidigare specialiserad industriområde och nu under omvandling till en blandstad. Fastighetsbolaget Atrium Ljungberg, en av de ledande ägarna utav beståndet i området, arbetar med idén om innovationsdriven och hållbar profil för det nya området. Under omställningsperioden upplåts flera av de äldre lokalerna till kreativa industrier, restauranger och eventföretag. Tack vare ett generöst hyreskontrakt kunde projektet inhysas i Kylhuset, en industrifastighet som var lämplig för produktion, en av områdets äldsta fastigheter, planerad att rivas senast 2022.

I projektets konsortium ingick 14 parter, därav 10 företag inom teknikområden FoodTech och CleanTech. Huvudmannen var Stockholms stad, genom Invest Stockholm i samverkan med Stockholms Arbetsmarknadsförvaltning.

Projektet genomfördes under perioden 2020-01-01 - 2021-12-01 och disponerade en totalbudget på 5 785 002 kronor, varav 2 785 000 i bidrag från Energimyndigheten.



Energiplattform

Ansatsen om återvinning av restenergi till Stockholm Exergis system för Öppen Fjärrvärme prövades initialt i en förstudie genomförd 2019 i samverkan mellan Invest Stockholm, Stockholm Exergi, Högdalsgruppen och Sweheat och med stöd från programmet Viable Cities.

Nedan ett av de två scenarion som presenterades i förstudien och som projektet avsåg realisera.

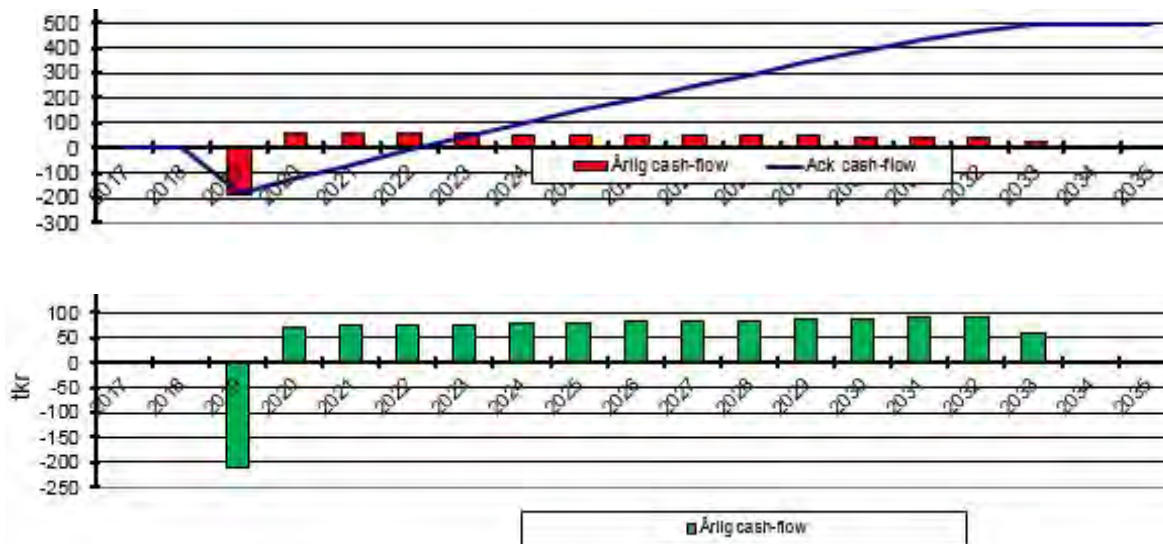
Ett energiscenario med låg belysningseffekt och belysningstid

I ett teoretiskt beräkningsfall med en belysningseffekt på 100 W/m² och en antagen belysningstid på 10 h/dygn, åtgår 511 000 kWh/år el. Med ett elpris på ca 0.7 kr/kWh inklusive skatt uppgår elkostnaden för belysningen till 357 700 kr/år. Under den senaste tiden har det dock uppstått en stark volatilitet i elpriserna och tidvis väsentligt högre priser än de här angivna, men det är något som till stor del kan kompenseras i de fall anläggningen har ett avtal med timdebitering. Merparten av elenergin till belysningen omvandlas till värme som har potential för att kunna återvinnas. Med en transmissionsförlust på ca 15 % i väggar, golv och tak återstår 434 350 kWh/år för återvinning till fjärrvärme. För att kunna göra en korrekt bedömning är det viktigt att alla förluster räknas med (förluster i ventilationen har exempelvis exkluderats här) samt en helhetsbedömning av utrymmet för att se var förlusterna sker. Detta kan variera stort mellan olika platser och odlingslösningar.

Energibalansen för beräkningsfall 1

Indata	Värde	Enhet
Golvyta	1000	m ²
Takhöjd	4	M
Antal odlingsplan	2	St
Odlingstemp	25-27	oC
Total odlingsyta	1400	m ²
Belysning	100	W/m ²
Belysningstid	10	h/dygn
Energibehov	511 000	kWh/år
Transmissionsförluster	15%	
Kylbehov	85%	av belysningens effekt
Elkostnad per kWh	0,7	öre/kWh inkl skatt
Elkostnad	357 700	kr/år

Beräkningen görs med ersättning från Stockholm Exergis affärsmodell Öppen Fjärrvärme. Kostnaderna för att koppla samman fjärrvärmenätet med kylmaskinen för värmeåtervinning bedöms till 250 000 kr. Intäkten för såld överskottsvärme årligen till 171 000 kr. Efter avdrag för driftkostnader och merproduktionskostnader för kylmaskin för värmeåtervinningsdrift sjunker intäkten netto till 93 000 kr. Nuvärdet NPV uppgår till 212 000 kr. IR 35% och en återbetalningstid år 4 (se figur nedan) för investering baserat på en kalkylperiod om 15 år och en kalkylränta på 5%.



Studien konstaterade att graden av utnyttjande av lokalens hela golvyta och takhöjd för en maximerad odling i flera plan vertikalt har en stor betydelse för ekonomin. Ökad odlingstäthet och ljusintensitet för odlingen kunde ge en lägre specifik energikostnad totalt sett. Hänsyn skulle naturligtvis tas till vad som är optimalt för vald gröda avseende på ljusintensitet, spektrum, belysningstid och vald temperatur.

Kylhusets energisystem

Testbäddens säte är "Kylhuset", en industrifastighet byggd 1968, förvärvad av Atrium Ljungberg i samband med Stockholms stads exploateringsbeslut för Slakthusområdet. Den del av huset där odlingen finns är byggd 1975 och ombyggd för styckningsverksamhet 1995.

Projektet hade ansökt om och arbetat initialt med ansatsen att installera en extra värmepump för överföring av överskottsvärme från odling till Stockholms Exergi fjärrvärmenät. På grund av pandemin försenades produktionen och värmeöverskott uppkom först under Q2-2021. Man ansökte därför om en alternativ lösning som baserats på att delar av fastighetens existerande värme- och kylteknik använts i en ny, anpassad konfiguration. Ingen investering i ny värmepump behövdes, i stället användes stödet till att justera samt omprogrammera det gamla systemet och utjämna värme- och kylbehov mellan "Kylhuset" och fastighetsägarens övriga bestånd i Slakthusområdet.

"Kylhuset" har ett stort antal fläktkonvektorer som befanns kunna återanvändas i en ny konfiguration där de avfuktar och återvinner värme i lokalen. Denna lösning innebar att vi kunde återvinna värme från lokalen i sin helhet i stället för enbart i vissa delar. De värmepumpar som finns för områdesanslutning till Öppen fjärrvärme har en avsevärt högre värmefaktor än vad som kan uppnås i ett mindre, lokalt aggregat. Genom att utvidga systemgränsen från själva byggnaden till Atrium Ljungbergs kyl- och fjärrvärmecentral för att även omfatta kvarteret med den öppna fjärrvärmeanslutningen kunde en större del av spillvärmens från hela fastigheten och samtliga odlingslokaler återvinnas. Dessutom med cirka 55 procent högre verkningsgrad eftersom vi kunde återvinna värme från samtliga odlingar. Ur ett systemperspektiv blir det fördelaktigt att de tillfälliga elektriska effekt-toppar som ett lokalt aggregat skulle åstadkomma elimineras, eftersom de kan balanseras mot andra i området förekommande installationer.



För att beräkna hur mycket värme som leds till Öppen fjärrvärmesystemet från lokalen så behövde vi i princip bara använda den kyleffekt som projektet idag köper från fastighetsägaren och multiplicera den med deras värmepumpars verkningsgrad COP (Coefficient of Performance) uppgiven till 5 i sommar drift.

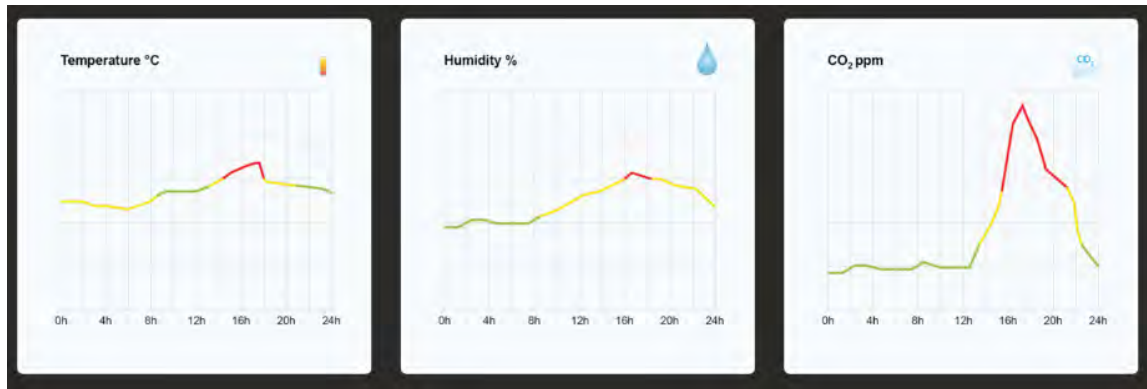
Denna cirkulära lösning ersatte köp av ny pump, installation av en ny Öppen fjärrvärme- anslutning med behov av svetsarbeten med flertalet kostsamma arbetsmoment. Fastighetsägaren behövde inte heller upprätta ett nytt ÖFV-avtal med Stockholms Exergi.

I samband med omkonfigurationen inleddes också ett samarbete med ett energiforskningsprojekt med stöd från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) som initierats av branschföreningen Installatörsföretagen: "Vätskesystem, få till mer hållbara värme- och kylsystem (livslängd/energi)". Syftet med detta projekt var att kartlägga metoder för driftsättning och underhåll av vätskeburna system (värme/kyla/värmeåtervinning), identifiera de felkällor som kan leda till förtida korrosion med tillhörande negativa effekter på energianvändning, inomhusmiljö samt underhållskostnader samt att undersöka de möjligheter som finns för att eliminera dessa. Detta samarbete med fastighetsägare skulle säkerställa att vätskeflödena optimeras och energieffektiviteten maximeras.

Under vår- och sommarperioden behövde en liten avfuktningseenhet sättas in för att utjämna fukt- och temperaturskillnader mellan de olika odlingsrummen. Utrustningens fördelar var att den hade en stor spridningsräckvidd och automatisk reglering av fuktigheten. Driftkostnaden skulle balanseras genom att elkostnad för kyla byttes ut mot kostnad för avfuktning och kylning i samma enhet. Drifttiden kommer därtill att bli relativt kort, eftersom aggregatet bara kommer att behöva användas vid de tillfällen då den ideala luftfuktigheten överskrids, uppskattningsvis 10 procent av tiden. Luften avfuktas visserligen kontinuerligt av fläktkonvektorerna, men eftersom dessa är inställda för att prioritera temperaturhållningen kan luftfuktigheten tidvis bli högre än önskvärt.

I ett framtida scenario skulle motorerna till fläktarna i konvektorerna vara varvtalsstyrda, vilket skulle kunna möjliggöra att de kan varvas ned då högre avfuktning är önskvärt, vilket dessutom reducerar energianvändningen. Detta kräver dock byte av motorer, kablage för styrning av dessa samt ombyggnad och omprogrammering av det befintliga styrsystemet. Detta kan vara en dyr investering. Detta fick nu lösas genom den separata avfuktaren. Besparingen skulle dock vara så marginell att den inte är försvarbar vid en konvertering av ett befintligt system likt detta, men är intressant att utforska vid en nyinstallation.

Mätning av temperatur, fukt och CO² har skett under hela projektiden med sensorer från IC Meter som läst av och tar fram statistik online. Alla värden på timnivå har sedan förts över via IT-systemet REST API till de deltagare som velat ha information till sina egna mätningar eller styr och reglersystem. Även KTH har haft tillgång till all data för sin forskning.



Dygnsmätningar

Det har varit svårt att få fram data om Kylhusets energibehov eftersom huset inte varit pliktigt för energideklaration. Vi har därför arbetat med ett generiskt värde för den typen av klimatskal. Detta baserat på det faktum att det finns ett hus i det anslutande beståndet – byggt samma år och snarligt i arkitektonisk utformning och klimatskal. Det används huvudsakligen som lager men med cirka en sjättedel av volymen utgörande kontor. Det är energideklaration som följer:

Energideklarations-ID: 1041767

Energiprestanda, primärenergital: 106 kWh/m² och år

En annan faktor att ta hänsyn till vid bedömningen av odlingens energianvändning är att överskottsvärme har räckt till att värma hela lokalen. Frånluften, som idealt håller runt 24 grader, har värmesluts i ett FTX-aggregat vilket gör att tilluften kunnat hålla en temperatur på 19 á 20 grader även mitt i kallaste vintern. Tillsatsenergin från belysningen tillsammans med FTX har alltså tillgodosett lokalens hela uppvärmningsbehov.

Det innebär att anläggningen i sin helhet kunnat spara in uppskattningsvis 66 356 kWh för uppvärmning (626 m² x 106 kWh/m² och år).

I Arbetpaket 1 deltog Stockholm Exergi, Arvalla, Farmy, Atrium Ljungberg, Projektengagemang, konsultföretaget ROT, externa installationsföretag samt Invest Stockholm.

IT-plattformen

Projektet har installerat fiber och en IC Meter-server som tjänat som en öppen IT plattform med databaserna Ubuntu och Maria, som företagen och forskarna fått använda fritt för att lagra data eller utveckla sina OpenSource-lösningar på. Projektet har satt upp 5 sensorer för temperatur, fukt, ljud och CO2 från IC-Meter. Larm, brand- och kameraövervakning installerades. Deltagande företag fick själva ombesörja mobil uppkoppling via TCP-IP kabel till fiber i routern i el-centralen. Varje företag utvecklade egna system för styrning och övervakning som en del av egna pilotinstallationer. Här är ett exempel från odlingsföretaget Ecobloom och deras IT system för vertikal odling.



IT-plattformen

I Arbetspaket 2 deltog Arvalla, Farmy och Invest Stockholm.

Anpassning av fastigheten "KYLHUSET"

Kylhuset, är en av Atrium Ljungbergs äldsta fastigheter i Slakthusområdet som genomgår en omvandling från ett specialiserat industridistrikt för livsmedels-hantering till en blandstadsdel. Fastigheten som förvärvades av fastighetsägaren 2019 är planerad att rivas senast 2022.

Byggnaden är uppförd i två etapper 195 och 198, som charkuterifabrik och yrkesskola och är i gott bruksskick. Tillbyggnader skedde 1975. 1983 tillkom ställverk, och 1995 byggdes huset om för styckningsverksamhet. Stommen är av murverk och betong och till stor del i ursprungligt utförande.



Kylhuset, Hallvägen 7, Johanneshov

Byggnaden värms upp med fjärrvärme via radiatorer och luftbehandlingsaggregat. Varmvatten bereds i fjärrvärmeundercentralen i en plattvärmeväxlare. I byggnaden finns lågtempererade köldbärarsystem som betjänar fläktluftkylare och kylkompressor. Ammoniak-kylmaskiner som betjänar dessa system är placerade i hus 13. Byggnaden ventileras av sex luftbehandlingsaggregat och med frånluftfläktar på taket. Det finns en hydraulhiss och en plattformshiss i byggnaden. Hydraulhissen är renoverad med ny maskin och styrning. Det finns både hög- och lågspänningsställverk med tillhörande transformatorer som betjänar såväl byggnad 33 som hus 13. Styr- och regler system är inte sammankopplat och av olika fabrikat. Det finns ett system för komprimerad luft med kompressor. Det finns ett system för inpassering som tillhör fastighetsägaren. Installationer är i varierande ålder och storlek.

Projektet har verkat under ett korttidskontrakt med en rabatterad hyra och begränsad möjlighet till påverkan på husskalet och installationer. Lokalerna hyrdes i "befintligt skick" och fick städas grundligt efter tidigare cateringsverksamhet. En ny planlösning utarbetades och extra väggar byggdes upp för att dela av utrymmet enligt de medverkande företagens krav och behov.

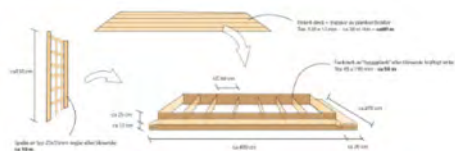


Planlösning

En del avlopps- och vattenledningar fick dras om för att stödja planlösningen och utformning av odlingsenheter och övriga produktionsytor. Slussar i form av nåtdörrar byggdes mellan de angränsande lokalerna och det publika utrymmet. De var specialbyggda för att släppa luftflödet genom lokalerna, men samtidigt stoppa eventuella skadedjur och insekter.

Inledningsvis stängdes merparten av gamla system av. Nya fläktar, eluttag och elcentral installerades, delar av överflödigt belysning stängdes av. I sex av fastighetens tio rum etablerades vertikala odlingsbäddar, verkstäder för grönska installationer och en akvaponisk anläggning. Sociala ytor, kontor och uteplats samt lagerutrymmen iordningställdes.

På framsidan vid entrén byggde Greenworks en levande grön vägg med projektets logotyp och en pilot för mossgrönka på tak och vägg. En liten terrass anlades för att skapa en attraktivare entré. Entréområdet på baksidan av fastigheten var tänkt att kunna fungera som en marknadsplats för direktförsäljning av grönsaker från odlarcentrumet men detta hindrades av pandemin.





Levande vägg/projektskylt

Vi har även projekterat för hur fastighetens tak skulle kunna användas för ett lättviktigt takväxthus av återvunnet material. Fördelen förutom ökad odlingsyta för till exempel Farmy vore även att sänka energikostnaden för delar av produktionen genom att använda dagsljus. Växthuset är tänkt att värmas med den överskotts-energi som inte kan återföras till det öppna fjärrvärmesystemet, vilket ytterligare skulle bidra till energibesparingar. Idén att expandera odlingarna till ett flödes-integrerat växthus på taket är aktiv och dialog pågår med fastighetsägaren.



Konceptskiss för takväxthus för produktion/PE

I Arbetpaket 3 deltog sex teknikföretag, Atrium Ljungberg, Projekt-engagemang, konsultföretaget ROT, externa installationsföretag samt Invest Stockholm.

Innovationspiloter

Åtta företag, Arvalla, Ecobloom, Ecotopic, Farmy, Greenworks, Kretsloppsbolaget, RedBlueGold och Projektengagemang, realiserade i den gemensamma, uppkopplade miljön ett antal egna utvecklingsprojekt inom områden: IT för fastighet och odling, småskalig akvaponik, växthusteknik, hydroponik, aeroponik, vertikala odlingssystem, innovativa mossväggar, biokol som filer och näring. Dessutom startades ett antal andra interna och externa samarbetsprojekt inom relaterade områden, bland annat urbana växthus och växtbäddar för dagvatten.

IT för flödeskontroll i fastighet



Arvalla har designat och installerat en öppen databas på en server till vilken 5 stycken IC Meter-givare har kopplats med öppet API som alla deltagare kunde ladda ner mätningar från. Installationen kunde löpande mäta: fukt, temperatur, ljud och CO₂. KTH-forskarna och teknikföretagen kunde ansluta med egna sensorer och löpande ta del av data. En del av dataanalysen ingår i Bilaga 2. Data analysis report – Insights on indoor environment och energy, KTH Department of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration.

IT för odling



Ecobloom har vidareutvecklat en egen AI baserad precisionsteknik (hårdvara och programvara) för att digitalisera och optimera inomhusodlingar. En testbädd etablerades i Kylhuset där utveckling och testning av algoritmer kunde genomföras. Efter flera odlingscykler fick företaget möjlighet att testa en applikation i storskalig växthusmiljö och en ny pilot har startats med en industripartner.



AI-baserad testbädd för precisionsodling, Ecobloom.

Biokol som näring och filter



EcoTopic har genomfört en teoretisk studie med en forskare från SLU för att utreda vilken typ av biokol som passar bäst för att rena vattnet från ett akvaponiskt system och samtidigt ladda biokolet med näring. I fas 1 av den tekniska piloten, som genomfördes i samverkan med Kretsloppsbolaget, blev resultatet att biokolet kan filtrera bort och bibehålla merparten av kvävet från fiskvattnet. I fas 2 skedde optimering av mängder näring och flöden mellan bäddarna. Analys av piloten beskrivs i Bilaga 3. IVL Svenska Miljöinstitutet, Vattenforskning i digitaliserade cirkulära system i Slakthusprojektet.

Vertikal odling av unika växter och grow-off box



Farmy har vidareutvecklat metoder för produktion av unika, högförelade ätbara blommor och mikrogrönt i vertikala system med LED teknik och egendesignad styr- och mätteknik. Företaget har genomfört flera tester av bland annat sensorer, unika växter och varierande belysningsfrekvenser. Farmy har samarbetat med KTH, anställt utländska studenter och rekryterat personal från Stockholms Jobbtorg (del av Stockholms Arbetsmarknadsförvaltning). Företaget har haft tekniska uppdrag i projektet och en drivande roll i anpassningen av hela fastighetens system till odlingsverksamheten. En ny produkt – en automatiserad Grow-off box för odling i restaurang och butik – har utvecklats och testats hos en kund.

Farmy har även deltagit i energistudien: Bilaga 2. Data analysis report – Insights on indoor environment and energy, KTH Dep. of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration.

Farmy har nu tagit över projektets kontakt för fastigheten för att skala upp sin produktion från 250 till 500 kvm. Företaget har trots pandemin lyckats attrahera kunder som grossister, restauranger och detaljister.



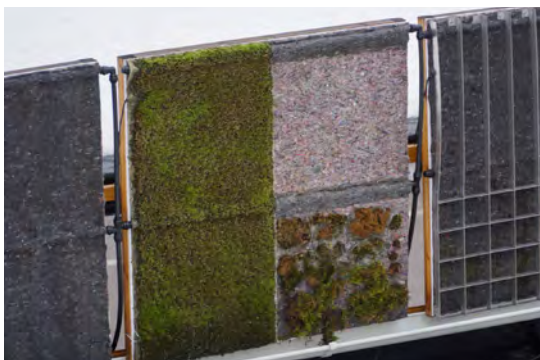
Odlaibox och Vertikala hydroponiska odlingsystem, Farmy

Innovativa moss- och växtväggar



Greenworks har utvecklat innovativa system för tillväxt av mossor på varierande underlag och med olika substrat. Mossa har luftrenande egenskaper, är bullerdämpande och estetiskt tilltalande vilket gör det till en fördelaktig växt i städer. Testbädden undersökte hur mossor bättre kan fortplantas i vertikala lägen.

Greenworks anlade en dekorativ växtvägg bestående av projektets skylt "Odlarcentrum" och tio växtpaneler på projektets fastighet för att utforska mosstillväxt och förutsättningar för att odla mossor i urbana miljöer. Fem av dessa var placerade i norrläge och fem i söderläge för att undersöka klimatskillnader. Panelerna var byggda av olika material för att få reda på vilket material mossor trivs bäst på i vertikal kultivering.



Tester med olika mossor som väggbeklädnad, Greenworks.

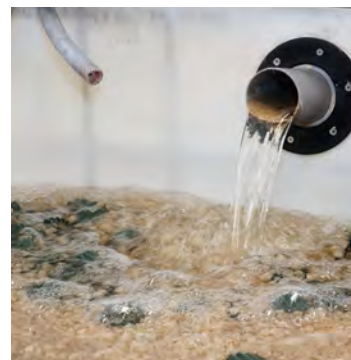
Greenworks har parallellt deltagit i en Vinnova-studie tillsammans med RISE och EnviGas där en ny typ av biokol från restströmmar från skogsindustrin har utvärderats som odlingssubstrat. En steg-2 studie är uppstartad för att utvärdera biokolets egenskaper för vertikal applikation. Företaget expanderar nu i Solna kommun och söker samarbete med kommuner och fastighetsägare.

Småskalig akvaponik för bostadsbolag och villa



Kretsloppsbolaget har i Kylhuset etablerad en småskalig akvaponisk anläggning avsedd i första hand för utbildning om småskaliga urbana odlingstekniker i cirkulära system som återvinner vatten och näring från fiskodling till grönsaksodling. I samarbete med Ecotopic och IVL testade man biokol som filter och bärare av näring med goda resultat som beskrivs i Bilaga 3. IVL Svenska Miljöinstitutet, Vattenforskning i digitaliserade cirkulära system i Slakthusprojektet.

I fas 2 utvecklade Kretsloppsbolaget en prototyp för lokal produktion av växtnäring till småskaliga grönsaksproducenter som till exempel Grönska, Farmy m.fl. Prototypen passar även för villa, bostadsbolag och koloniträdgårdar. Kretsloppsbolaget har också utvecklat koncept för ett akvaponiskt växthus i samverkan med Projektengagemang. Intresset för akvaponik har varit stort, och Kretsloppsbolaget har tagit emot ett tjugotal besök i anläggningen.



Basilika odlad med restvatten från fiskodling, Kretsloppsbolaget. Akvaponisk odlingsmodul, Kretsloppsbolaget.

Takväxthus i urbana miljöer

Projektengagemang har i projektet utvecklat koncept för stadsintegrerade växthus med cirkulär energi- och vattenanvändning. Det finns ett växande intresse hos fastighetsägare och arkitekter för att utnyttja vakanta ytor och tak för gröna installationer. Dessa kan bidra till fastighetsförädling, skapa klimatnytta och rehabiliterande sociala miljöer samt öka potentialen för matproduktion i städer. I samverkan med Atrium Ljungberg och ytterligare ett konsortium har man projekterat för och ansökt om bygglov för installationer vid Medborgarplatsen och i Hammarby Sjöstad. Projektengagemang har även startat dialog om att uppföra ett takintegrerat växthus i Slakthusområdet med två ledande fastighetsägare.



Takväxthus för urbana miljöer



Odling av saffran, aeroponik

En testbädd för klimatskyddad odling av saffran etablerades av nystartsföretaget RedBlueGold. En liten aeroponisk anläggning skapades för automatiserad odling och skörd av saffran i växthusmiljö. Företaget avser att vidareutveckla den cirkulära teknologin för att möta olika utmaningar i den globala saffransproduktionen, såsom hög arbetsintensitet och vattenförbrukning. I projektet involverades forskare från holländska Wageningen University & Research och ett stort antal svenska och utländska experter.



Aeroponisk odling av saffran, RedBlueGold.



Forskning

KTH Energi genomförde en studie av energiflöden med utgångspunkt från sensorer i projektets gemensamma IT-plattform och kompletterande data från den vertikala odlingsenheten (Farmy).

Bilaga 1. Data analysis report-Insights on indoor environment and energy, KTH

Som en annan del av projektet arbetade IVL Svenska Miljöinstitutet tillsammans med Kretsloppsbolaget och Farmy med två fallstudier. IVL tillhandahöll online-sensorer och annan utrustning för övervakning av vattenkvalitet samt stöd för planering och utvärdering av studierna. Studien analyserade fiskvattnets näringsinnehåll och effekter av filtrering genom bland annat biokol, vilket nu ligger till grund för framtagning av Ecotopics biokolsfilter och Kretsloppsbolagets utveckling av akvaponiska moduler för privata kunder.

Bilaga 2. Vattenforskning kring digitaliserade cirkulära odlingsystem i Slakthus-projektet, IVL.

En forskare från SLU anlätades av Ecotopic för ett examensarbete "Biokol som filter för rening av näringsrika restvattenströmmar". Fyra företag deltog aktivt i de genomförda FOU studierna och två företag kunde anställa KTH studenter.

Utveckling av affärsmodeller, marknadsföring

Projektet genomförde ett trettiotal tekniska besök och affärsmöten med aktörer från livsmedels- och miljötekniksektorn. Ett flertal innovationsidéer har prövas mot offentliga stödprogram. Företagen attraherade privata affärsrådgivare och investerare från bland annat riskkapitalbolag och affärsnätverken Sweden Foodtech, Electricity, Cleantech Högdalen och Sweheat. Flera samarbeten utvecklades med fastighetsägare och företag inom energisektorn.

Projektets resultat och företagens aktiviteter har kontinuerligt marknadsförts via Stockholms Företagsnytt och andra kanaler i Invest Stockholms regi, samt via föreningen Stadsodla Stockholm (www.stadsodlastockholm.se). Partena har kommunicerat om projektet via egna kanaler och i samverkan med www.stockholmgreeninnovationdistrict.com.

Företagen har stöttats av externa bransch- och finanse experter samt forskare från ytterligare två forskningsinstitut (RISE och SLU). Via Invest Stockholm och Arvalla har projektet länkats kompetensmässigt med växthusföretag i Vinnovaprojektet "Odlande stadsbasarer" där bland annat en säljplattform för stadsodlad mat är under utveckling.



Tekniksegmentet urban matproduktion och utvalda företag presenterades i Invest Stockholms internationella rapport Stockholm Foodtech Guide 2021.

Resultat

4

Resultat

Energibesparing

Konceptet med återvinning av överskottsenergi till Öppen Fjärrvärme kunde belysas tekniskt men blev inte fullt genomfört på grund av projektets begränsade skala, korta drifttid och praktiska hinder under pandemin.

Resultatet av experimentet är att en LED baserad odling i en fastighet som är ansluten till fjärrvärme kan generera ett värmeöverskott och besparing på upp till 40% jämfört med en odling med fluorescerande belysning. I hus som inte är direkt, eller indirekt, anslutna till öppen fjärrvärme behöver en extra investeringskostnad för behovet av kylning och driften av denna tas med i kalkylen.

Innovationspiloter

Projektet har arbetat med målet om att genomföra innovativa installationer i en recirkulerande miljö. Varje installation ska ha förbättrat minst en odlingsparameter (produktivitet, resurseffektivitet, kvalitet) med hjälp av digital teknik, forskning och uppkopplade system. Innovationsbolagen ska i samverkan med varandra och med forskare ha väsentligt höjt kunskaper om sina respektive processer.

De viktigaste uppnådda resultaten på företagsnivå är:

- Mer utvecklade metoder finns framtagna för kultivering av unika växter i vertikala system. Fördjupad kunskap om vatten-, energi- och näringsflöden i hydroponisk odling.
- Ny grow-off odlingsteknik är utvecklad och försäljningen har startat till detaljhandel och grossister.
- Vertikal odling är kommersialiserad och håller på att skalas upp i Slakthusområdet.
- Nya och mer utvecklade koncept har tagits fram för levande växt och mossväggar kring bl.a. återvunna växtbäddar, nya näringslösningar vertikal tillväxt på väggar.
- Biokol som hållbar näring och filter för agrara och urbana system har vidareutvecklats och bidragit till att nya projekt har startats med kommuner och jordbrukare.
- AI-baserad teknik för optimering av inomhusodling har vidareutvecklats och testas nu i en industriell testbädd i en existerande växthusanläggning.
- Integration av akvaponiska system med biokol som filter och näringsbärare har fördjupats.
- En ny produkt, fristående akvaponisk modul för småskalig produktion av grönsaker och näringsämnen har utvecklats.
- Ett nytt koncept för fastighetsintegrerade, lättviktiga växthus är utvecklat.
- Ett digitalt system för styrning, övervakning och skörd av saffran i klimatskyddad miljö är testad och beforskad i en internationell samverkan.

Resursåtervinning

En väsentligt ökad resursåtervinning och hållbarhet kunde uppnås genom att återanvändning av en existerande fastighet och dess inbyggda teknik för ventilation, kyla och värme. Genom att återbruka en industrifastighet och därmed avstå nybyggnation, samt nyttja befintliga tekniska system med enbart en liten kompletterande teknikinvestering, resulterade i väsentliga miljövinster. Att beräkna dessa det ingår dock inte i projektets uppdrag.

Projektet utnyttjade inte fastighetens dyra avfallsavtal, avfall sorterades istället vid källan för kompostering, och all gammal inredning inklusive värdefullt metallskrot kunde återvinnas. Merparten av vattnet från fiskodlingen i den akvaponiska anläggningen blev filtrerat och kunde återanvändas i odlingen. Produktionsföretagen använde flera återvunna material och återvinningsbara förpackningar. Det biokol som användes i produktion och tester är en återvunnen fraktion från Stockholm Vatten och Avfalls anläggning.

30 procent av inköpt utrustning var återvunnen, samtidigt som all kontors- och köksinredning erhöles från Stockholms stads återvinningsprojekt Stocket. Flera bygg- och snickeriarbeten utfördes med återvunna material av anställda i kommunens projekt Lundaverkstad som stödjer personer långt från arbetsmarknaden.

Digitalisering

En gemensam IT-plattform etablerades för att övervaka förbrukning och cirkulation av el, värme/kyla och CO₂. Digitalisering av anläggningen i dess helhet och i de respektive piloterna fungerade väl med undantag för korta perioder under sommarsemestern. Projektets IT-teknikplattform bidrog till bättre klimatkontroll och anpassning av odlingen till fastigheten. Mätare för luftvolym, vatten och elmätare fanns externt, de var dock tillgängliga för fastighetsägaren, varför data fick hämtas manuellt i efterhand. Dessa funktioner bör i framtida installationer integreras i ett och samma system.

Öppna en marknad för lokalodlat

Pandemin har förhindrat företagets produktion och exponering mot en lokal konsumentmarknad. Flera av de planerade gemensamma marknadsaktiviteter kunde inte genomföras utan flyttas till våren 2022. Under projektets period har grönsaker och blommor från odlingen kontinuerligt sålts till restauranger och matgrossister.

Främjande av innovationskluster

Projektet har bidragit till att stärka Stockholms position som internationellt ledande inom hållbar produktion och integrerad stadsutveckling. Det har främjat en grupp innovations-företag inom två högteknologiska kluster; FoodTech och CleanTech. Genom dialog med Stockholms arbetsmarknadsförvaltning har testbäddens samlade kompetens bidragit till idéer för gröna utbildningar och framtida praktikplatser för personer långt från arbetsmarknaden.

e an ihrem "Spiegel

E FILM CON EFECTO ESPEJO

La superficie de este film de efecto espejo de alta calidad se protege mediante un film que se aplica tras el pegado para evitar el despegado. Con esta protección, el espejo quedará perfecto.

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ
Этот высококачественный зеркальный эффект, покрытый защитным слоем, предотвращает повреждение пленки. Это позволяет избежать повреждений или выцветания во время установки. Благодаря этому приему ваше зеркало из рулона привнесет в интерьер красоту.

FOLIE SE ZRCADLOVÝM EFEKTEM

Průhledná povrchová fólie chrání kvalitní zrcadlovou fólii před poškozením. Díky této ochraně lze zrcadlovou fólii aplikovat bez obav o poškození povrchu.

GELEFFEKT-FOLIE

Die Oberfläche dieser hochwertigen Spiegelfolie ist durch einen Schutzfilm geschützt, um das Abreißen zu verhindern. Bitte entfernen Sie diesen Schutzfilm abgedeckt. Bitte entfernen Sie diesen Schutzfilm abgedeckt.

Bitte entfernen Sie diesen Schutzfilm abgedeckt. Bitte entfernen Sie diesen Schutzfilm abgedeckt.

ФОТОЭФФЕКТ

Con este truco evitará dañar al papel al desenrollarlo. Evite dañar el papel al desenrollarlo.

Section of the display showing various plant specimens in pots, labeled with letters like AA, UF, and EE. The text is in multiple languages, including English, Spanish, and Russian. A black corrugated tube is visible in the foreground.

Section of the display showing various plant specimens in pots, labeled with letters like AA, UF, and EE. The text is in multiple languages, including English, Spanish, and Russian. A black corrugated tube is visible in the foreground.

Section of the display showing various plant specimens in pots, labeled with letters like AA, UF, and EE. The text is in multiple languages, including English, Spanish, and Russian. A black corrugated tube is visible in the foreground.

Diskussion

5

Diskussion

Projektet har demonstrerat att det är möjligt att på ett kostnadseffektivt sätt anpassa en äldre industrifastighet till småskalig växt- och fiskproduktion och återvinna restenergi både inom fastigheten och till fjärrvärmenätet. En relativt låg anpassningskostnad och partssamverkan gav både en tydlig energibesparing och en ökad cirkulation av övriga resurser (material, näring och vatten). Att avstå rivning, nybyggnation och köp av ny teknik vid etablering av produktion har bidragit till ytterligare klimatvinster och kostnadsbesparingar.

Projektets slutsats är att integration av en LED baserad odling i en fastighet ansluten till fjärrvärme kan ge ett värmeöverskott och en besparing på upp till 40 procent jämfört med en odling med fluorescerande belysning. I hus som inte är direkt eller indirekt anslutna till öppen fjärrvärme behöver en extra investeringskostnad för behovet av kylning och driften av denna tas med i kalkylen.

Ytterligare en viktig slutsats är att växt- och fiskodling är en komplex och energiintensiv produktion, vars etablering i en äldre fastighet kan medföra vissa tekniska och förvaltningsmässiga risker. Därför krävs ett nära samarbete mellan produktionsbolaget och fastighetsägaren samt rätt upplåtelseform för effektiv anpassning till ny verksamhet. I detta projekt blev den faktiska drifttiden för kort och skalan för liten för att skicka värmeöverskott över en vinterperiod till Stockholms Exergis Öppna fjärrvärme. På grund av fastighetens höga ålder och brist på dokumentation var det svårt att som hyresgäst få full insikt i och rådighet över de tekniska system som behövde aktiveras eller anpassas. Det krävdes extra arbetsinsatser från bägge parterna att bygga upp denna kunskap, vilket här möjliggjordes av det offentliga stödet och engagemanget från experter. Projektets begränsade investeringsbudget medgav inte full uppgradering av tekniska system till industriell standard. Delning av yta mellan olika verksamheter (t.ex. fisk och vertikal odling med höga hygien- och kvalitetskrav) var resurskrävande men fungerade under förutsättningarna väl i en testanläggning. I en industriell anläggning behöver färre och mer synergiska tekniker sammanföras.

Digitaliserings- och innovationsteknik bidrog till att höja resurseffektiviteten och cirkulationen, men man behöver värdera investeringar mot möjlig besparing. Vår slutsats är att en initial lönsamhetsstudie är nödvändig vid kommersiell etablering, oavsett projektets skala. I ett optimalt scenario bör troligtvis ett hyreskontrakt tecknas för en period om minst 5 år för att nödvändiga investeringar ska återbetala sig.

Projektets forskningsstudier kunde ge vissa svar på valda frågeställningar kring cirkulation av energi och näring. Det behövs en fördjupad analys av cirkulation och hållbarhet över hela livscykeln i urban livsmedelsproduktion, något som har legat utanför projektets ramar.

I Stockholm och andra storstäder håller traditionella industriområden på att trängas bort från stadscentra, det är ont om stadsnära industrilokaler och många företag har svårt att växa nära sina kunder. Den pågående omstruktureringen av detaljhandeln kan bidra till att fler lokaler i stadscentra och äldre centrum-anläggningar i framtiden blir vakanta och kan tas i bruk för t.ex. hållbarhetsprojekt som återbrukscentra, inbyggda odlingssystem och stadsnära odling. Projektet i Slakthusområdet har visat på ett bra exempel på hur lågutnyttjade industri- och handelsbyggnader i stadsområden under omvandling kan brukas för en klimatsäkrad, stadsnära livsmedelsproduktion. En sådan kan bidra till klimatnytta, system- och teknikinnovation samt en mer säkrad och diversifierad livsmedels-försörjning för staden.

Projektets samarbetskonsortium med två forskningsinstitut fungerade väl som grund för ett öppet Living Lab för tester och innovation. Stödet från Atrium Ljungberg, en av Stockholms ledande fastighetsägare och från det kommunala energibolaget Stockholm Exergi har väsentligt bidragit till de positiva resultaten från delning av fastighet, energi- och näringsflöden. Bidrag från innovationsprogrammet Viable Cities och Energimyndigheten har varit helt avgörande för möjligheten att genomföra den öppna testbädden.

Projektet hindrades delvis av pandemin, då arbete och forskning inte kunde utföras i gemensam miljö, teknikleveranser försenades och företagens kunder försvann. Under projektets slutfas realiserades däremot alla mål.

Projektet har kunnat stödja flera nystarts- och innovationsföretag inom två högteknologiska kluster som drivs av och höga hållbarhetsmål; Foodtech och Cleantech. Både de deltagande företagen och projektet i sin helhet har arbetat mot flera av FN:s globala mål. Resultaten har bidragit till att stärka Stockholms position som internationellt ledande marknadsplats för smart stadsutveckling och hållbara investeringar (s.k. impact investments).



WIN LI 伟业植物灯
Model: WD-160 (2000)
Spectrum: Full Spectrum (3000-7000nm)
Power: 100W
Power Factor: 0.95
Date: 2020
Made in China
1 year warranty

• 安装时请远离电源，避免触电危险
• 使用过程中请勿触摸，以防灼伤
• 使用过程中请勿靠近儿童及宠物
• 请勿长时间直视光源
• Please read all the quality control instructions
• Do not touch with power on
• Do not look directly at the light source
• Do not look directly at the light source for a long time
• Do not look directly at the light source for a long time

Bilagor

Bilaga 1. Data analysis report – Insights on indoor environment and energy, KTH Dep. of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration.

Bilaga 2. IVL Svenska Miljöinstitutet, Vattenforskning i digitaliserade cirkulära system i Slakthusprojektet.

Referenser

Bakgrundsrapporter tillgängliga innan projektstart

Bilder, visualiseringar: Oddmanout, Niklas Svensson

Invest 's Viable Cities förstudie

https://cleantechhogdalen.se/wp-content/uploads/2019/10/Digitalt-kontrollerade-odlingssystem-i-stadsnara-industriomraden_Viable-Cities-slutrapport.pdf

IVA:s rapport

www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/resurseffektivitet-och-cirkular-ekonomi/201912-iva-rece-branschrappport-lokaler-h.pdf

Stockholms stads handlingsplan för biologisk mångfald

<https://miljobarometern.stockholm.se/miljomal/handlingsplan-biologisk-mangfald/>

Ulf E Andersson,

Växthus och växter under glas i byggd miljö – 35 goda exempel, KTH 2014

Stockholm FoodTech Guide – Opportunities to co-create the next generation food system

www.investstockholm.com/documents/100/stockholm-foodtech.pdf

CityFresh – En ny möjlighet för hållbar livsmedelsförsörjning i Stockholm, Invest Stockholm 2018

www.cleantechhogdalen.se/rapporter

Tio procent mat från staden: effekt- och möjlighetsanalys för ökad livsmedelsproduktion i Stockholm, Invest Stockholm 2019

https://media.stadsodlastockholm.se/2020/11/Slutrapport_10-procent-mat-fran-staden-20190510.pdf

Gröna kompetenser i Stockholm, Sweco 2021



Interested in knowing more or exploring this region further, get in touch!

Invest Stockholm is the official investment promotion agency of Stockholm, owned by the city of Stockholm. The Stockholm region covers 53 municipalities and attracts more than 50% of the total foreign direct investments into Sweden. Our team will provide tailor-made information and advice for companies wanting to establish a new business in the region, as well as for companies wanting to expand an existing business. For investors we assist you to identify relevant investment opportunities within the region.

Follow us



@investstockholm on social media
invest@stockholm.se
investstockholm.com

Irena Lundberg

Projekttledare
Business Development Manager
irena.lundberg@stockholm.se
Phone +46 (0) 8 508 280 11
+46 (0) 70 472 80 11

Invest Stockholm Business Region AB

P.O. Box 16282
SE-103 25 Stockholm, Sweden
Phone +46 8 508 280 00
invest@stockholm.se
investstockholm.com

Bilaga

Data analysis report – Insights on indoor environment
and energy, KTH Dep. of Energy Technology,
Division of Applied Thermodynamic and Refrigeration





Digitaliserade odlingssystem i Stockholms industriområden- en innovativ installation för urbana kretslopp

Data analysis report – Insights on indoor environment and energy

Alberto Lazzarotto, Marco Molinari

Department of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamic and
Refrigeration

Abstract

This technical report gives a high level description of the experimental setup used for the project *Digitaliserade odlingssystem i Stockholms industriområden - en innovativ installation för urbana kretslopp*, of the monitoring system used and of the main data collected, namely temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration.

The main technical findings of the project are highlighted below.

- IC-Meters proved as an flexible monitoring systems, but data loss was not negligible in some months;
- The recorded indoor temperatures appear too low in winter time to provide heat in an economically viable way;
- Proper conditions for plants growth were recorded even with limited control for indoor environment.

The findings from this analysis can be used as a basis for the optimal choice of buildings for urban farming, and suggest that further research is needed in the field.

Introduction

This report is part of the project “Digitaliserade odlingssystem i Stockholms industriområden - en innovativ installation för urbana kretslopp” and has the goal of analyzing from an energy technology standpoint the pilot project of urban farming that was carried at Slaktusetområdet, in the facility at Hallvägen 7 A-C, Hallgränd 2-4.

The building where the project has been implemented (Figure 1) is an industrial building that was unused when the project started. The project aimed at exploiting this unutilized space in the city to host several startup companies in the field of urban farming with applications such as hydroponic and aquaponic. The project had the goal to investigate the practical, economic and energetic feasibility of this case study.

This report describes and analyzes the data infrastructure that was put in place in the context of the project and the measurements that were collected. Additionally, strategies to maximize energy recovery in the urban farm are discussed and ideas/recommendations for the scalability of this concept are formulated.



Figure 1 Exterior of the building in Hallvägen 7 A-C, Hallgränd 2-4

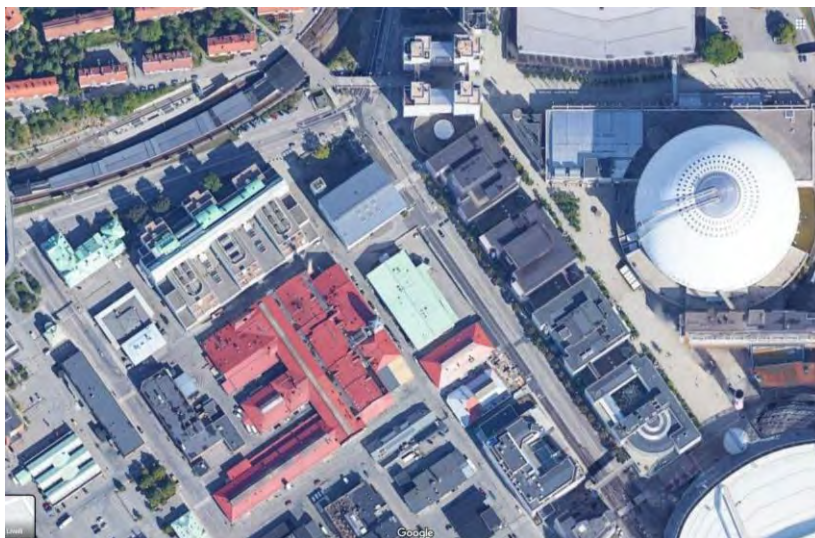


Figure 2 Satellite view of the area where the building is located. The building is part of a group of industrial buildings

Description of the monitoring setup

Indoor environment sensors

During the project duration five **IC-Meters** (<https://www.ic-meter.com/dk/>) were used to monitor the indoor environment conditions in the rooms where the startups were operating. The IC-Meters offered an integrated solution providing three sensors in a single box measuring temperature, humidity and CO₂, and a cloud-based system to store and access the data. The data could be accessed both via the IC-Meter web app or via a Web-API. The latter workflow provided a convenient way for remotely accessing the data and post-process them using third party software.

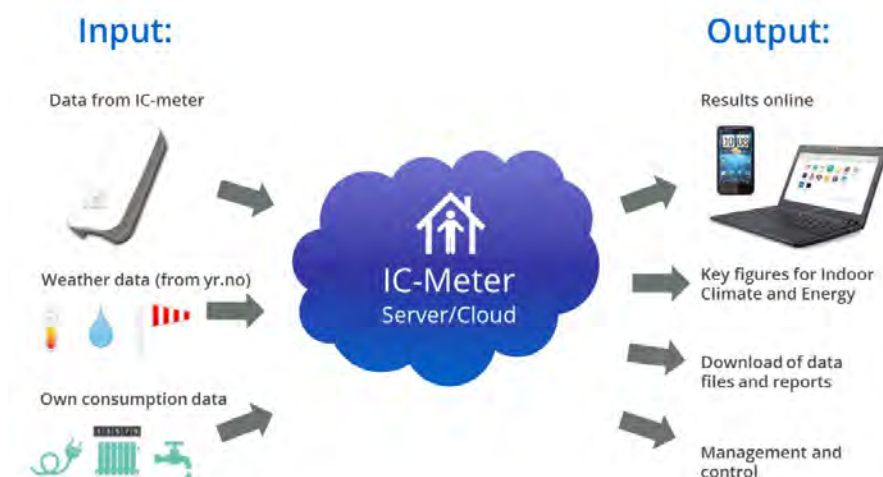


Figure 3 IC-Meter sensor concept

The sensors are placed in the building according to the map in Figure 4 and record relatively high-resolution data with time intervals of around 5 minutes. In addition, a weather station measuring external conditions was also available, providing outdoor temperature, humidity, wind direction and wind speed. The data are available between October 2020 and November 2021.

In Figure 4, the sensors are numbered from 1 to 5 and they are colored respectively in **brown**, **red**, **black**, **blue** and **light blue**. The same color code will be used within this report when plotting data relative to these IC-Meter boxes.



Figure 4 map of the building interior and location of IC-meters sensors

Additional data for indoor conditions and power of led lamps.

Additional data were collected by the startup company Farmy that used the two rooms highlighted in green in Figure 4 for hydroponic vertical farming. The data comprises monthly estimations of the amount of power installed for LED lamps per room, maximum and minimum monthly temperature, and report whether the exhaust fan was operating or not. The data reported by Farmy were collected manually and are available in the time range between March 2020 and September 2021. In this document the rooms where sensors 3 and 4 are located will be called respectively B and A to be consistent with the naming utilized by Farmy in their energy report.

Farmy warns that the measurements by IC-meter number 4 may not be representative of the indoor condition in the room because of the location of the sensor. The sensor recorded lower temperature as compared to the sensor that they used. Additionally, Farmy provided a description of the operation, which gives a better insight to the data we observe. This description provides information on how their production was run at different stages of the project.

Airflow supplied

No measurement of the airflow and temperature delivered to the room by the air handling unit were recorded during the monitoring period.

Air conditioning

In June 2021, when Farmy reached the maximum installed capacity, the excess heat in the room caused overheating reaching temperatures as high as 40°C. Cooling was provided via a central chiller that was already available at the facility. No detailed data regarding the amount of energy provided by the chiller available.

Measurement report and analysis

Figure 5 shows indoor and outdoor temperatures during the whole measurement period. The temperature oscillates between 15°C and 33°C. The temperature range is lower when compared to the maximum temperature of 40°C reported by Farmy. This is due to both sensor placement and missing data in June and July 2021.

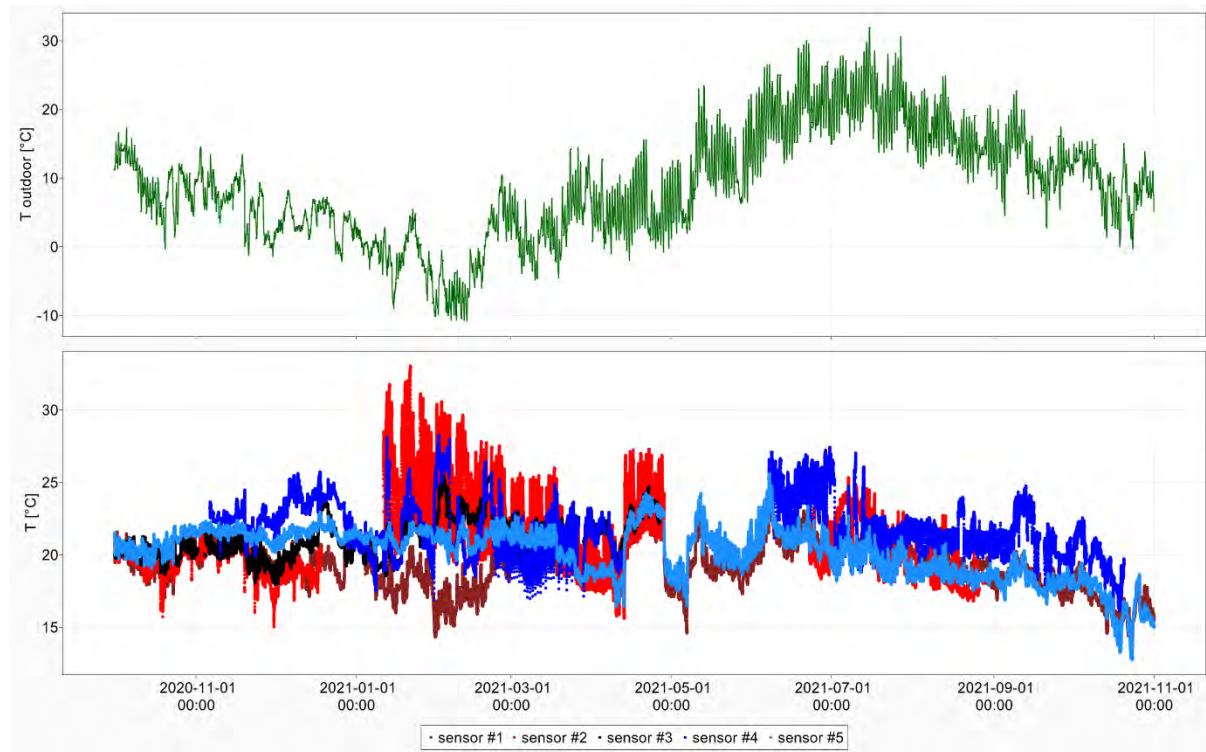


Figure 5 Indoor and outdoor temperatures reported by the IC-meters during the whole period of observation.

Within this report we will focus on the data reported by sensor 3 and 4 and we will make analysis of the indoor conditions. We chose to focus on this data because of the additional information provided by Farmy in room A and B, regarding installed LED capacity and operations.

We will utilize the reference work of Kozai (2018, 2013), to interpret the data. According to Kozai, the set point for temperature of most crops should be between 18 and 25 °C. Optimal CO₂ concentration should be between 500 and 2000 ppm, if there is an effective air circulation, allowing CO₂ to be distributed in the canopy. If this is not the case, a higher concentration is suggested. Additionally, a set point for the Vapor Deficit Pressure (VDP) between 0.8-0.95 kPa should be used. VDP is the difference between water vapor pressure and saturation pressure at a particular temperature. This is particularly important because it is directly related to the rate of evapotranspiration. Transpiration is the primary cooling mechanism associated with plants in enclosed spaces.

VDP was calculated from temperature and relative humidity data by calculating the partial pressure of the water vapor using the software CoolProp (Bell et al., 2014). CoolProp was also used to calculate the humidity ratio (kg water / kg dry air). The latter parameter was computed for both indoor air and outdoor air to compare the vapor content of incoming fresh air with the vapor content of the air within the building. This parameter provides a direct measure of the latent heat load within room A and B. In the following sections we provide a detailed description of the measurement for 8 months between December 2020 and September 2021.

December 2020

At this stage, the power of the LED lights installed in room A and B were respectively 8 kW and 2 kW. This fact can be observed in Figure 6 where the temperature in room A is a few degrees higher than the temperature in room B. We can also see that the humidity ratio (which provides a measure of the absolute vapor content per kg of air), is higher in Room A compared to room B. This effect can be attributed to the transpiration activity of the plants.

The VDP value is most of the time outside the optimal range, but it is never too extreme. In Figure 6 the light blue stripe represents the optimal VDP range suggested by Kozai. The broader range in light purple is a range of VDP that is accepted in green house applications. The extreme range of VDP highlighted with darker color represent unacceptable values for this parameter. CO₂ concentration is between 400 and 600 ppm which is on the lower end of the spectrum or below the values suggested by Kozai for well ventilated rooms. We consider that the environment should be well ventilated as each room is equipped with a dedicated circulation fan and an exhaust fan. However, Farmy reports that the exhaust fan was off from December 2020 until the end of February 2021.

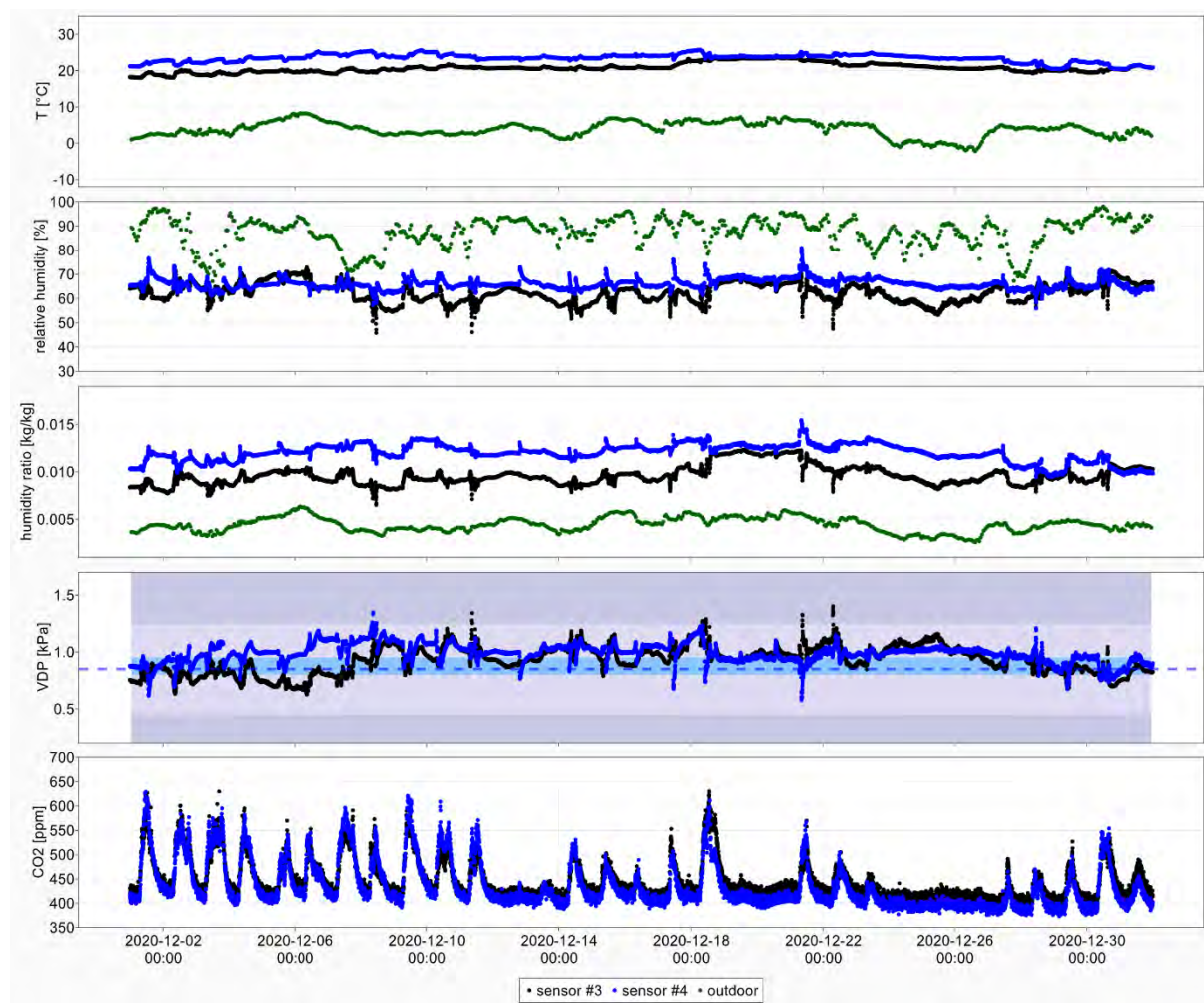


Figure 6 Measurement of temperature, relative humidity and CO₂ during **December 2020** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

February 2021

The LED lamps power installed were 8 kW in room A and 3.36 kW in room B. In this period, the outdoor air temperature was the lowest of the whole year. Temperatures as low as -10°C were recorded consistently during the first half of the month. However, the temperature in room A was stable in the range between 25°C and 30°C . This data shows how the heat released by the LED lamps installed could increase the indoor temperature condition in this building even when the outdoor weather conditions were severe.

By analyzing the data closely, we can also see that after 2021-02-06 there is a decrease in the temperature to 20°C . At the same time, there is a drop in the humidity ratio and a break in the cycling behavior of the CO_2 concentration. These three pieces of data seems to indicate a stop/reduction in the production of a few days. We can therefore see that under comparable outdoor conditions, the LED lamps can boost the temperature by 7°C . We can also see a drop of the humidity ratio from 0.015 to 0.008, suggesting that this portion of water content in the air could be associated with the transpiration process.

VDP is within the ideal range for several days, but it can drift either to higher or lower values at times moving toward less ideal operational conditions for plants transpiration.

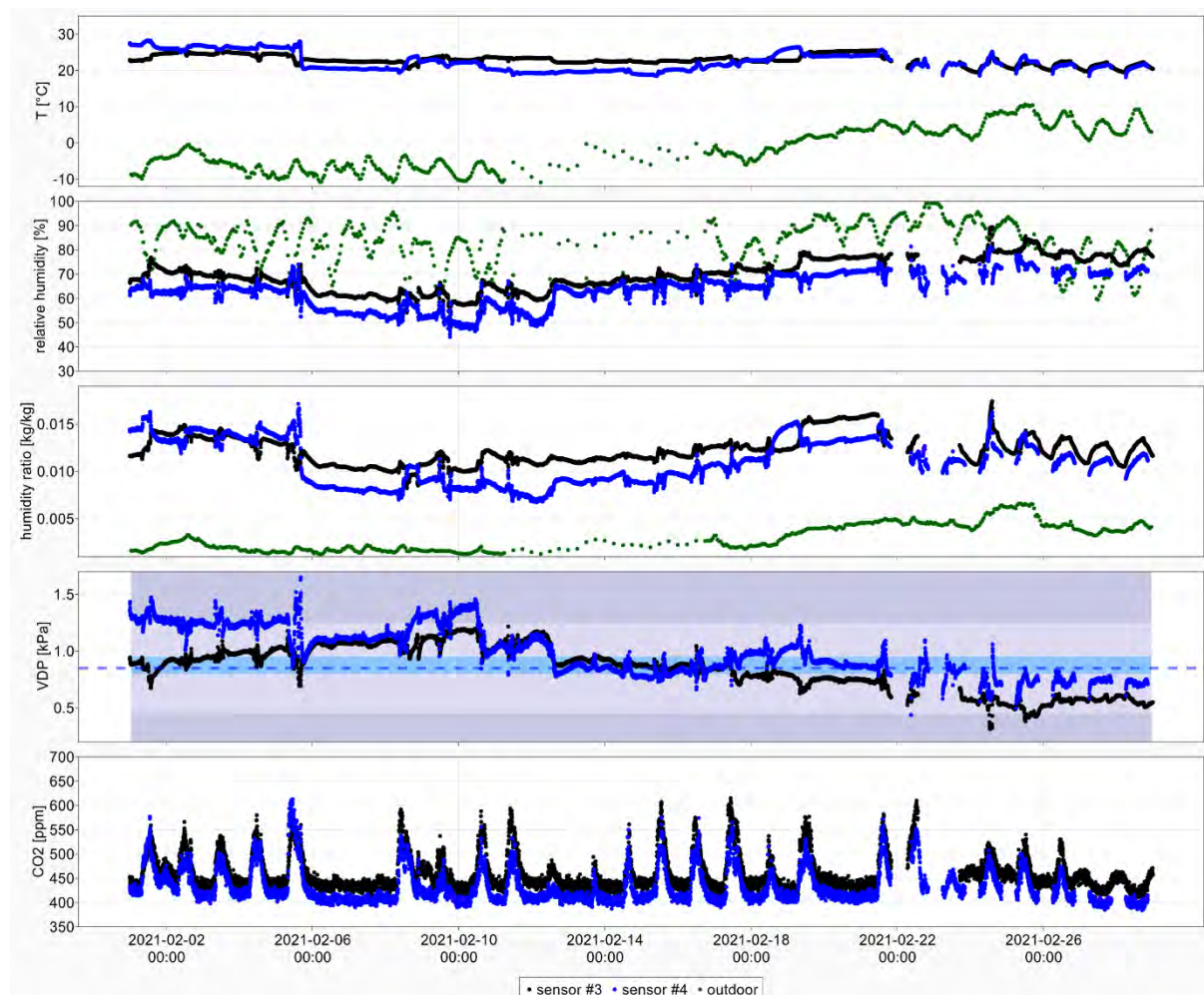


Figure 7 Measurement of temperature, relative humidity and CO_2 during February 2021 reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

March 2021

The LED power installed was the same as February, 8 kW for room A and 3.36 kW for room B. In this case, the temperature oscillates, and it is lower when compared with the indoor temperatures measured at the beginning of February. In particular, the indoor temperature seems to be correlated to the outdoor temperature. This indicates a larger air exchange between the building and the outdoor environment. However, the air exchange only marginally reduces the difference in humidity ratio between indoor and outdoor air.

It should be clear that the goal here is not necessarily to reduce the humidity ratio within the room. Instead, we should control it in a way that maintains VDP within the optimal range of 0.8-0.95 kPa (light blue band). From Figure 8 we can see that, especially for sensor 3, VDP is rather low in the first half of the month, and it gets rather high in the second part of the month. This means that in the first part of the month we should remove some of the humidity content from the air to achieve optimal conditions. Conversely, in the second part of the month the air should be humidified to reach optimal conditions.

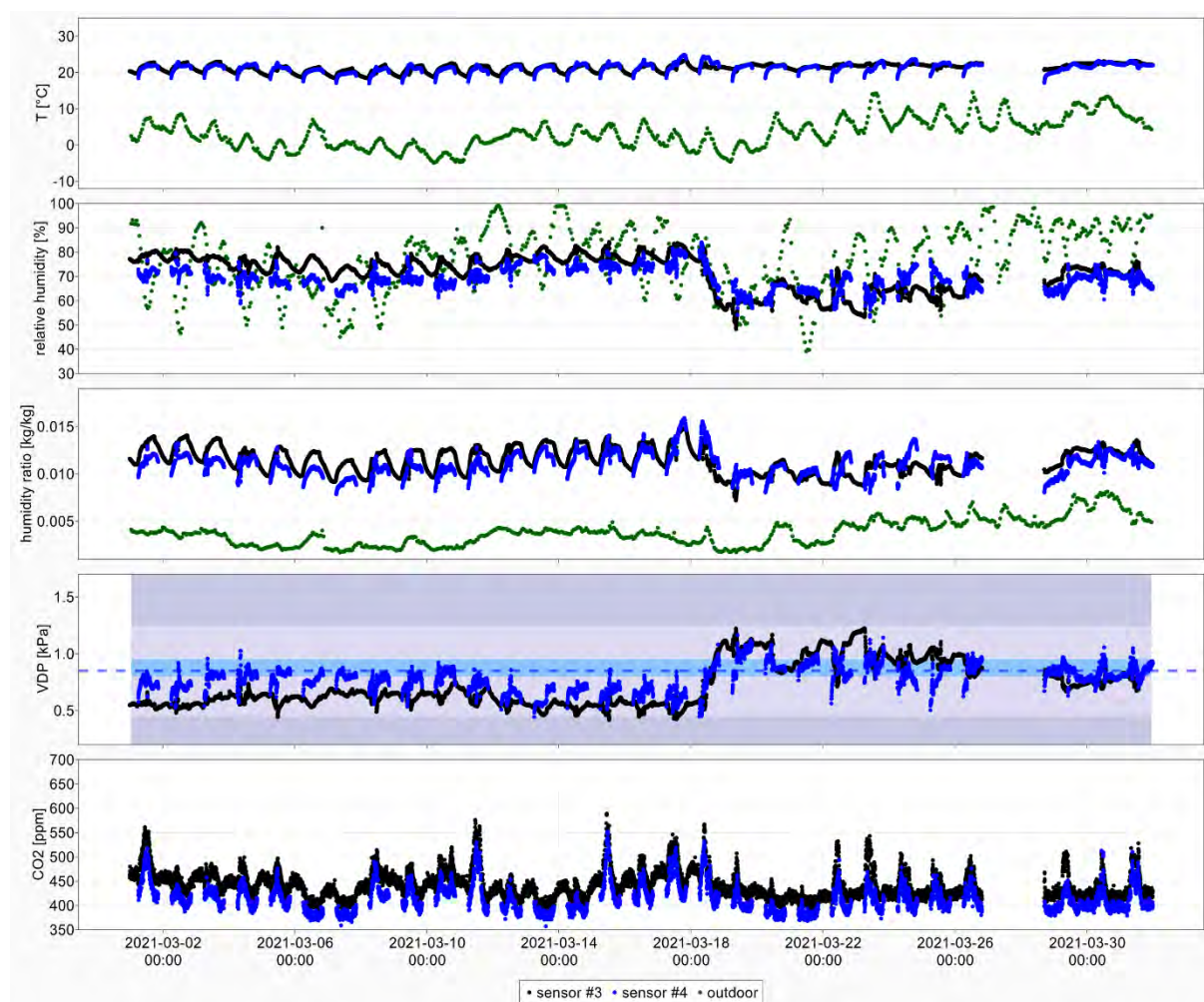


Figure 8 Measurement of temperature, relative humidity and CO_2 during the **March 2021** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

April 2021

The LED power installed at this stage is 8 kW for room A and 5 kW for room B. The temperature in room A and B seems to be less correlated with the external temperature as compared to the dynamics observed in the beginning of March. In the first part of the month, CO₂ concentration oscillates less in comparison with the previous month, and on some occasion the CO₂ is stable for several days showing that there is probably less activity during this period. This seems to be confirmed by the decay of the humidity ratio of sensor 3 and 4.

In the second part of the month, sensor 4 stopped recording. The data from sensor 3 indicates more regular CO₂ cycles and an increase in the humidity ratio. During this time VDP is in average below the lower bound of the optimal range provided by Kozai.

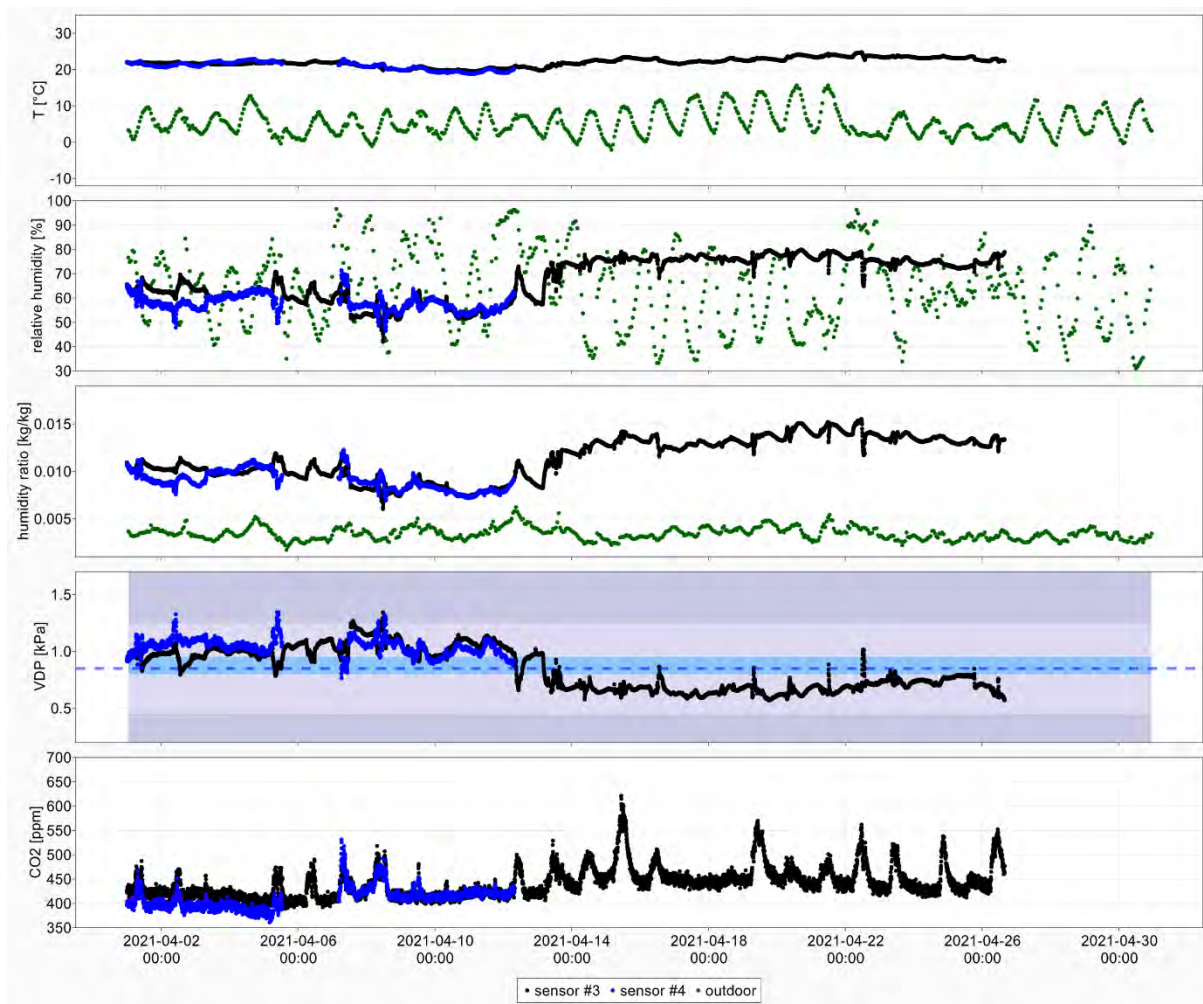


Figure 9 Measurement of temperature, relative humidity and CO₂ during the **April 2021** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

June 2021

The LED power installed in room A and B is respectively 8 kW and 7.28 kW. During the first week of the month, only the weather station kept on recording. After this time sensor 4 started recording again but no data could be retrieved from sensor 3.

The weather station data shows that outdoor temperature was rather high during this month reaching a maximum value of 30°C and that the humidity ratio increased significantly when compared to the winter and spring months. During this month, we observe for the first-time higher temperature of the outdoor air when compared with the indoor environment.

The VPD oscillates between values above and below the optimal range. However, for a significant number of hours the VPD is within the optimal range.

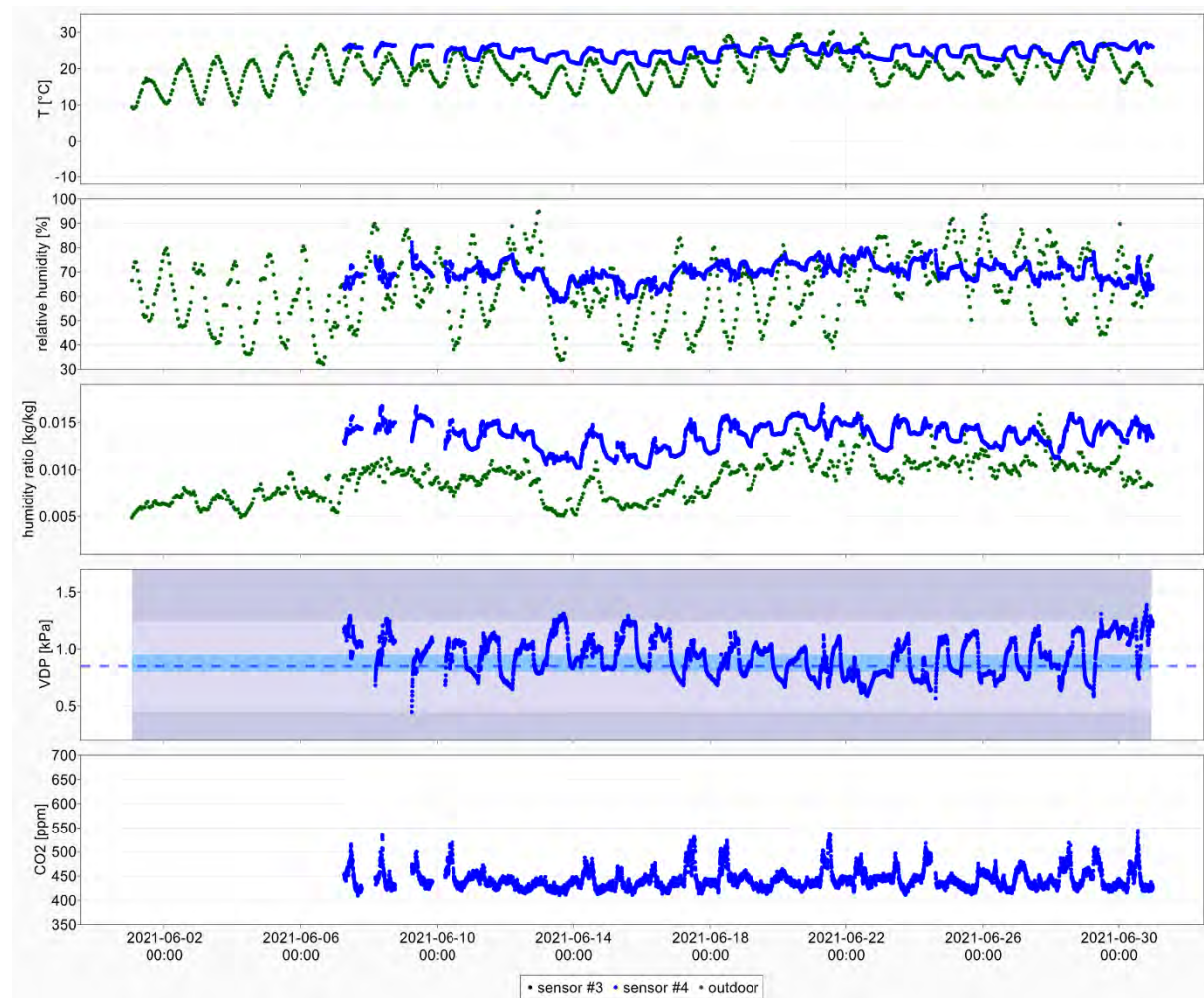


Figure 10 Measurement of temperature, relative humidity and CO₂ during the **June 2021** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VPD calculated based on the measured temperature and relative humidity.

July 2021

The LED power installed in room A and B is respectively 8 kW and 7.78 kW. This is the final stage of the project and the installation reached maximum capacity. At this point in the project, it was possible to have access to active air conditioning of the rooms.

Figure 11 shows the outdoor temperature oscillates between minimum values of 15°C up to maximum temperatures of 32°C. From mid-July onwards the temperature was kept at a constant value of approximately 22-23°C. However, we can see that during this period VDP is for a large part of the time outside the optimal range and it is at times as low as 0.5 kPa. This means that further dehumidification of the indoor air should be performed to achieve optimal condition for the transpiration.

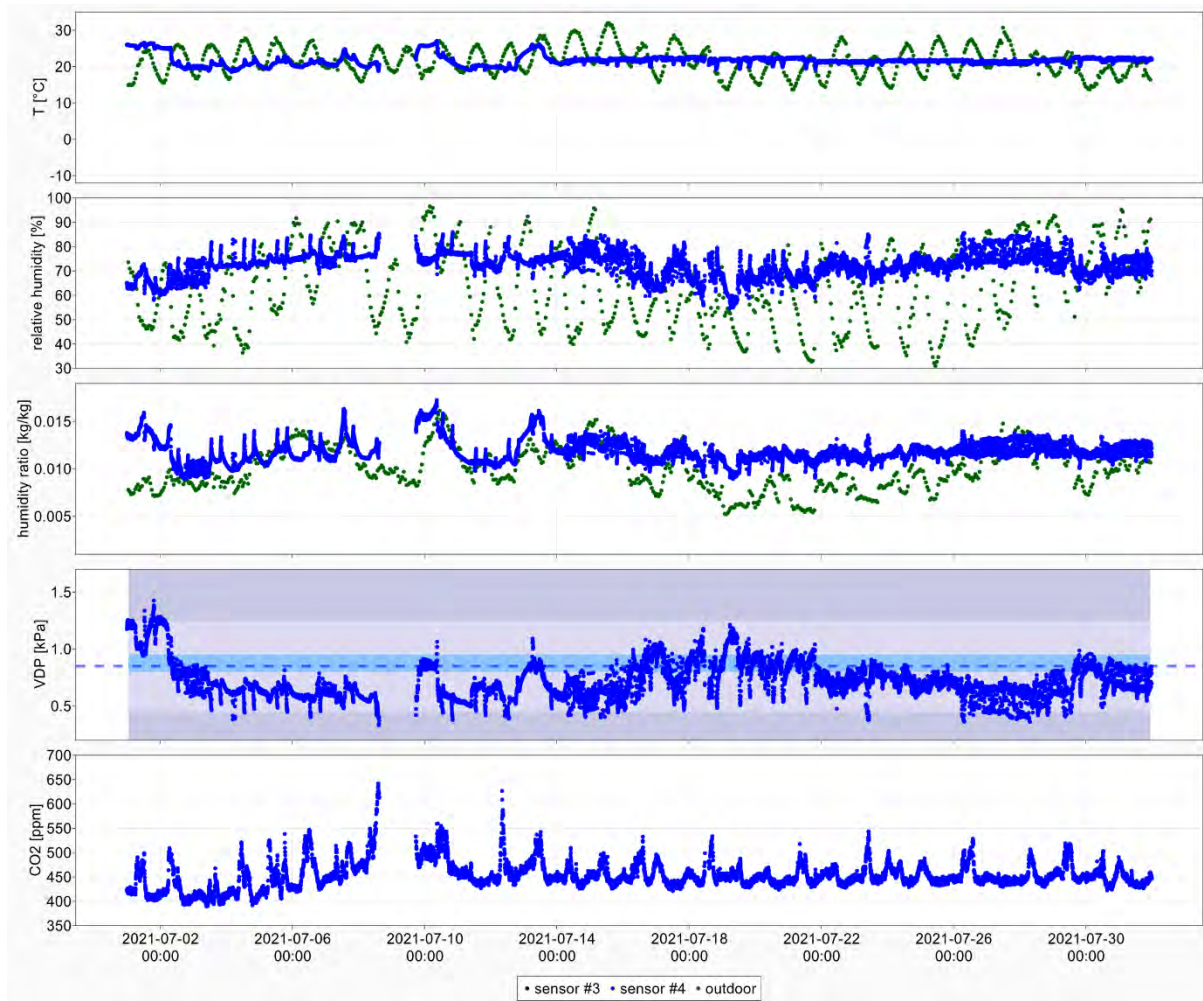


Figure 11 Measurement of temperature, relative humidity and CO₂ during the **July 2021** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

August 2021

In August we observe similar results as compared to July.

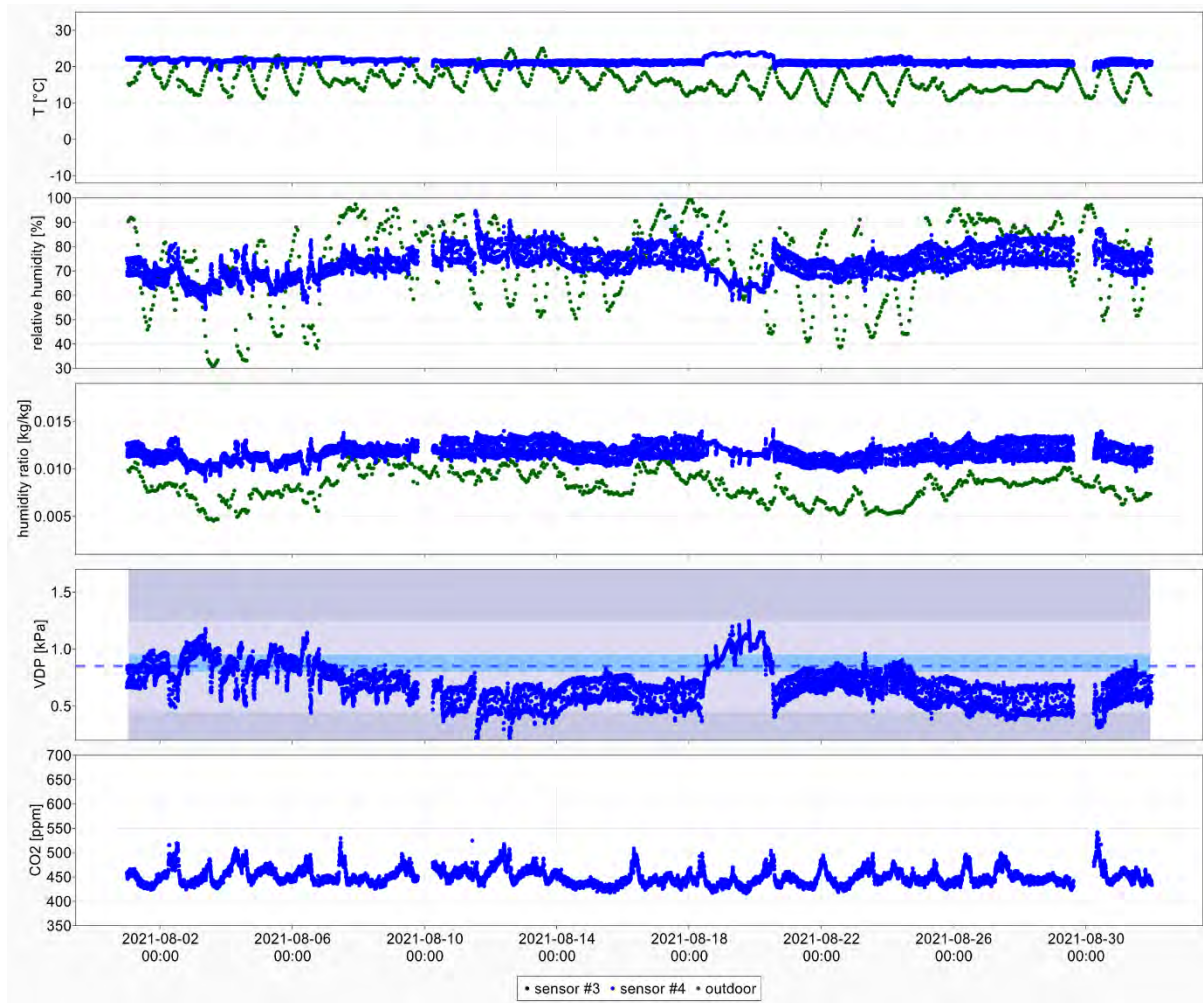


Figure 12 Measurement of temperature, relative humidity and CO₂ during the **August 2021** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

September 2021

During this month the outdoor temperature is once again below the indoor set point temperature. The indoor temperature is controlled via air conditioning. In this case, VDP is within the optimal range for many hours. However, values of VDP as low 0.25-0.3 are reached in a few occasions for short periods. Such values are likely to affect the health of the plants.

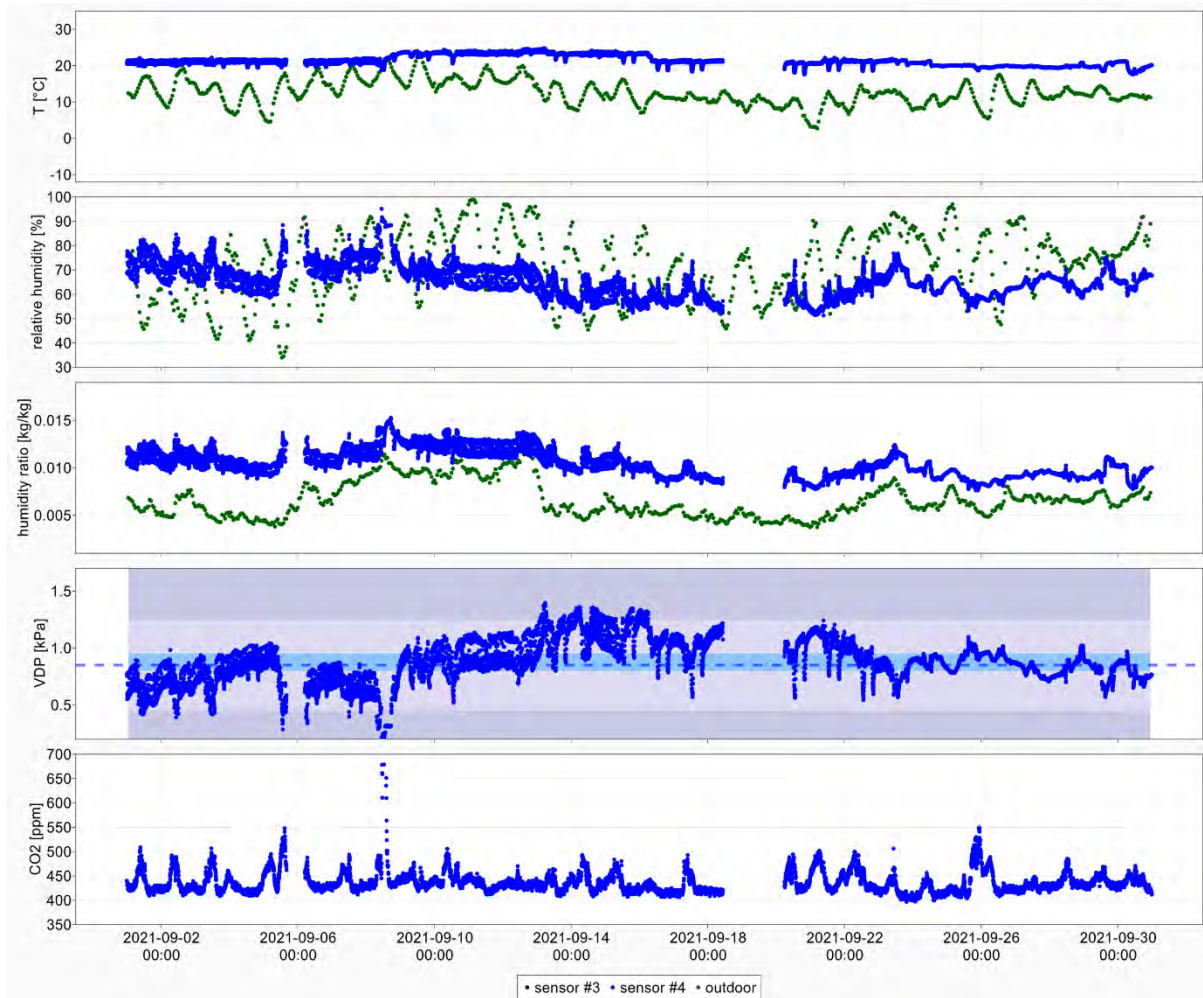


Figure 13 Measurement of temperature, relative humidity and CO_2 during the **September 2021** reported by the IC-meters boxes 3 and 4 and by the outdoor meter. We additionally displayed the humidity ratio and the VDP calculated based on the measured temperature and relative humidity.

Energy considerations

Due to the limited information on the building envelope characteristics and of the unavailability of air flows and supply air temperature it was not possible to estimate the energy losses from the building. Estimating the energy losses through the building envelope is necessary to evaluate the feasibility and scalability of the proposed approach. However, from the measurements we could observe how the LED lamps operation could raise the temperature in the indoor environment covering the demand of thermal energy during wintertime. This task required on some occasions the operation of the LED lamps during the whole day in the coldest days of the year. Such operation was necessary as no other heating system was used on site. On the other hand, if other heating systems were available, such operation should have been avoided for the sole purpose of heating and LED lamps should have been operated only to optimize the plant growth.

The high density of heat generation in hydroponic vertical farming facilities highly reduces the heating demand during wintertime, but it increases the needs for air conditioning in the summer. There is a need for air conditioning both to supply sensible cooling load as well as for latent loads (Graamans et al., 2020, 2018). As discussed by Gentry (2019), the availability of excess heat in the hydroponic vertical urban farms creates an opportunity to share this thermal energy with the district heating network or with neighboring buildings. According to Gentry the integration to district heating network should be preferred as it provides economic advantages that can help making urban farming economically feasible. The author mentions also that the key for this strategy to be successful is the development of a network that can supply the thermal load in the urban areas but that can also easily accept heat from third parties.

In the investigated case, a central cooling system was available in the industrial area where the building is located. The chillers are designed to provide cooling at low temperature for industrial application. The condenser side of the on the chiller is designed to operate at 22°C. The fluid circulated at the condenser can then be cooled either via dry cooler or via the evaporator of a second heat pump stage that lifts the temperature of the thermal load up to 68°C. This temperature is suitable for reinjection in the district heating network and this loop is connected to the Oppen Fjärvärme network.

The system can therefore technically reinject the excess heat produced in the vertical hydroponic farm to the district heating network. However, because of the very low heating demands during the summer, the pricing scheme does not promote reinjection in the network when the temperature is higher than 13°C. This condition takes place during the time of the year when the excess heat produced by the vertical plant factory is the largest.

During wintertime, the excess heat can be used both for reinjection into the district heating network or for heating neighboring spaces. The latter solution can simplify the system, reducing the number of steps in the chain and have the advantage of reducing the thermal losses in the distribution network. Within the industrial building investigated, only a few rooms had high LED lamps capacity installed. However, the internal heat generation could be redistributed via the ventilation system and cover the thermal load of other rooms.

This is an effective method for energy reuse as there are relatively low losses in the process. On the other hand, this strategy comes also with a reduction in the flexibility as compared to a district heating network as the heat generated might not match the demand available locally.

In general, if there is a significant surplus of heat during a time when it is economically viable to reinject into the network, this energy reuse solution could be an option that might be worth considering. The economical evaluation should consider both the price offered for the reinjected heat and the electricity cost related to pumping heat at the minimum reinjection temperature required by the district heating network. Under the current pricing scheme, with the current requirement of reinjection temperature and considering when excess heat is available during the year, direct local use of the available excess heat seems to be a more feasible solution.

Lessons learned

The data analysis showed how having access to data with high resolution can provide a lot of insight on the operation of the system. Cloud storage and remote access offer great advantages reducing the chances of data loss for failure of hardware equipment. Easy access to data is key for the practical implementation of the data analysis. Expert analysis can help assess the quality of the current operation within the hydroponic vertical urban farm, identify flaws and find solutions.

Significant variability in the indoor environment conditions within the room where vertical hydroponic farming was implemented was observed at the facility. This fact makes sensor placement crucial to collect reliable and usable data for the assessment of indoor condition. The design of the monitoring system and the consequent sensors placement should be intentional with a clear plan in mind. Easy-to-install systems like IC-meters are valuable to upgrade the existing monitoring systems and provide critical data at a relatively low cost and labor.

Air flows and supply temperatures should be monitored. This information would help both with the energy analysis, but also with the assessment of quality of the indoor environment for plants environment conditions and health. High-resolution data of LED lamp electricity consumption should be monitored ideally on a per room basis.

The analysis of the data collected showed the importance of controlling the temperature and latent loads during summertime. Importantly, even with limited possibility to control the indoor environment, the conditions for the plants are considered satisfactory; this supports the possibility to re-use industrial urban spaces for urban farming. However, the facility used for urban farming, especially in the case of hydroponic vertical farming, should be equipped with an air conditioning system. This is a consideration that should be done when choosing a site for this kind of project as the absence of air conditioning system can have a significant impact on the initial economical investment and on the feasibility of hydroponic farm.

Even if an air conditioning system is in place, the ideal indoor condition suitable for plants are not the same as the ideal indoor condition for people. For this reason, the control system of the air condition system should be tuned to control both temperature and VDP.

Bibliography

- Bell, I.H., Wronski, J., Quoilin, S., Lemort, V., 2014. Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53, 2498–2508. <https://doi.org/10.1021/ie4033999>
- Gentry, M., 2019. Local heat, local food: Integrating vertical hydroponic farming with district heating in Sweden. *Energy* 174, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.119>
- Graamans, L., Baeza, E., van den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., Stanghellini, C., 2018. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems* 160, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>
- Graamans, L., Tenpierik, M., van den Dobbelsteen, A., Stanghellini, C., 2020. Plant factories: Reducing energy demand at high internal heat loads through façade design. *Applied Energy* 262, 114544. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114544>
- Kozai, T. (Ed.), 2018. *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*. Springer Singapore, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1065-2>
- Kozai, T., 2013. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proc. Jpn. Acad., Ser. B* 89, 447–461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>

Bilaga

IVL Svenska Miljöinstitutet, Vattenforskning i
digitaliserade cirkulära system i Slakthusprojektet



Vattenforskning kring digitaliserade cirkulära odlingssystem i Slakthusprojektet

Fallstudier

Som en del av projektet arbetade IVL Svenska Miljöinstitutet (IVL) tillsammans med Kretsloppsbolaget Sverige AB och Farmy med två fallstudier på Slakthusområdet i Stockholm under tiden 2020-2021. IVL tillhandahöll onlinesensorer och annan utrustning för vattenkvalitetsövervakning samt stöd för planering och utvärdering av studierna.

Naturlig näring från akvaponisystem

Kretsloppsbolaget byggde i projektet upp en demonstrationsanläggning med fisk och växter. Det primära syftet var att demonstrera lokal produktion av fisk och växtnäring genom att använda biokol i samarbete med företaget Ecotopic för att rena det cirkulerande vattnet som innehöll ett överskott av näring i relation till växternas behov. IVL bidrog med expertis inom fiskodling, reningsteknik och digitalisering samt tillhandahöll onlinesensorer för mätning av pH, konduktivitet, och turbiditet. IVL assisterade också i att lägga upp och utvärdera försöken.



Fig. 1: Kretsloppsbolagets försöksuppsättning med tre fisktankar för Tilapia kopplade till en hydroponisk odling och ett reningssteg med biokol.

Övervakning av vattenkvalitet är avgörande för ett akvaponiksystem. Ofta är kraven för fiskarna i systemet något annorlunda än de som krävs av de växter som odlas och de mikroorganismer som finns i systemet. Det finns en viss trade-off i optimeringen av systemet och där är fiskhälsa prioriterad. Faktum är dock att växter, fiskar och de mikroorganismer som ansvarar för nedbrytningen av metaboliska avfallsprodukter från fisken trivs och växer oerhört bra tillsammans i dessa system.

Med hänsyn till vattenkvalitet är det viktigt att konduktivitet, temperatur och pH övervakas kontinuerligt, där konduktiviteten är särskilt viktig för växterna i systemet. Temperatur, grumlighet, pH och i mindre utsträckning konduktivitet är viktiga parametrar för de fisk- och bakteriearter som finns och för systemets drift som helhet och övervakades därför i försöket. Mycket grumligt vatten och/eller varierande pH kan orsaka stress genom gälirritation eller, när det gäller pH, skapa snabba förändringar i vattenkemin som leder till fiskdödlighet.

När försöket inleddes sågs initialt en snabb nedgång i pH troligen pga bakteriell nedbrytning av ammonium från fiskarna, se figur 1. En tydlig ökning av elektrisk ledningsförmåga observerades när fisktanken kopplades till ett större vattenbrukssystem den 28 juli. Fyra dagar senare ses en markant nedgång i konduktiviteten på grund av påfyllning av systemet med 700 liter kranvatten.

Under den andra försöksperioden mellan augusti och oktober 2021 användes ett biokolfilter i systemet vid olika tillfällen under en begränsad tid för att utvärdera dess effekt på mätparametrarna.



Fig. 2: Tidsserier för pH och elektrisk konduktivitet under två perioder från 25 maj till 13 juli och från 13 augusti till 13 oktober 2021.

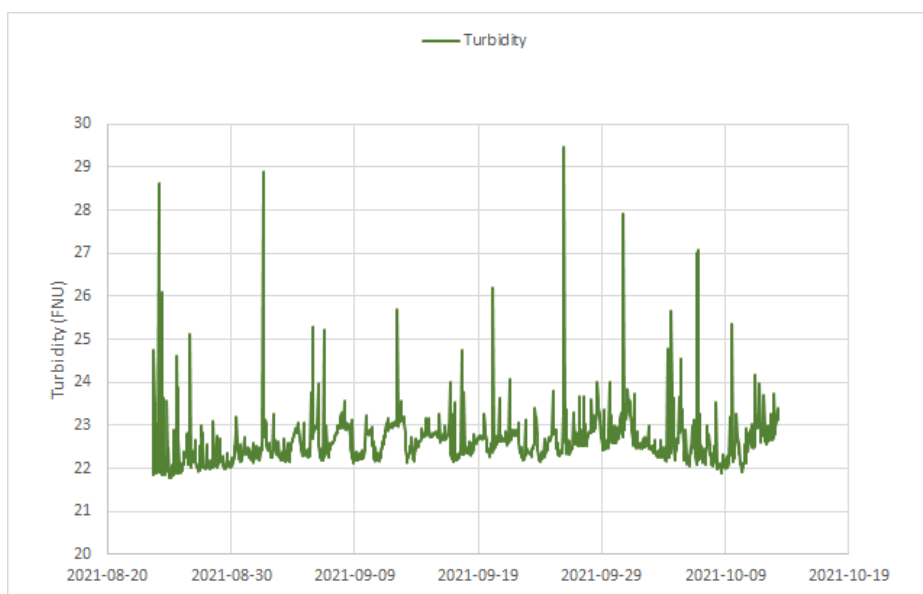


Fig. 3: Tidserie för turbiditet mellan 23 augusti till 13 Oktober 2021.

Biokolens potential att reducera grumlighet, buffra pH och absorbera näringsämnen kunde inte utvärderas statistiskt på grund av otillräcklig applikationstid och allmänna tidsbegränsningar för projektet som inte gjorde det möjligt för ytterligare tester att utföras. Detta anses dock vara ett intressant område för framtida arbete.

Kretsloppsbolaget diskuterar möjligheten att använda en mindre version av akvaponisystemet i utbildningssyfte. I samråd med IVL presenterades flera idéer om hur detta skulle kunna åstadkommas. Användningen av systemet som ett pedagogiskt verktyg i skolor var ett område som diskuterades. Genom att använda praktisk inlärning kan systemet användas i praktiskt taget alla skolämnen, inklusive: verkstad, matematik, biologi, statistik, fysik, ekonomi och ekonomi. System som detta kan också tas in på offentliga visningsarenor som "Tom Tits Experiment" och användas för att utbilda allmänheten och främja användningen av cirkulära livsmedelsproduktionssystem.

Innovativa metoder för att odla ätbara blommor, näringsrika skott och bladväxter i vertikala hydroponiska system

Inom projektets har företaget Farmy utvecklat modulära odlingsenheter lämpliga för små till stora odlingar samt ett sensor- och övervakningssystem. Farmy har också framgångsrikt testat att odla flera nya ätbara växter.

Farmys mål är att etablera en kommersiell produktion med odling under optimala förhållanden för att öka avkastningen och uppnå en bättre smak jämfört med växter som produceras i befintliga hydroponiska system. Farmy har redan startat kommersiell produktion på en yta på mer än 180 kvm och siktar på att öka denna yta med 125 %.

Farmy har i projektet strävat efter ökad förståelse kring växternas behov och respons på olika faktorer såsom ljus, temperatur och näringslösningar vid olika utvecklingsstadier (plantor, tillväxt, blomning och fruktsättning). De ville också ta reda på om växternas näringsintag skiljer sig under omväxlande dag- och nattperioder på 12 timmar. En förbättrad förståelse för växtaktivitet skulle möjliggöra en mer effektiv tillförsel av värme, vatten och näringsämnen.

Av praktiska skäl var det inte möjligt att mäta viktiga ämnen som N, P, K, Ca, Mg och Ir online. Istället övervakades pH och elektrisk ledningsförmåga i växtlösningen med timmupplösning.

Övervakning genomfördes i "odlingsrum B" där blommor produceras med dygnsperioder på 12 timmar från 02:00 till 14:00. Bevattningsystemet är anslutet till en 1 000 liter tank fylld med 600 liter vatten. Vatten pumpas ut periodiskt från tanken till 22 anslutna brickor och återförs sedan till tanken. Detta resulterar i en markant förändring av vattennivån i tanken när pumpen är aktiv. Det betyder också att man inte kan fylla på tanken automatiskt. Sensorer för övervakning av pH och elektrisk ledningsförmåga placerades i tanken. IVL tillhandahåll vattensensorerna och Farmy stod för datahantering och utvärdering.

Mätresultaten visade återkommande plötsliga förändringar i både pH- och konduktivitet. Vid flera tillfällen sjönk värdena på elektrisk ledningsförmåga till noll under flera dagar. Förändringar i pH skedde samtidigt som förändringarna i konduktivitet, men var mindre uttalade. De plötsliga fallen i elektrisk ledningsförmåga beror med största sannolikhet på att konduktivitetssensorn hade placerats för högt upp i vattentanken och som ett resultat av detta inte hade vattenkontakt i perioder när pumpen tryckt ut det mesta vattnet på brickorna. Denna hypotes bekräftas av temperaturmätningarna som visar ett temperaturfall

när tankarna fylls på med 16 °C kranvatten samtidigt som konduktivitetssensorn började mäta igen. Påfyllningen sammanföll också med toppar i pH (Figur 3).

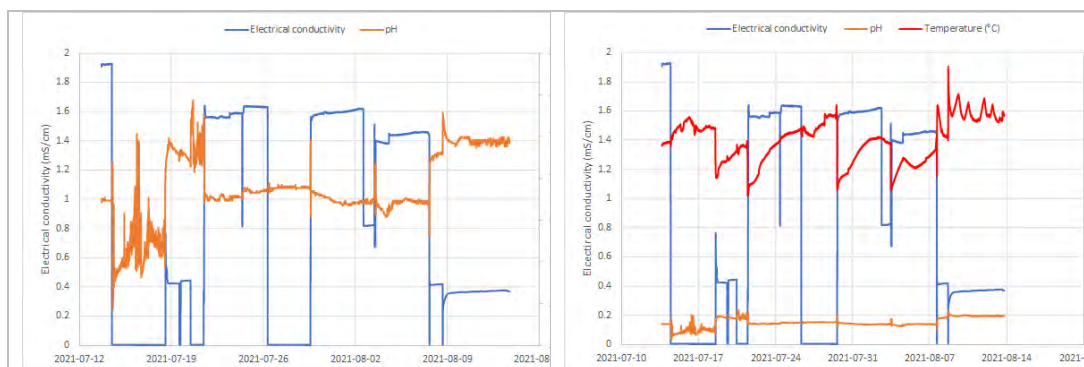


Fig. 4: Tidsserier för elektrisk ledningsförmåga, pH och temperatur i vattentanken mellan 13 juli och 13 augusti 2021.

Framtagna mätdata var av begränsad kvalitet på grund av den olämpliga installationsplatsen för sensorerna. De perioder under vilka mätdata var tillgängliga var för korta för en meningsfull analys eller för att dra slutsatser om anläggningsaktivitetens inverkan på pH och elektrisk ledningsförmåga.

Det allmänna tillvägagångssättet anses fortfarande lovande och Farmy planerar att genomföra fortsatta mätningar under längre varaktigheter och i en bättre kontrollerad miljö efter projektet.

2021-11-26
Mikael Olshammar,
Projektledare IVL Svenska Miljöinstitutet