

Energiflöden inom akvaponi

- Klimatskalets påverkan på energibalansen

Energy flows within aquaponics
- The effect of the building envelope

Axel Arlesten

Handledare, Igor Cruz
Examinator, Maria Johansson

Upphovsrätt

Detta dokument hålls tillgängligt på Internet – eller dess framtida ersättare – under 25 år från publiceringsdatum under förutsättning att inga extraordinära omständigheter uppstår.

Tillgång till dokumentet innebär tillstånd för var och en att läsa, ladda ner, skriva ut enstaka kopior för enskilt bruk och att använda det oförändrat för ickekommersiell forskning och för undervisning. Överföring av upphovsrätten vid en senare tidpunkt kan inte upphäva detta tillstånd. All annan användning av dokumentet kräver upphovsmannens medgivande. För att garantera äktheten, säkerheten och tillgängligheten finns lösningar av teknisk och administrativ art.

Upphovsmannens ideella rätt innefattar rätt att bli nämnd som upphovsman i den omfattning som god sed kräver vid användning av dokumentet på ovan beskrivna sätt samt skydd mot att dokumentet ändras eller presenteras i sådan form eller i sådant sammanhang som är kränkande för upphovsmannens litterära eller konstnärliga anseende eller egenart.

För ytterligare information om Linköping University Electronic Press se förlagets hemsida <http://www.ep.liu.se/>.

Copyright

The publishers will keep this document online on the Internet – or its possible replacement – for a period of 25 years starting from the date of publication barring exceptional circumstances.

The online availability of the document implies permanent permission for anyone to read, to download, or to print out single copies for his/hers own use and to use it unchanged for non-commercial research and educational purpose. Subsequent transfers of copyright cannot revoke this permission. All other uses of the document are conditional upon the consent of the copyright owner. The publisher has taken technical and administrative measures to assure authenticity, security and accessibility.

According to intellectual property law the author has the right to be mentioned when his/her work is accessed as described above and to be protected against infringement.

For additional information about the Linköping University Electronic Press and its procedures for publication and for assurance of document integrity, please refer to its www home page: <http://www.ep.liu.se/>.

Sammanfattning

Studiens syfte är att skapa en förståelse för hur energibalansen för akvaponi ser ut och hur klimatskalet kan påverka energiflödena inom systemet. Detta med bakgrunden av att det finns ett behov av ny teknik och lösningar på matproduktion för att möta den hållbara utvecklingen, där akvaponi kan vara en lösning. Akvaponi är en odlingsteknik som kombinerar fisk- och växtodling i samma system. Detta för att dra nytta av varandras styrkor och svagheter samt för att skapa ett mer cirkulärt system. En av de bidragande faktorerna till en akvaponisk odling klimatpåverkan är dess energianvändning. Därför har rapporten kartlagt energiflödena hos en akvaponisk odling, Johannas stadsodlingar, och jämfört hur dessa energiflöden ser ut om samma anläggning hade använt sig av ett växthus istället för en inomhusodling. På så sätt kommer två olika klimatskal för odlingen att utvärderas. Utöver jämförelsen kommer de två byggnadernas förbättringspotential att undersökas. I jämförelsen mellan de två byggnaderna kom det fram att växthuset har ett två gånger större totalt energibehov än den isolerade byggnaden. Där uppvärmningsbehovet för växthuset är den största bidragande orsaken och större än det totala energibehovet för den isolerade byggnaden. För den isolerade byggnaden bestod uppvärmningsbehovet och elförbrukning till utrustningen för ungefär lika stort bidrag till dess totala energibehov. En förklaring till att behovet av el till utrustningen är nästan lika stort som uppvärmningsbehovet är växtbelysningen som behövs för att kompensera för avsaknaden av solljus. Det uppstod skillnader i hur energibehovet såg ut beroende på vilken årstid det var, där vintern stod för merparten, 35 % för den isolerade byggnaden och 39 % för växthuset av det totala energibehovet för respektive byggnad. I kombination med att sommaren står för nästan allt kylbehov visar det på att det finns ett överskott på värme under sommaren och ett underskott av värme under vintern. Den byggnad med mest potential att sänka sitt totala energibehov är växthuset genom att installera 2-skiktglas och skuggväv. Vilket skulle innebära en möjlig sänkning upp till 80 % av uppvärmnings- och kylbehovet. Den isolerade byggnaden har möjlighet till en produktion av elektricitet på ca 13 – 16 % med hjälp av att installera solceller. Om båda klimatskalens förbättringspotential tas med i beräkningarna är växthuset det med minst totalt energibehov.

Abstract

The purpose of the study is to create an understanding of the energy balance within aquaponics and how it is affected by the building envelope. The reason for this perspective is the need for new technology and solutions on how to make food production more sustainable, which aquaponics can be a part of. Aquaponics is a method for farming both fish and vegetables in a closed-loop system. This system draws the weaknesses of the individual system and making them into strengths when connected. But one of the disadvantages with aquaponics is its high energy demand. That's why this study has mapped the energy demand at an aquaponic farm, Johannas stadsodlingar, and compared how the energy demand would alter if the same farm would be used in a greenhouse instead of being indoors. Furthermore, the study will investigate how the different building envelope can be improved. The comparison between the two buildings envelope showed that the greenhouse had twice as high total energy demand then the insulated building. The heating demand for the greenhouse alone is larger than the total energy demand for the insulated building. For the insulated building the electricity demand for the equipment was about the same amount as the heating demand. An answer to its high demand of electricity is the use of supplement lighting as compensation for the lack of sunlight. There was a clear difference in energy demand between the different seasons, were winter had the highest energy demand for both buildings. 35 % for the insulated and 39 % for the greenhouse. The summer had the lowest heating demand but the highest cooling demand for both builds. This shows that there is a deficit of heat during the winter but an excess of heat during the summer. When it comes to reducing its energy demand the greenhouse showed more potential than the insulated building, 80 % of the greenhouse heating and cooling demand compared to 13 – 16 % of the insulated building electrical demand for the equipment. This could be done by installing 2-layered glass and a shadow weave for the greenhouse and installing solar panels for the insulated building. If all the potential savings were considered the greenhouse could achieve a lower energy demand than the insulated building.

Förord

Att skriva det här examensarbetet har varit allt annat än lätt, ett klimax på fem år av studier kondenserat på ett halvår och en rapport. Gick in i den här processen med vetskapen att jag inte är ämnat till att göra den här typen av arbete själv och mycket sant har det varit min största utmaning, att jag skrivit själv. Därför finns det många som på ett eller annat sätt varit del av mitt examensarbete och som jag därför vill tacka. Först tack till Ecoloop, som har varit min arbetsplats under hela processen och försett mig med fikapauser, intressanta diskussioner och en insikt i vad framtiden kan komma att erbjuda. Tack till Simon Magnusson som varit min handledare på Ecoloop och väglett mig genom hela processen, en trygg reskamrat under en lång färd. Tack till Johannas stadsodlingar som genom sitt samarbete med Ecoloop gav mig grunden till mitt examensarbete.

Från Linköpings universitet har jag Igor Cruz och Maria Johansson att tacka. Igor har varit min handledare, så tack för att jag fick ta emot dina kunskaper på ämnet samt vägledningen i att skriva en akademisk rapport. Tack till Maria Johansson som tagit sig tid för att vara examinator och examinera mig.

Linköpings universitet 2019, Axel Arlesten

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Akvaponi	2
1.2 Syfte	3
1.3 Frågeställning	3
1.4 Avgränsningar till systemet	3
2. Teori	4
2.1 Akvaponi	4
2.1.1 Odlingsteknik inom akvaponi	5
2.2 Värmeöverföring	6
2.2.1 Klimatskal	6
2.2.2 Värmeöverföring	7
2.2.3 Energibalans	9
2.2.4 Svenskt klimat	9
3. Johannas stadsodlingar	11
4. Metod	16
4.1 Litteraturstudie	16
4.2 Energiberäkningar	17
4.3 Hur klimatskalen kommer att jämföras	19
4.3.1 Komplettering av fallet – Johannas stadsodlingar	20
4.3.1 Solcellsverktyg	20
5. Resultat	22
5.1 Energibehovet	22
5.1.1 – Årligt energibehov	22
5.1.2 – Årstidernas behov	24
5.2 Förbättringspotential	27
5.2.1 Växthus	27
5.2.2 Isolerad byggnad	28
5.3 Tidigare studier	34
6. Diskussion	36
6.1 Energibehovet	36
6.2 Förbättringspotential	38
6.3 Tidigare studier	39
6.4 Metoddiskussion	40

7. Slutsats

42

Fortsatta studier

Referenser

Appendix 1 – Data från SMHI/SLU

Figurförteckning

Figur 1. En schematisk bild som visar flödet av näringsämnet kväve i ett akvaponiskt system. Figuren visar hur flödet går från avfallsvatten från fisken genom två steg av biologisk nedbrytning till nitrat som sedan tas hand om av växten och rent vatten åker tillbaka till fisken.....	5
Figur 2 – Figuren visar deep water culture (DWC), en hydroponisk odlingsmetod där växtens rötter är nedsänkta i vatten.	5
Figur 3 – En skiss över anläggningen sett från kortsidan på byggnaden, mått angivna i [m].	11
Figur 4 – En skiss över odlingsdelen i anläggningen sett ovanifrån, mått angivna i [m]	11
Figur 5 – Visar hur väggkonstruktionen ser ut med sina tre lager av betong och cellplast. Bilden är från Johannas stadsodlingar	12
Figur 6 – 3D-skiss över hela anläggningen. Visar hur anläggningen är tänkt att se ut, vissa variationer mot verkligheten kan uppstå.....	13
Figur 7 – Antal studier med ”aquaponics” som ämne från år 2010 till maj 2019. Detta avser studier med ”aquaponics” i titeln eller som nyckelord.....	16
Figur 8 – Visar hur uppvärmningsbehovet förhåller sig till utomhustemperaturen. Det som ses är att de följer varandra med en inverterad trend, när temperaturen ökar då minskar uppvärmningsbehovet.	22
Figur 9 – Energibehov helår. Figuren är en visualisering av Tabell 10.....	23
Figur 10 - Procentuell Fördelning för isolerad byggnad. Visar den procentuella storleken på de olika energiflödena för den isolerade byggnaden över ett år.....	24
Figur 11 – Procentuell fördelning för växthuset. Visar den procentuella storleken på de olika energiflödena för växthuset över ett år	24
Figur 12 – Uppvärmnings och kylbehovet för respektive årstid för både den isolerade byggnaden och växthuset.....	26
Figur 13 – Procentuell fördelning för den isolerade byggnaden. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för den isolerade byggnaden	27
Figur 14 – Procentuell fördelning för växthuset. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för växthuset.....	27
Figur 15 – En visualisering av förbättringspotentialen för den isolerade byggnaden och växthuset enligt Tabell 16 och 17	29
Figur 16 –Elförbrukning helår. Figuren är en visualisering av Tabell 18 och visar på hur storleken av flödena skiljer sig åt.....	30
Figur 17 – Procentuell fördelning för isolerad byggnad. Visar den procentuella storleken på elförbrukningen för de olika flödena hos den isolerade byggnaden över ett år	31

Figur 18 – Procentuell fördelning för isolerad byggnad. Visar den procentuella storleken på elförbrukningen för de olika flödena hos växthuset över ett år.....	31
Figur 19 – De olika flödena för respektive årstid för både den isolerade byggnaden och växthuset. En visualisering av Tabell 19 och 20	32
Figur 20 – Procentuell fördelning av elförbrukningen över årstiderna för den isolerade byggnaden. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för den isolerade byggnaden.....	33
Figur 21 – Procentuell fördelning av elförbrukningen över årstiderna för växthuset. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för den isolerade byggnaden	33
Figur 22 – Visar hur de olika förbättringsförslagen påverkar elförbrukningen hos de två byggnaderna. Bygger på Tabell 21	34

Tabellförteckning

Tabell 1 – Visar två verkningsgrader (coefficient of performance, COP). En för uppvärmning och en för kylning. Dessa är baserade på en sammanställning av geotermiska uppvärmnings-/kylanläggningar av Thuresson (2014).....	6
Tabell 2 – Värmekonduktivitet och U-värde för byggnadsmaterialen.....	6
Tabell 3 – Medeltemperatur för de olika årstiderna baserad på referensperioden 1961–1990 i Stockholm (Stockholms Stad, 2019). Årstiderna baseras på kalenderdefinitionen.....	10
Tabell 4 - Visar arean på respektive konstruktionsdel i byggnaden.....	12
Tabell 5 – Visar tjockleken på de tre lagren i väggkonstruktionen och golvkonstruktionen samt vilket material de består av	13
Tabell 6 – Lista över utrustningen med dess effekt och drivrutin.	14
Tabell 7 – Visar de använda ventilationsflödena inom anläggningen. Den styrda ventilationen är baserad på två luftomsättningar i timmen (Buffington, Buckling, m.fl, 2016) och den ofrivilliga utgår en tiondel av det styrda (Wickman, 2010)	14
Tabell 8 – Beskriver vilka skillnader och likheter som det finns mellan de två byggnaderna	15
Tabell 9 – Drivrutiner för belysningen för växthuset för varje årstid.	20
Tabell 10 – Årligt behov. Tabellen visar det årliga behovet för de två byggnaderna, dels för varje energiflöde dels som en total summa.	23
Tabell 11 – Jämförelse mellan de två byggnaderna. Tabellen visar hur många gånger större eller mindre energiflödet hos växthuset är i jämförelse med den isolerade byggnaden. I jämförelsen är den isolerade byggnaden basen.....	23
Tabell 12 – Årstidernas energibehov för isolerad byggnad. Tabellen visar hur energiflödena skiljer sig åt under årstiderna för den isolerade byggnaden	25
Tabell 13 – Årstidernas energibehov för växthuset. Tabellen visar hur energiflödena skiljer sig åt under årstiderna för växthuset.....	25
Tabell 14 – Elförbrukningen till utrustningen för den isolerade byggnaden uppdelad på de olika komponenterna i systemet.....	25
Tabell 15 - Elförbrukningen till utrustningen för växthuset uppdelad på de olika komponenterna i systemet samt för varje säsong.	26
Tabell 16 – Energibesparingspotential hos växthuset genom att installera 2-skiktglas och/eller skuggväv. *Potential besparing berör endast uppvärmnings och kylbehovet	28
Tabell 17 – Den potential en solcellsinstallation har för att minska inköpet av elektricitet. *Potentiell besparing rör endast elförbrukningen för utrustningen.	28
Tabell 18 – Årlig elförbrukning. Tabellen visar den årliga elförbrukningen för de två byggnaderna, dels för varje flöde dels som en total summa.....	30

Tabell 19 - Årstidernas elförbrukning för den isolerade byggnaden. Tabellen visar hur elförbrukningen skiljer sig åt under årstiderna för den isolerade byggnaden för respektive flöde	32
Tabell 20 – Årstidernas elförbrukning för växthuset. Tabellen visar hur elförbrukningen skiljer sig åt under årstiderna för den isolerade byggnaden för respektive flöde	32
Tabell 21 – Visar hur de olika förbättringsförslagen påverkar den totala elförbrukningen....	34
Tabell 22 – En sammanställning av tidigare studier	35

Nomenklatur

<i>Beteckning</i>	<i>Förklaring</i>	<i>Enhet</i>
A	<i>Area</i>	$[m]$
λ	<i>Värmekonduktivitet</i>	$[W/(m \cdot K)]$
T_i	<i>Temperatur inne</i>	$[C^\circ]$
T_u	<i>Temperatur ute</i>	$[C^\circ]$
ρ	<i>densitet luft</i>	$[kg/m^3]$
c_p	<i>specifik värmekapacitet luft</i>	$[kJ/(kg \cdot K)]$
q_v	<i>styrt ventilationsflöde</i>	$[m^3/s]$
q_{ov}	<i>ofrivilligt ventilationsflöde</i>	$[m^3/s]$
d	<i>Tjocklek</i>	$[m]$
I_o	<i>Dagligt medelvärde av solinstrålning</i>	$[W/m^2]$
η_s	<i>Omvandlingsfaktor solinstrålning till nyttig värme i ett växthus</i>	$[-]$

1. Inledning

Befolkningen inom Sverige och världen kommer att fortsätta att öka, till 2050 uppskattas befolkningen i världen att öka med 2.2 miljarder (United Nations, 2017). Detta innebär att världens matproduktion behöver klara av en ökning på 2.2 miljarder personer. Samtidigt som detta sker behöver matproduktionens klimatpåverkan minska för att vara hållbart för miljön, redan idag använder människan mer resurser än vad jorden klarar av att producera under ett år (Overshoot Day, 2019). Här skapas ett behov på ny teknik och nya sätt att odla mat för att tackla dilemmat, ökad matproduktion men minskad klimatpåverkan.

Idag finns det en matproduktion som inte är beroende av vad länder själv klarar av att producera utan bygger på ett system av export och import. Exempelvis så står USA för en tredjedel av världens majsproduktion (USDA, 2019). Ett sådant system ökar mängden transporter mellan länderna samtidigt som det bidrar till att olika livsmedel finns i butiken året om. Det här blir tydligt i länder inom Norden då de själva har begränsade möjligheter att odla alla typer av grönsaker. Sverige importerade under 2016 i snitt 60% av alla grönsaker och i vissa perioder 100% av alla grönsaker (Jordbruksverket, 2016). Teknik som kan bidra till den hållbara utvecklingen inte bara av miljömässiga skäl utan också för att öka självförsörjningen av matproduktionen, blir ett större faktum.

Det finns även ett behov av hållbart odlade proteinkällor, FN:S livsmedels- och jordbruksorganisation, FAO, (2018) visar att konsumtion av fisk har dubblerats till 20,2 kg/person per år mellan perioden 1961 och 2015. Den här trenden innebär en påfrestning på fiskbestånden, där många av världens fiskbestånd är överbelastade och vissa fall har i vissa fall lett till utfiskning (FAO 2018). Istället har akvakultur, odling av fisk, blivit vanligare och under 2016 var 47 % av all fisk för matändamål odlad med hjälp av akvakultur. Akvakultur ger möjligheten att under kontrollerade former odla fisk men när fisk odlas i bassänger byggs det upp höga halter av näringsämnen, från kväveöverskott hos fisken och dess avföring, som kan bli skadliga för fisken om de inte tas hand om. Därför skapas det en stor mängd näringsrikt avloppsvatten, som behöver renas (FAO, 2018). Det här ses som en av de mest negativa aspekterna med akvakultur. Förutom fiskkonsumtion har FAO ökat grönsakskonsumtion som ett av sina fokusområden (FAO 2018). Jordbruket har i sin tur ett problem med sitt behov av att ständigt gödsla åkermark i stora mängder (FAO, 2017) . Detta för att förse odlingen och jorden med tillräckligt med näring vilket i sin tur kan läcka ut i naturen och då leder till eutrofiering. Även nyare teknik där man odlar utan jord, hydroponik, har samma problem med att näring måste tillföras som sedan kan läcka ut i naturen om vattnet inte renas. I Sydkorea är hydroponik en av de största utsläppskällorna till fosfat och nitrat (Lee, m.fl., 2018).

För att skapa mer cirkulära och slutna flöden har tekniken akvaponi börjat användas. Den här tekniken tar problemen med akvakultur och jordbruk och sluter dem i ett system. Akvaponi, även kallat kretsloppsodling, använder sig av det näringsrika vattnet från fiskodlingen som gödning till växtodlingen. Systemet kompletteras med ett biologiskt filter i form av biobäddar (bakterier) som hjälper till att omvandla det näringsrika vattnet till lättillgängliga näringsämnen. Genom att använda sig av detta system sluts kretsloppet av näringsämnen mellan dessa två odlingar. En annan fördel är att när de två systemen, fisk- och växtodling kopplas ihop försvårar det användningen av insektsmedel till växtodlingen och kemiska substanser till fiskodlingen då det kan ge en skadlig inverkan på den andra odlingen (Blidariu & Grozea, 2011).

1.1 Akvaponi

I en enkätundersökning av Love m.fl (2014) framgår det att 45% av 809 undersökta akvaponiska system använde sig av ett växthus som lokal för odlingen jämfört med 28% hade inomhusodling. Ca 80% av de undersökta systemen var egendesignade. Att den större delen av system är egendesignade gör att systemens uppbyggnad varierar beroende på vem som har designat systemet. Samtidigt kommer Villarroel m.fl.(2016) fram till i deras studie att 75% av 68 undersökta anläggningarna i Europa är byggda efter 2010. Även om akvaponi som tekniskt system har funnits sedan 1980 talet (Martin, 2017) är det tydligt att det inte är förrän på senare år som det börjar bli en teknik som kan komma att få betydelse för framtida matproduktion.

Tidigare studier på akvaponiska system visar på att energianvändningen är en av de faktorer som bidrar mest till en negativ klimatpåverkan. Forchino (2018) analyserade konstanter för akvaponiska system och visade att energianvändningen påverkade både den miljömässiga och ekonomiska lönsamheten. När det kommer till länder i Norden är det till och med avgörande för om det är realiserbart, Martin (2017) visade att kostnaden för elektricitet var för hög för att ett akvaponiskt systemet i norra Finland skulle vara lönsamt. Detta en följd av det lägre antalet soltimmar vid nordligare breddgrader vilket ökade behovet av artificiell belysning. Akvaponi har en fördel med att det går att skapa ett inomhusklimat som är oberoende av klimatet utanför systemet. Dock konstaterar Youngwoon (2018) att energianvändningen varierar med klimatet. Eftersom vinterhalvåret har ett större behov av uppvärmning.

Love, Uhl, & Genello (2015) bekräftar att det finns ett behov på studier som jämför för- och nackdelar på att ha ett akvaponiskt system inne i en isolerad byggnad jämfört med ett växthus i kallare klimat. Akvaponi i Norden präglas av andra problem än i länder där det finns en säker tillgång på solenergi större delar av året och en jämnare temperatur året om. Därför är klimatskalet en viktig aspekt i att skapa energisnåla akvaponiska odlingar. Akvaponi är en ny teknik för det svenska klimatet och kan vara en del av den hållbara matproduktionen men för att de ska ske behöver dess energibalans ses över.

1.2 Syfte

I den här studien kommer energibalansen på en akvaponiodling hos Johannes Stadsodlingar att studeras. Deras system kommer att fungera som utgångspunkt för jämförelsen inom studien. En del av rapportens syfte är att skapa en förståelse för hur energibalansen inom akvaponi kan se ut i Sverige. Med det här som grund kommer en jämförelse av två klimatskal att göras, mellan ett växthus och en isolerad byggnad. Där syftet med jämförelsen är att sätta valet i förhållande till hur det påverkar energibalansen och vilka för- och nackdelar de två klimatskalen har.

1.3 Frågeställning

Nedan har tre frågeställningar tagits fram för att bryta ned syftet:

- Hur ser energiflödet ut hos Johannes Stadsodlingar?
- Hur påverkar klimatskalet för ett växthus och en isolerad byggnad energibalansen hos ett akvaponiskt odlingssystem?
- Vilka förändringar på klimatskalet kan minska energianvändningen för ett akvaponiskt odlingssystem?

1.4 Avgränsningar till systemet

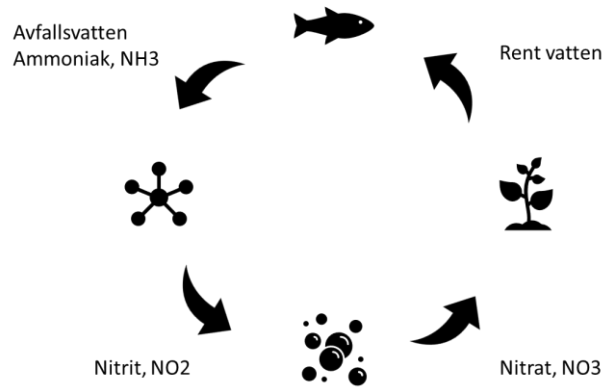
Studien kommer att avgränsas till att fokusera på tre energiflöden (uppvärmning, kylning och elförbrukning till utrustning) inom de två klimatskalen, inom dessa flöden fokuseras det på skillnaderna. Detta för att de två klimatskalen har samma struktur som gör att delar av energiflödena är den samma. Exempelvis uppvärmning av vatten då båda kommer ha samma mängd vatten som cirkulerar och samma uppvärmning av vattnet. Eftersom dessa saker inte tas med i rapporten är det som beskrivs som energibehov inte det faktiska energibehovet även om det i rapporten kommer att hänvisas som totalt energibehov. Det som jämförs är deras energibehov samt hur energianvändningen skulle se ut om uppvärmningen och kylningen baserades på elförsörjda system.

2. Teori

2.1 Akvaponi

Akvaponi bygger på att sluta kretsloppet av näringsämnen. När gälarna hos fiskarna syresätter blodet bildas det ammoniak som restprodukt, vilket i höga halter kan vara skadligt för fisken i fiskodlingen. Därför behöver vattnet föras bort och fyllas på med rent vatten för att ta hand om detta. Mikroorganismer kan ta vara på ammoniak i restvattnet genom att omvandla det till nitrit och sedan till nitrat. Växterna kan sedan använda sig av nitraten som näring i sin tillväxt, vilket också gör att halterna av nitrat sänks och renar vattnet som kan återanvändas i fiskodlingen. För att ta tillvara på flödet av näringsämnen och vattnet kopplas fiskodlingen, mikroorganismer och växtodlingen ihop till ett system, vilket kan ses i Figur 1. En studie från Kalifornien visar på att akvaponiska odlingar har en vattenanvändning som är upp till 66 gånger lägre än en traditionell odling (odling i åkermark) och att det är en jämnare näringsbalans i ett akvaponiskt system (Van Ginkel, Igou, & Chen, 2017). I akvaponiska system är det vatten som är bäraren av näringsämnen och det som cirkulerar i systemet. Till skillnad från traditionell odling där vatten och näringsämnen kommer i omgångar. Även om akvaponi sluter kretslopp är det inte till hundra procent ett cirkulärt system, då det behövs inmatning av vatten för att kompensera för det som avdunstar i systemet och att fiskarna behöver foder till dess odling. Till systemet kommer det också in fiskyngel och fröplantor som sedan lämnar systemet när de är klara för försäljning.

Produktiviteten per areal är 10 gånger högre hos akvaponi än traditionell odling (W. Van Ginkel, Igou, & Chen, 2017). Akvaponi gör det möjligt att odla utan åkermark och är därför inte geografiskt bunden utifrån den aspekten. Genom att ha en högre produktivitet och inte vara geografiskt bunden ger det en flexibilitet i var en anläggning kan byggas. Men det som kan begränsa var en anläggning kan byggas är kopplat till energianvändningen. Exempelvis är det inte lönsamt att driva en akvaponisk anläggning i norra Finland då energianvändningen kopplad till växtbelysning blev en större utgift än inkomsterna (Martin, 2017). Akvaponi kan användas i både växthus och inomhusodling, båda skapar ett system där klimatet i odlingen skiljer sig från det som råder utomhus. I en inomhusodling är klimatet inne i systemet helt fränkopplat från det yttre klimatet. För att hålla det önskade klimatet behövs det uppvärmning/kyla och för att kompensera för solstrålningen behövs växtbelysning.



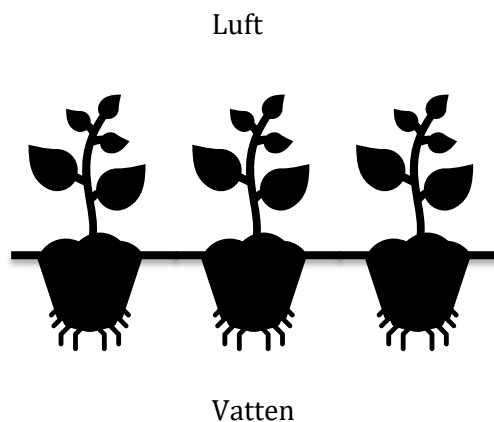
Figur 1. En schematisk bild som visar flödet av näringsämnet kväve i ett akvaponiskt system. Figuren visar hur flödet går från avfallsvatten från fisken genom två steg av biologisk nedbrytning till nitrat som sedan tas hand om av växten och rent vatten åter till fisken.

2.1.1 Odlingsteknik inom akvaponi

Nedan beskrivs en metod för växtodling och en metod för fiskodling som tillsammans kopplas ihop för att skapa ett akvaponiskt system.

Deep water culture (DWC)

Deep water culture (DWC) är en metod för hydroponisk odling vilket är växtodling utan jord. Metoden bygger på att växtens rötter är helt nedsänkta under vattenytan, se Figur 2, och för att växten ska kunna växa ordentligt krävs det att vattnet som växten ligger i har en tillförsel av syre och näringsämnen. Det som är viktigt är att vattnet syresätts och att näringsbalansen hålls jämn hela tiden medan produktionen är igång. Detta sker vanligtvis i en bassäng, eller vid mindre anläggningar i enskilda tankar, där varje växt har en nätkruka som ligger i en flotte av frigolit. Det här går att göra både med recirkulerande vattenflöde och i enskilda tankar. Med denna metod får växterna konstant tillgång till näring och syre genom rötterna och kan därför fokusera på att växa. (Green and Vibrant, 2019)



Figur 2 – Figuren visar deep water culture (DWC), en hydroponisk odlingsmetod där växtens rötter är nedsänkta i vatten.

Recirculating aquaculture system (RAS)

Recirculating aquaculture system, RAS, är en metod för landbaserad fiskodling (FAO, 2015). I systemet recirkulerar vattnet konstant mellan fisktanken. Vattnet passerar mekanisk rening och biologisk rening för att sedan syresättas innan det kommer tillbaka till fisktanken. Den mekaniska reningen består av ett trumfilter som tar hand om organiska och solida restprodukter medan den biologiska reningen tar bort ammoniak med hjälp av mikroorganismer som utför nitrifiering av ammoniak (FAO, 2015).

2.2 Värmeöverföring

2.2.1 Klimatskal

Klimatskalet är det som skiljer inomhusklimatet från utomhusklimatet (Abel & Elmroth, 2012). Detta är allt från tak, väggar, fönster och dörrar. Syftet med klimatskalet är att hjälpa till att kompensera för när utomhusklimatet inte är detsamma som det önskade inomhusklimatet. Klimatskalet har en direkt påverkan hos byggnadens uppvärmningsbehov då konstruktionen och valet av material påverkar hur värmeöverföringen ser ut genom klimatskalet (Hagentoft, 2001). Abel & Elmroth (2012) beskriver att i lokalbyggnader utgörs normalt mer än 90 % av värmeströmningen som en följd av klimatskalet. Det är viktigt att designa byggnaden utifrån sitt behov och verksamhet för att kunna minska behovet av komplicerade uppvärmningssystem (Abel & Elmroth, 2012). När det kommer till kylsystem är de oftast mer komplicerade eftersom det är tekniskt enklare att tillföra värme än att kyla, se Tabell 1 för olika verkningsgrader. (Abel & Elmroth, 2012). Konstruktionen av klimatskalet påverkar genom att exempelvis ha olika skikt av material i väggkonstruktionen. En väggkonstruktion kan till exempel vara en kombination av betong, isoleringsmaterial och en träpanel eller enbart betong (Abel & Elmroth, 2012). På samma sätt spelar fönstrens placering roll och dess förhållande till solens läge. Olika material är olika bra på att leda värme. Ett materials värmeledningsförmåga kallas värmekonduktivitet och benämns λ , där ett lägre värde innebär högre isoleringsförmåga (sämre värmeledning). Se Tabell 2 för värmekonduktiviteten över materialen (Jernkontoret, 2019). Detta kommer att påverka hur uppvärmningsbehovet ser ut i byggnaden.

Tabell 1 – Visar två verkningsgrader (coefficient of performance, COP). En för uppvärmning och en för kylning. Dessa är baserade på en sammanställning av geotermiska uppvärmnings-/kylanläggningar av Thuresson (2014).

Verkningsgrad	
COP _{uppvärmning}	4,5
COP _{kylning}	2,5

Tabell 2 – Värmekonduktivitet och U-värde för byggnadsmaterialen

Material	Värmekonduktivitet [W/m.K]	U-värde [W/m ² .K]
Betong	1,7	-
Cellplast	0,037	-
Glas*	-	7
Trä	0,14	-

*Glas kommer i en standardiserad tjocklek vilket medför att U-värdet är direkt angivet. Medan de andra U-värden beror på tjockleken, enligt Formel 2.

2.2.2 Värmeöverföring

De faktorer som i princip driver all värmeöverföring inom byggnader är skillnader i temperatur, lufttryck och fuktförhållande (Hagentoft, 2001). Det här i kombination med materialets egenskaper bestämmer hur värmeöverföringen kommer att se ut. Exempelvis kan en tryckskillnad göra att luft rör sig mellan två områden och då kan både värme och fukt följa med. Värmeöverföring inom byggnader kan ses som överföring av värme från ett område till ett annat som resultat av en temperaturskillnad, vilket kan ske på tre olika sätt (Hagentoft, 2001):

Konduktion – Konduktion är att molekyler, utan att själva förflyttas, överför energi. Också kallat värmeledning.

Strålning – Alla kroppar avger värmestrålning. Strålningen mellan kroppar sker konstant och är ett resultat av kropparnas temperaturskillnad.

Konvektion – Värmeöverföring genom konvektion beror på flödet av en fluid. Där en varmare fluid överför värme när den strömmar förbi. Detta kan ses mellan fluider men också mellan fluid och solida material. I en byggnad är fluiden oftast luft eller i vissa fall vatten/fukt.

Värmeöverföring genom klimatskalet kan sammanfattas med tre begrepp:

Transmission, värmeöverföring genom solida konstruktioner. Vilket kan beräknas med (Hagentoft, 2001):

	$Q_t = U * A * (T_i - T_u)$	[W]	Formel 1
A	Area	[m ²]	
U	Värme genomgångstal	[W/Km ²]	
T _i	Temperatur inne	[C°]	
T _u	Temperatur ute	[C°]	

Det totala U-värdet kan beräknas med (Hagentoft, 2001):

$$U = \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots} \quad [\text{W/Km}^2] \quad \text{Formel 2}$$

(1,2 ... representerar de olika lagren i en vägg)

λ	Värmeledningsförmåga	[W/(m · K)]
d	Tjocklek	[m]

Ventilation Genom ventilationen kan värme transporteras. Detta kan ske frivilligt, genom styrd ventilation eller ofrivilligt, genom läckage. Ventilationsförluster kan beräknas med (Hagentoft, 2001):

	$Q_v = \rho * c_p * q_v(T_i - T_u)$	[W]	<i>Formel 3</i>
	$Q_{ov} = \rho * c_p * q_{ov}(T_i - T_u)$	[W]	<i>Formel 4</i>
T_i	<i>Temperatur inne</i>	[C°]	
T_u	<i>Temperatur ute</i>	[C°]	
ρ	<i>densitet luft</i>	[kg/m ³]	
c_p	<i>specifik värmekapacitet luft</i>	[kJ/(kg · K)]	
q_v	<i>styrt ventilationsflöde</i>	[m ³ /s]	
q_{ov}	<i>ofrivilligt ventilationsflöde</i>	[m ³ /s]	

Solinstrålning är den värmeöverföring som sker genom växthus som följd av solens instrålning. Solinstrålningens bidrag kan beräknas med (Canakcia, Emekli, Bilgina, & Caglayan, 2013):

	$Q_{sol} = I_o * A * \eta_s$	[W]	<i>Formel 5</i>
A	<i>Area</i>	[m]	
I_o	<i>Dagligt medelvärde av solinstrålning</i>	[W/m ²]	
η_s	<i>Omvandlingsfaktor solinstrålning till nyttig värme i ett växthus</i>	[-]	

Förutom den värmeöverföring som sker genom klimatskalet kommer det också att genereras värme inom klimatskalet som följd av den aktivitet som finns där inom. Exempelvis genererar belysningen värme genom att vara aktiva. Tillskottet kan beräknas genom (Dahlblom & Warfvinge, 2010):

$$Q_{tillskott} = \sum \text{intern genererad värme} \quad [W] \quad \text{Formel 6}$$

Den elförbrukning som utrustningen använder går att räkna ut genom:

$$E_{el,tot} = \sum E_{el,i} = \sum (P_i * T_i) \quad [Wh] \quad \text{Formel 7}$$

Där i representerar respektive komponent i utrustning

P	Effekt	[W]
T	Tid	[h]

För att räkna ut elförbrukningen för uppvärmningen och kylningen används formeln nedan:

$$E_{el,uppvärmning/kylning} = \frac{\text{energibehov}}{\text{Verkningsgrad}} \quad [Wh] \quad \text{Formel 8}$$

2.2.3 Energibalans

Termodynamikens första huvudsats innebär att energi inte kan förstöras eller skapas utan kan bara omvandlas från en form till en annan form. Med hjälp av detta går det att sätta upp en energibalans för byggnaden (Hagentoft, 2001). Energibalansen inom en byggnad påverkas av olika aspekter. Det som påverkar är ventilationen, klimatskalet, solinstrålning och den tillskottsvärme som produceras i systemet och stödprocesserna (Dahlblom & Warfvinge, 2010). Det totala värmebehovet kan beskrivas som skillnaden mellan det som behöver uppvärmning och det som bidrar med värme. När det är i obalans är det den värme eller kyla som behöver tillföras till systemet som fås ut av energibalansen (Hagentoft, 2001). Detta kan ses i Formel 8 (Dahlblom & Warfvinge, 2010).

$$Q_{tot} = Q_v + Q_{ov} + Q_t - Q_{tillskott} - Q_{sol} \quad [W] \quad \text{Formel 8}$$

2.2.4 Svenskt klimat

Eftersom värmeöverföringen beror på temperaturskillnader kommer det svenska klimatet att spela en stor roll för uppvärmningsbehovet. Sverige består av ett tempererat fuktigt klimat men klimatet skiljer sig också från de södra delarna till de norra delarna (Nationalencyklopedin, 2019). De utbredda västliga vindarna tar med sig fukt och värme som breder ut sig över landet. Dessa vindar bidrar till växlingar i väderleksförhållande från dag till dag och år till år. Skillnad på klimat och väder är att klimat är en sammanställning av vädrets långsiktiga effekter och egenskaper. Det svenska klimatet kan delas in i fyra årstider, där finns både en meteorologisk definition och en kalendarisk definition (SMHI, 2018). Den meteorologiska definitionen baseras på temperaturförhållanden och den kalendariska

definitionen baseras på kalendern. Enligt den kalendariska definitionen är vår under mars-maj, sommar under juni-augusti, höst under september-november och vinter under december-februari. Att årstider existerar har att göra med jordaxelns lutning då avståndet till solen varierar med året och därefter årstiderna (SMHI, 2018). När solen står närmare jorden blir det varmare temperaturer och sommar kommer medan det är omvänt under vintern, i Tabell 3 ses hur medeltemperaturen skiljer sig för de olika årstiderna.

Tabell 3 – Medeltemperatur för de olika årstiderna baserad på referensperioden 1961–1990 i Stockholm (Stockholms Stad, 2019). Årstiderna baseras på kalenderdefinitionen.

Årstid	Månader	Medeltemperatur [C°]
Vår	mars-maj	5,1
Sommar	juni-augusti	16,3
Höst	september-november	7,3
Vinter	december-februari	-2,3

Marktemperatur

Temperaturen i luften skiljer sig från temperaturen i marken (Nationalencyklopedin, 2018). Marktemperaturen har ett cykliskt variationsmönster som beror på förhållande mellan luft och mark samt markens sammansättning. Där marken värms upp av luften som skapar en förskjuten temperaturfördelning över året jämför med lufttemperaturen. Det är under våren och sommaren som temperaturen i marken ökar, värme lagras för att sedan under höst och vinter frigöras. Under vintern kan temperaturen i marken vara högre än i luften. Det sker en med andra ord en fasförskjutning mellan temperaturen mellan temperaturen i luften och marken (Nationalencyklopedin, 2018). Markens temperatur beror inte bara på luftens temperatur utan även djupet, ju längre ner i marken desto mindre påverkas marktemperaturen av lufttemperaturen.

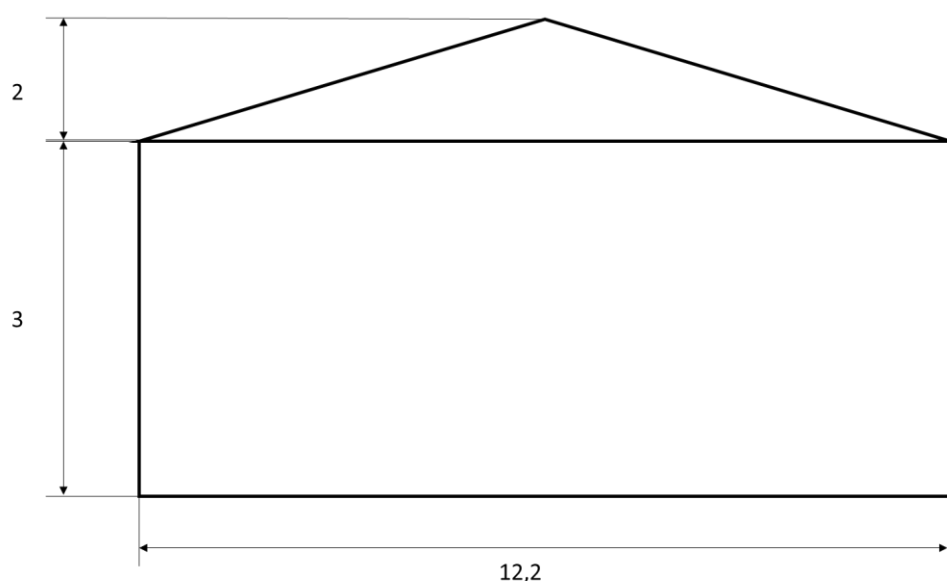
3. Johannas stadsodlingar

Johannas stadsodlingar är ett nystartat akvaponi-företag i norra Stockholm och deras första anläggning har, under studiens gång, varit under konstruktion. Den här rapporten är en del av ett Vinnova-projekt inom framtidens jordbruk med akvaponi och digitalisering av jordbruk.

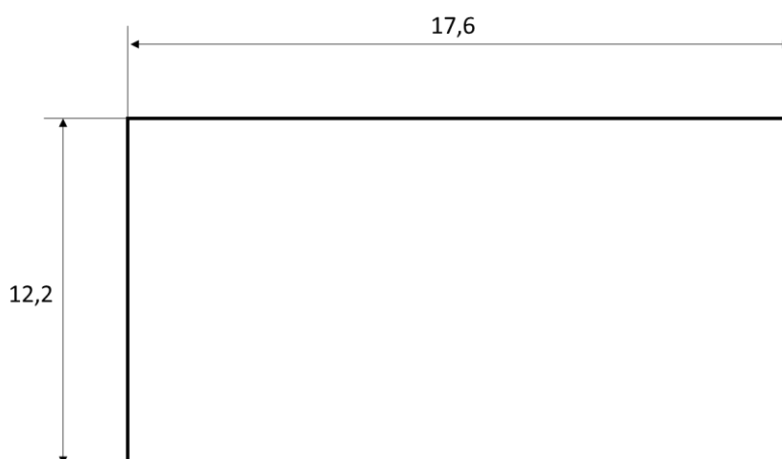
Johannas Stadsodlingar använder sig av ett system som bygger på en typ av anläggning i som används i Kanada och som kallas för raincoast aquaponics (RCA) som i sin tur använder sig av DWC-system för växtodlingen i kombination med ett RAS-system för fiskodlingen.

Lokalen som används är en gammal ladugård, se Figur 3 och Figur 4 för dimensionerna på anläggningen. I byggnaden finns det plats för kyl samt förvaring, paketering och en sticklingsodling. Den planerade produktionen kommer att bestå av fisk, *Oncorhynchus mykiss*, (laxfisk - regnbåge) vilket är ett rovdjur och olika typer av bladsallader.

Lönsamheten ligger i försäljningen av växter som förväntas bidra med ca 80% av inkomsten.



Figur 3 – En skiss över anläggningen sett från kortsidan på byggnaden, mått angivna i [m]



Figur 4 – En skiss över odlingsdelen i anläggningen sett ovanifrån, mått angivna i [m]

Utifrån skissen har anläggningens area räknats ut och delats in i olika konstruktionsdelar, vilket kan ses i Tabell 4

Tabell 4 - Visar arean på respektive konstruktionsdel i byggnaden

Konstruktionsdel	Area [m ²]	Antal
Yttervägg, kortsida	36,6	2
Yttervägg, långsida	53	2
Takpanel	113,4	2
Sidopanel	3,15	2
Golvyta	215,5	1

Väggkonstruktionen för den isolerade byggnaden kan ses i Figur 5 och förklaras ytterligare i Tabell 5. Den består av tre lager, där de två yttersta är av betong och lagret i mitten är av cellplast. Det är cellplasten som är isoleringen i väggkonstruktionen. Golvkonstruktionen är baserad på information om golvkonstruktioner (Husgrunder, 2019) och antas bestå av en betongplatta med två lager betong och ett lager cellplast mellan betongen för isolering. I Tabell 5 redovisas hur de olika lagren ser ut.

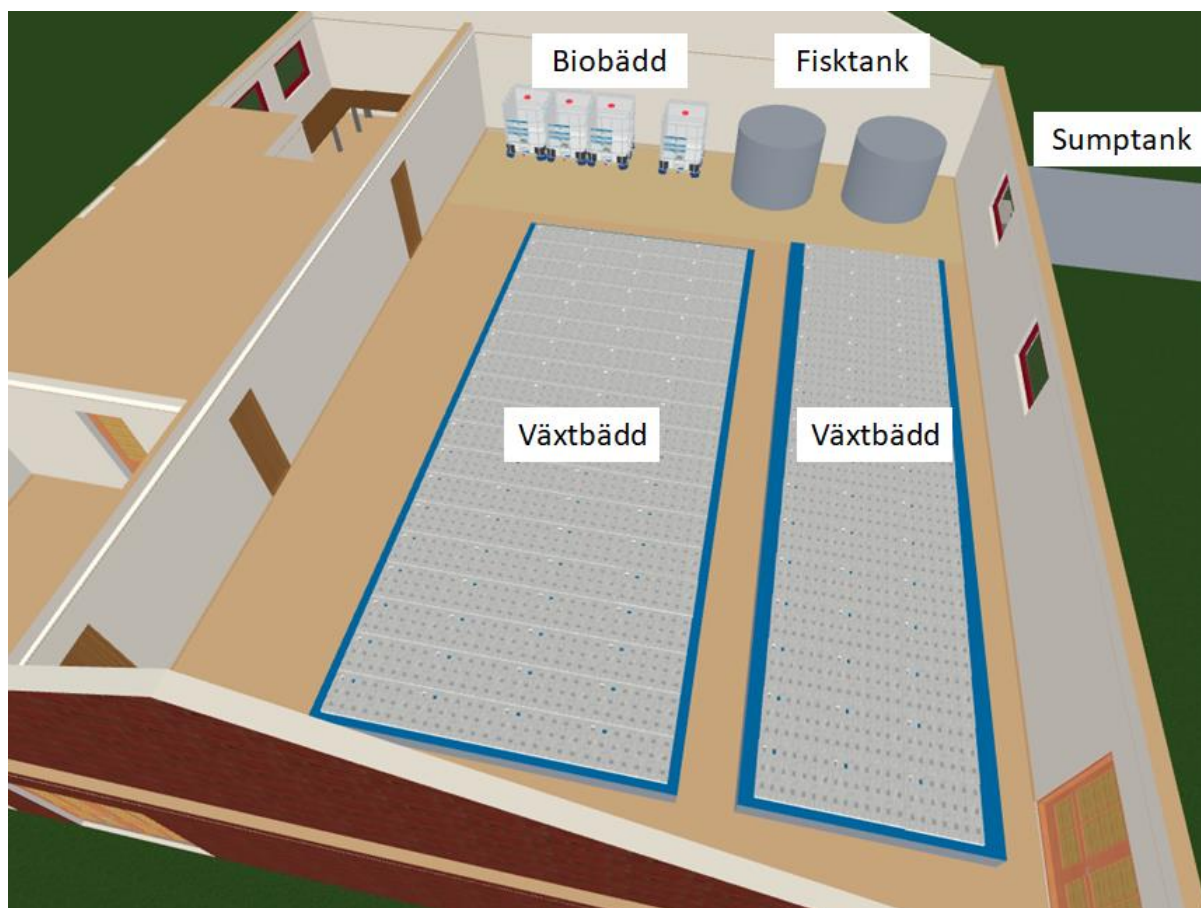


Figur 5 – Visar hur väggkonstruktionen ser ut med sina tre lager av betong och cellplast. Bilden är från Johannas stadsodlingar

Tabell 5 – Visar tjockleken på de tre lagren i väggkonstruktionen och golvkonstruktionen samt vilket material de består av

Konstruktion – isolerad vägg	Material	Tjocklek [cm]	Konstruktion – Golv	Material	Tjocklek [cm]
Lager 1	Betong	7	Lager 1	Betong	10
Lager 2	Cellplast	14	Lager 2	Cellplast	30
Lager 3	Betong	9	Lager 3	Betong	10

Den lägsta punkten i systemet är sumptanken, som fungerar som reservoar och startpunkt för vattenflödet. Från sumptanken pumpas vattnet upp till fisktanken och därefter börjar det falla fritt med hjälp av gravitationen. Vattnet som nu har gått igenom fiskodlingar och hämtat upp dess restprodukter åker till nästa tank där det finns biobäddar med mikroorganismer som står för omvandlingen av restprodukterna till näringsämnen för växterna, som är nästa steg i flödet. När vattnet passerat växterna är det renat och rinner tillbaka in i sumptanken. I sumptanken finns det en luftpump som syresätter vattnet innan det pumpas upp igen. Se Figur 6 för en skiss över anläggningen.



Figur 6 – 3D-skiss över hela anläggningen. Visar hur anläggningen är tänkt att se ut, vissa variationer mot verkligheten kan uppstå

Regnbåge har en odlingstemperatur mellan 10 och 20 grader med en optimal odlingstemperatur på 16 grader (Svenskt vattenbruk, 2019). Regnbåge beskrivs som en relativt lättodlad fisk. De olika bladsallader lämpar sig eftersom dess temperaturspann överlappar med regnbågens men salladen vill generellt ha en högre temperatur än regnbågen. Det här gör att den önskade temperaturen i lokalen kommer att ligga på 18 grader Celsius. Systemet består av fisktankar, växtbäddar, rör, belysning, olika typer av pumpar och filter. I Tabell 6 finns en sammanställning av den utrustning som använder elektricitet för att hålla igång systemet. Det visas i Tabell 7 hur ventilationen kopplad till anläggningen kommer att se ut.

Tabell 6 – Lista över utrustningen med dess effekt och drivrutin.

Funktion	Modell	Effekt [W]	Drift/dag [h]	Antal	Källa
Trumfilter	Trumlingsfilter Air-Aqua minidrum	600	24	1	(EMGES, 2019a)
Belysning	Greenpower LED, DR/W, MB HO	200 /per lampa	18	50	(Philips, 2019)
Luftpump	Luftpump VB- 390G	100	24	1	(Vattenliv, 2019)
Värmepump	AquaForte AQF 13	2360	24	1	(Aqua- Forte, 2019)
Vattenpump	Superfish Ecopond 8000 pump	80	24	1	(Absolute- Koi, 2019)
Filterpump	Sänkbar pump DM Vario 20.000	187	24	1	(EMGES, 2019b)

Tabell 7 – Visar de använda ventilationsflödena inom anläggningen. Den styrda ventilationen är baserad på två luftomsättningar i timmen (Buffington, Buckling, m.fl, 2016) och den ofrivilliga utgår en tiondel av det styrda (Wickman, 2010)

Ventilationsflöde	Flöde [m ³ /s]
Styrt ventilationsflöde	0,48
Ofrivilligt ventilationsflöde	0,048

Det är Johannas stadsodlingars anläggning som kommer att vara basen för båda byggnaderna men det kommer fortfarande uppstå vissa skillnader i hur de kommer se ut och hur de drivs. Därför visar Tabell 8 på vilka skillnader och likheter de har för att beskriva de två fallen.

Tabell 8 – Beskriver vilka skillnader och likheter som det finns mellan de två byggnaderna

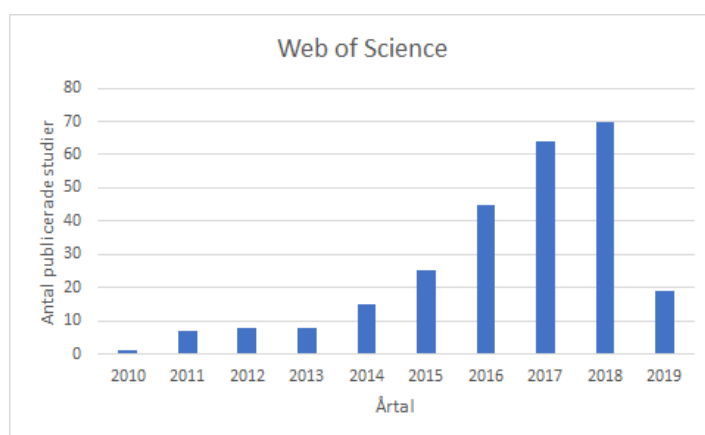
Parameter	Beskrivning
Dimensioner	Samma dimensioner för båda byggnaderna
Konstruktion	Olika material i konstruktionen
Solljus	Den isolerade byggnaden antas inte ha någon solinstrålning
Utrustning	Samma för båda byggnaderna
Belysning	Samma belysningsutrustning men olika drivrutiner
Ventilation	Samma för båda byggnaderna

4. Metod

4.1 Litteraturstudie

En litteraturstudie innebär att forskning och vetenskapliga artiklar granskas för att undersöka ett enskilt ämne eller flera ämnen samtidigt (Barajas, Forsberg, & Wengström, 2013). Det här görs för att skapa en bild av den de studier som finns och de resultat de har kommit fram till. När flera studier granskas samtidigt ges möjligheten att se kopplingar mellan dem och på så sätt öppna upp för nya perspektiv och infallsvinklar. Även när enskilda studier visar på resultat som skiljer sig ifrån varandra kan det granskas för att visa på tvetydigheter inom ämnet. Därför kan en litteraturstudie ses som en metod för att undersöka hur långt forskningen inom ett ämne har kommit och huruvida fler studier behövs för att dra mer konkreta resultat (Barajas, Forsberg, & Wengström, 2013). I den här rapporten användes litteraturstudien till att hitta ett kunskapsglapp i den forskning som berör akvaponi och för att lägga en teoretisk grund för rapporten samt som en metod för att jämföra de olika byggnaderna.

Litteraturstudien använder sig av sökmotorer så som Scopus, DiVA, Google Scholar och Linköpings universitetsbibliotek. Förutom att titta på studier som är direkt kopplade till akvaponik har även studier som har nyckelord som *inomhusodling*, *växthus*, *akvakultur*, *hydroponik*, *LCA-studier* och *byggnaders energisystem* använts samt deras engelska motsvarigheter. Som tidigare nämnt är många av dagens anläggningar nybyggda och för att hitta mer information om ämnet har även liknande miljöer undersökts så som akvakultur och hydroponik. Att akvaponi är ett relativt nytt ämne kan ses i den forskning som görs på akvaponi där merparten av studierna är publicerade efter 2015, se Figur 7. Även böcker inom byggnaders energisystem har använts för att förklara teorier om värmebehovet inom byggnader.



Figur 7 – Antal studier med "aquaponics" som ämne från år 2010 till maj 2019. Detta avser studier med "aquaponics" i titeln eller som nyckelord

4.2 Energiberäkningar

Här beskrivs genomförandet och hur teorin som presenterats i kapitel 2.2.2 *Värmeöverföring* applicerats för att beräkna energibehovet inom en byggnad. De delar som kommer att beräknas är transmission, ventilation, solinstrålning, tillskott och elförbrukning.

Data från SMHI

Både data till utomhustemperaturer och solinstrålning är hämtade från SMHI utifrån deras väderstation i Stockholm (SMHI, 2019) (SMHI, 2019). Studien bygger på data från år 2018, där det finns temperatur- och solstrålningsdata för 2018 på timbasis. Sedan har ett medelvärde för varje dag tagits fram utifrån datan och det är detta medelvärde som använts för beräkningarna. I studien kommer den kalendariska definitionen att användas för uppdelning av årstiderna. För marktemperaturen har data från SLU och Uppsala använts istället, utifrån den data har en linjär approximation på marktemperaturen gjorts för att få temperaturen för varje dag under ett år (SLU, 2019). Den data som används kan ses i appendix 1.

Transmission

För att räkna ut den totala värmeförlusten genom transmission har tak och väggar samt deras konstruktion undersökts. Det som har undersökts är arean, tjockleken och materialet. Första steget var att beräkna U-värdet med hjälp av Formel 2 som sedan används i Formel 1 för att få fram förlusten via transmission, vilket gjordes för varje byggnadsdel som sedan summerades till en total transmissionsförlust och för varje dag under ett år. För växthuset användes endast Formel 1 då U-värdet var givet från början.

Nedan visas hur uträkningen ser ut för 1/1–2018 som exempel för samtliga beräkningar:
Isolerad byggnad

$$U_{vägg} = \frac{1}{\frac{0,07}{1,7} + \frac{0,14}{0,037} + \frac{0,09}{1,7}} = 0,26 \quad [\text{W/Km}^2]$$
$$U_{tak} = \frac{1}{\frac{0,05}{0,14}} = 2,8$$
$$U_{golv} = \frac{1}{\frac{0,1}{1,7} + \frac{0,30}{0,037} + \frac{0,1}{1,7}} = 0,12$$

$$Q_{t,längsida} = 0,26 * 106 * (18 - 2) = 441 \quad [\text{W}]$$

$$Q_{t,kortsida} = 0,26 * 73,2 * (18 - 2) = 304,5$$

$$Q_{t,sidopanel} = 0,26 * 24,4 * (18 - 2) = 101,5$$

$$Q_{t,golv} = 0,12 * 215 * (18 - 5) = 335,4$$

$$Q_{t,tak} = 2,8 * 226,8 * (18 - 2) = 10160,6$$

$$Q_{total} = 11,3 \quad [\text{kW}]$$

$$[\text{kWh/dag}]$$

Växthus:

$$Q_{total} = 11,3 * 24 = 272,2$$

$$Q_{t,vägg} = 7 * 430,4 * (18 - 2) = 48204,5$$

$$Q_{t,golv} = 0,12 * 215 * (18 - 5) = 335,4 \quad [W]$$

$$Q_{total} = 48,5 \quad [kW]$$

$$Q_{total,dag} = 48,5 * 24 = 1164 \quad [kWh/dag]$$

Ventilationen

Uträkningarna för ventilationen baserades på Formel 3 för den styrda ventilationen och Formel 4 för den ofrivilliga ventilationsförlusten som båda gjordes för varje dag under ett år. Dessa uträkningar är samma för båda byggnaderna.

$$Q_v = 1,2 * 1000 * 0,48 * (18 - 2) = 9216 \quad [W]$$

$$Q_{ov} = 1,2 * 1000 * 0,048 * (18 - 2) = 921,6 \quad [W]$$

$$Q_{v+ov} = 10,1 \quad [kW]$$

$$Q_{v+ov,dag} = 10,1 * 24 = 243,3 \quad [kWh/dag]$$

Solinstrålningen

Med Formel 5 gavs solinstrålningen, vilket med given area och omvandlingsfaktor samt solinstrålningsdata från SMHI kunde beräknas. Den totala solinstrålningen för en dag fås genom att multiplicera Q_{sol} med antalet soltimmar för samma dygn. För den isolerade byggnaden har solinstrålningen inte beräknats då det inte har något insläpp av solljus.

$$Q_{sol} = 8,1 * 430,4 * 0,5 = 1,7 \quad [kW]$$

$$Q_{sol} = 1,7 * 7 = 11,9 \quad [kWh/dag]$$

Internt genererad värme

Det tillskott som uppstod i verksamheten har begränsats till den värme som genereras av belysningen, då majoriteten av elförbrukningen till utrustningen använts till belysningen. Tillskottet blir belysningens effekt multiplicerat med den verkningsgrad som blir till värme under belysningens drivrutin.

$$Q_{tillskott} = 10500 * 0,85 = 8925 \quad [W]$$

$$Q_{tillskott} = 8925 * 18 = 160,7 \quad [kWh/dygn]$$

Energibalansen

Energibalansen mellan det som är förluster och tillskott sätts upp. Där förlusterna är via transmission och ventilation medan tillskotten kommer från solinstrålning och den internt genererade värmen. Det här kommer antingen resultera i ett positivt resultat eller ett negativt, där ett positivt resultat ger upphov till ett uppvärmningsbehov och ett negativt resultat till ett kylbehov.

Isolerade byggnaden:

$$Q_{tot} = 243,3 + 264 - 160 = 347,3 \quad [\text{kW}]$$

Växthus:

$$Q_{tot} = 243,3 + 1177 - 160 - 11,9 = 1228,4 \quad [\text{kW}]$$

Elförbrukning

Elförbrukningen kommer att räknas ut med hjälp av information om den utrustning som kommer att finnas i systemet och Formel 7, se Tabell 6 för utrustningen som används. Nedan ses en uträkning för elförbrukningen för belysningen. Detta gjordes för all utrustning.

$$E_{el,belysning} = 200 * 18 * 50 = 10500 \quad [\text{Wh/dag}]$$

För omräkning av uppvärmnings- och kylbehov har verkningsgraderna i Tabell 1 använts i Formel 9. Detta gjordes både för det årliga energibehovet och energibehovet för varje årstid.

Isolerad byggnad:

$$E_{el,uppvärmning} = \frac{105029}{4,5} = 23340 \quad [\text{kWh/år}]$$
$$E_{el,kylning} = \frac{18498}{2,5} = 7023$$

Växthus:

$$E_{el,uppvärmning} = \frac{285974}{4,5} = 63550 \quad [\text{kWh/år}]$$
$$E_{el,kylning} = \frac{94261}{2,5} = 37704$$

4.3 Hur klimatskalen kommer att jämföras

För att göra jämförelsen mellan de två olika klimatskalen har vissa antaganden gjorts. Energiförbrukningen kommer att mätas i kWh och delas in i tre energiflöden; elförbrukningen för utrustningen, uppvärmningsbehovet och kylbehovet. Beräkningarna kommer också göras på helårsbasis och en uppdelning över årstiderna, detta för att se hur deras energianvändning skiljer sig mellan årstiderna samt för att kunna se styrkor och svagheter med de olika byggnaderna. Ett teoretiskt växthus kommer att konstrueras baserat på den isolerade byggnaden som finns som grund för projektet, vilket innebär att de båda klimatskalen kommer att vara identiska i sina dimensioner. Principen bygger på att byta ut den befintliga

byggnadens klimatskal mot en växthuskonstruktion bestående av enkelglas med en stomme av stål och spröjs av aluminium men att själva verksamheten är samma för båda.

Litteraturstudien i rapporten kommer att bidra till ett underlag för att se hur olika typer av växthustekniker kan reducera energibehovet för växthuset och hur solceller kan användas för att minska inköpet av elektricitet hos den isolerade byggnaden. För att undersöka isoleringens betydelse för energiflödet hos den isolerade byggnaden görs en känslighetsanalys på isoleringens tjocklek, där tjockleken kommer att ökas respektive minskas med 6 mm.

4.3.1 Komplettering av fallet – Johannes stadsodlingar

Belysning

För att göra beräkningar på elförbrukningen för belysningen har riktvärden för drivrutiner tagits fram för båda byggnaderna. Drivrutinen för belysningen i den isolerade byggnaden är satt till 18h/dag baserat på konventionell av och på schema i växthus för kompletterande belysning under vinterhalvåret (Pinho, m.fl., 2012). Drivrutinen för växthuset kommer att variera beroende på årstid för att klara av en ”året om”-odling, vilket redovisas i

Tabell 9 men mängden av utrustning för belysning är den samma. Drivrutinerna är baserade på en studie av med att passa in i av årstider. antas ha en värmeproduktion på 85 % av effekten (LEDs Magazine, 2005)

Tabell 9 – Drivrutiner för belysningen för växthuset för varje årstid.

Årstid	Månader	Antal timmar/dag [h]
Vår	mars-maj	10
Sommar	juni-augusti	0
Höst	september-november	5
Vinter	december-februari	18

4.3.1 Solcellsverktyg

För att räkna på den möjliga elproduktionen från en solcellsinstallation har två verktyg använts, vilka beskrivs nedan. I dessa verktyg har takarean satts till 100 m², att byggnaden är lokaliserad i Vallentuna och riktningen antas vara sydlig för att se på den största möjliga potentialen. Ett öst/väst riktat tak kan uppnå ungefär 80% av ett sydligt riktat tak (Solcellskollen, 2019).

Solcellskollen

Solcellskollen är ett verktyg för att ta fram en ungefärlig kalkyl på vad en solcellsinstallation kan generera (Solcellskollen, 2019). Beräkningarna baseras på data från SMHI, riktningen och lutning på taket, geografiskt läge, reflektionsförluster (vinkeln mellan solen och solcellen), temperaturförluster (solcellers verkningsgrad varierar med temperaturen), storleken på taket och förluster i systemet som antas till 14% (för att ta hänsyn till molnighet, smuts på solcellen och skuggning) (Solcellskollen, 2019). Verktöget fungerar som ett stegvis formulär där den efterfrågade informationen så som takarea, lutning på taket, geografiskt läge och uppskattat elförbrukning fylls i allt eftersom.

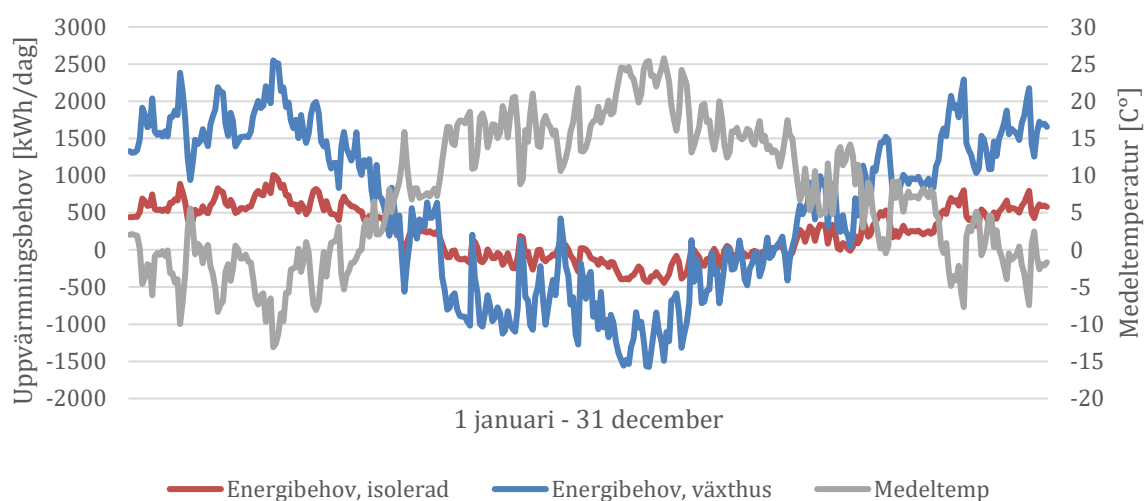
Vattenfall – Solcellsguiden

Solcellsguiden är ett verktyg för att ta fram en ungefärlig kalkyl på vad en solcellsinstallation kan generera (Vattenfall, 2019). Det som efterfrågas för att möjliggöra kalkylen är takarea, geografiskt läge, lutning och riktning på taket. Dock beskrivs det inte hur dessa beräkningar går till.

5. Resultat

5.1 Energibehovet

Värmeöverföringen är direkt påverkad av temperaturen, därför visar Figur 8 hur klimatskalen förhåller sig till varandra. Det kan ses att kurvan för både den isolerade byggnaden och växthuset följer medeltemperaturen med en inverterad trend, när temperaturen ökar så minskar uppvärmningsbehovet. Figur 8 visar på hur det dagliga energibehovet varierar över året och mellan årstiderna. Det visas också på att den isolerade byggnaden har en jämnare kurva, mindre svängningar och håller sig närmare mitten än kurvan för växthuset.



Figur 8 – Visar hur uppvärmningsbehovet förhåller sig till utomhustemperaturen. Det som ses är att de följer varandra med en inverterad trend, när temperaturen ökar då minskar uppvärmningsbehovet.

5.1.1 – Årligt energibehov

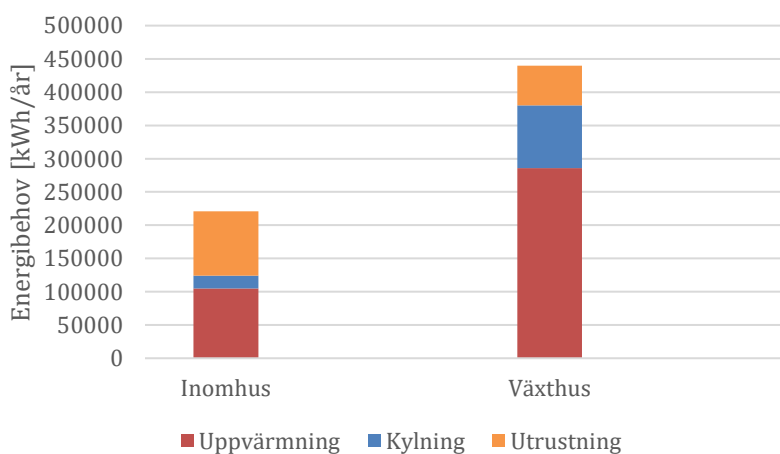
Det årliga energibehovet skiljer sig mellan den isolerade byggnaden och växthuset. Totalt sett är växthusets årliga energibehov två gånger större. Det som presenteras i Tabell 10 och Figur 9 är hur energibehovet är uppdelat över de tre undersökta användningsområdena och Figur 10 respektive Figur 11 visar hur storleken är fördelad över energiflödena. I växthuset är det uppvärmningen som står för den största delen av energianvändningen, ca 65 % av den totala energianvändningen medan kylning och elförbrukning till utrustningen står för ca 21 % respektive ca 14 %. För den isolerade byggnaden är uppvärmningen också störst men bara ca 3 % större än elförbrukningen, ca 47 % respektive ca 44 % av den totala energianvändningen medan kylning står för de resterande ca 9 %. I Tabell 11 jämförs de olika användningsområdena och totalen för respektive byggnad med varandra, där isolerad byggnad fungerar som bas för jämförelsen. Utifrån Tabell 11 går det att se att när det kommer till uppvärmning och kylning så använder växthuset mer energi, ca 3 respektive ca 5 gånger mer energi än den isolerade byggnaden. När det kommer till elförbrukning till utrustning använder växthuset drygt hälften så mycket energi.

Tabell 10 – Årligt behov. Tabellen visar det årliga behovet för de två byggnaderna, dels för varje energiflöde dels som en total summa.

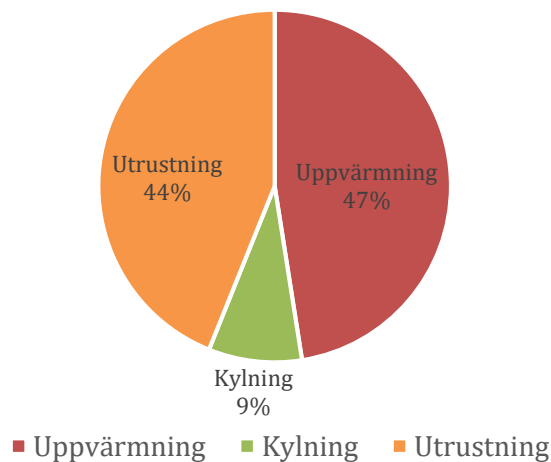
	Isolerad byggnad		Växthus	
	Årligt energibehov [kWh]	[kWh/m ²]	Årligt energibehov [kWh]	[kWh/m ²]
Uppvärmning	105 029	488	285 974	1330
Kylning	18 948	88	94 261	438
Utrustning	97 078	451	59 541	276
Totalt	221 055	1028	439 776	2045

Tabell 11 – Jämförelse mellan de två byggnaderna. Tabellen visar hur många gånger större eller mindre energiflödet hos växthuset är i jämförelse med den isolerade byggnaden. I jämförelsen är den isolerade byggnaden basen.

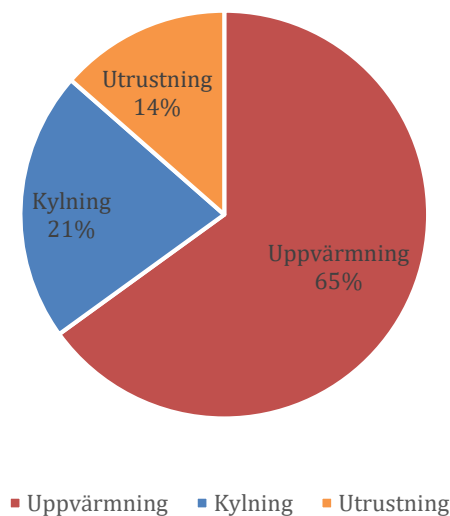
Jämförelse mellan de två byggnaderna	
Uppvärmning	2,72
Kylning	5
Utrustning	0,6
Total	2,0



Figur 9 – Energiflöden helår. Figuren är en visualisering av Tabell 10 och visar på hur storleken av energiflödena skiljer sig åt



Figur 10 - Procentuell Fördelning för isolerad byggnad. Visar den procentuella storleken på de olika energiflödena för den isolerade byggnaden över ett år



Figur 11 – Procentuell fördelning för växthuset. Visar den procentuella storleken på de olika energiflödena för växthuset över ett år

5.1.2 – Årstidernas behov

Det finns även skillnader i hur energibehovet ser ut utifrån de olika årstiderna. I Tabell 12 respektive Tabell 13 kan storleken på energibehovet för årstiderna ses vilket kompletteras med Figur 12 för uppvärmning och kylning för de två byggnaderna. Det båda byggnaderna har gemensamt att det är under vintern som det största uppvärmningsbehovet uppstår och under sommaren som det största kylbehovet uppstår. Den här fördelningen kan också ses i Figur 13 respektive Figur 14 för den isolerade byggnaden respektive växthuset. Det är under sommaren och våren som ett kylbehov uppstår medan vintern och hösten har ett uppvärmningsbehov. Det är under vintern som mest energi går åt, 35 % av det årliga uppvärmningsbehovet i den isolerade respektive 39 % i växthuset. Mellan vinter den årstid med högst behov till sommar den årstid med lägst behov skiljer sig det 16 % för den isolerade byggnaden och 21 % för växthuset.

Tabell 12 – Årstidernas energibehov för isolerad byggnad. Tabellen visar hur energiflödena skiljer sig åt under årstiderna för den isolerade byggnaden

Isolerad byggnad				
Årstidsbehov				
[kWh]	Vår	Sommar	Höst	Vinter
Uppvärmning	30 028	830	21 182	52 989
Kylning	1317	16 741	893	0
Elförbrukning	24 270	24 270	24 270	24 270
Solinstrålning	-	-	-	-

Tabell 13 – Årstidernas energibehov för växthuset. Tabellen visar hur energiflödena skiljer sig åt under årstiderna för växthuset

Växthus				
Årstidsbehov				
[kWh]	Vår	Sommar	Höst	Vinter
Uppvärmning	69 063	1000	67 986	147 925
Kylning	21 737	69 588	2935	0
Elförbrukning	16 741	7081	11 782	23 937
Solinstrålning	49 328	66 263	17 270	5011

I Tabell 14 och Tabell 15 visas hur elförbrukningen till utrustningen ser ut i de både fallen, för den isolerade byggnaden skiljer det sig inte mellan årstiderna medan för växthuset är elförbrukningen till utrustningen olika beroende på årstiden.

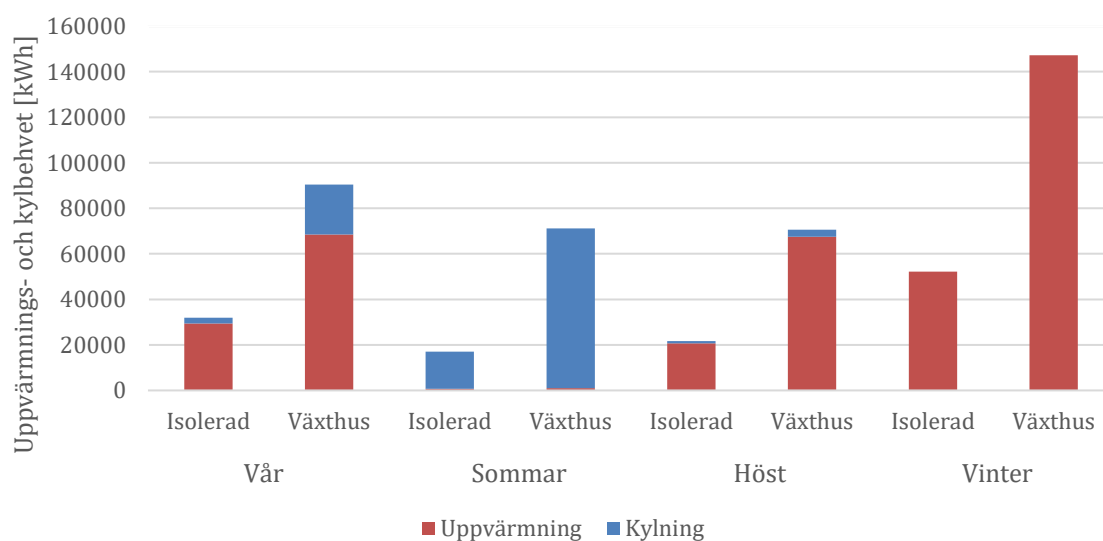
Tabell 14 – Elförbrukningen till utrustningen för den isolerade byggnaden uppdelad på de olika komponenterna i systemet.

Elförbrukning	[kWh]	Procentuell
		andel
LED-lampor	68 985	71%
Vattenpump	700	1%
Fisktankfilter	5606	6%
Luftpump	1576	2%
Filterpump	16 38	2%
Värmepump	18 571	19%
Totalt	97 078	

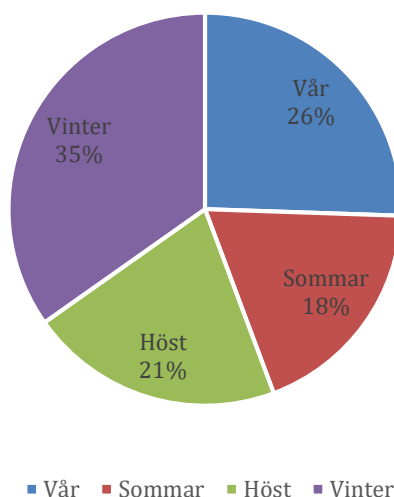
Tabell 15 - Elförbrukningen till utrustningen för växthuset uppdelad på de olika komponenterna i systemet samt för varje säsong.

Elförbrukning Vår	[kWh]	Procentuell andel	Elförbrukning Sommar	[kWh]	Procentuell andel
LED-lampor	9660	58%	LED-lampor	0	0%
Vattenpump	176,64	1%	Vattenpump	176,64	2%
Fisktankfilter	1413,12	8%	Fisktankfilter	1413,12	20%
Luftpump	397,44	2%	Luftpump	397,44	6%
Filterpump	412,896	2%	Filterpump	412,896	6%
Värmepump	4680,96	28%	Värmepump	4680,96	66%
Totalt	16 741,06		Totalt	7081,056	

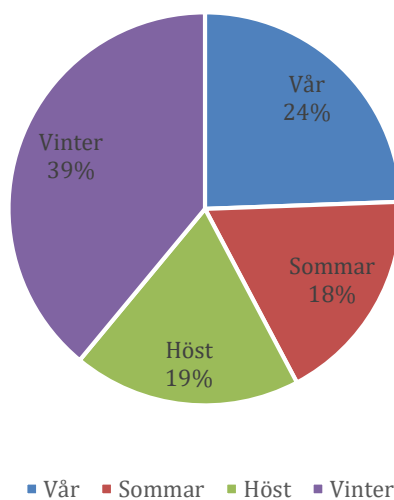
Elförbrukning Höst	[kWh]	Procentuell andel	Elförbrukning Vinter	[kWh]	Procentuell andel
LED-lampor	4777,5	41%	LED-lampor	17 010	71%
Vattenpump	174,72	1%	Vattenpump	172,8	1%
Fisktankfilter	1397,76	12%	Fisktankfilter	1382,4	6%
Luftpump	393,12	3%	Luftpump	388,8	2%
Filterpump	408,408	3%	Filterpump	403,92	2%
Värmepump	4630,08	39%	Värmepump	4579,2	19%
Totalt	11 781,59		Totalt	937,12	



Figur 12 – Uppvärmnings och kylbehovet för respektive årstid för både den isolerade byggnaden och växthuset



Figur 13 – Procentuell fördelning för den isolerade byggnaden. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för den isolerade byggnaden



Figur 14 – Procentuell fördelning för växthuset. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för växthuset

5.2 Förbättringspotential

5.2.1 Växthus

Hansson & Ly (2013) undersökte hur valet av glas och skuggväv påverkade uppvärmningsbehovet i ett växthus. Skuggväv är en teknik som både isolerar och kompenserar för glasets genomsläpplighet vilket kommer hjälpa med både växthusets uppvärmnings- och kylbehov. Skuggväven fungerar som en semitransparent gardin och påverkar därför inte växternas behov av solljus. Studien baseras på helårs simuleringar på ett teoretiskt växthus i Malmö och i de fall som skuggväv använts har den suttit uppe hela dygnet. De jämförde enkelglas med 2-skiktglas samt med och utan skuggväv. I fallet med

enkelglas med och utan skuggväv visar det sig att användandet av en skuggväv kan minska uppvärmningsbehovet med 66 %. Att gå från enkelglas till 2-skiktglas ger upphov till ett minskat uppvärmningsbehov på 60 %. Både att installera skuggväv och ha 2-skiktglas ger ett reducerat uppvärmningsbehov. Om de två kombineras, 2-skiktglas och skuggväv, kan uppvärmningsbehovet minska med 80 %. Kostnaderna för de olika fallen är något som inte tas upp. Se **Fel! Hittar inte referensälla.** för hur dessa fall kommer att påverka växthuset i den här studien. I samtliga av fall kommer växthuset få ett mindre totalt energibehov än den isolerade byggnaden.

Tabell 16 – Energibesparingspotential hos växthuset genom att installera 2-skiktglas och/eller skuggväv. *Potential besparing berör endast uppvärmnings och kylbehovet

	Grundfall	Enkelglas + skuggväv	2- skiktglas	2-skiktglas + skuggväv
Potentiell besparing	-	66 %*	60 %*	80 %*
Uppvärmning	285 974	97 231	114 390	57 195
Kylning	94 261	32 049	37 704	18 852
Utrustning	59 541	59 541	59 541	59 541
Totalt	439 776	188 821	211 635	135 588

*Endast på uppvärmning och kylning

5.2.2 Isolerad byggnad

Solcellsinstallation

Enligt Solkollen (Solcellskollen, 2019) och Vattenfalls (Vattenfall, 2019) egna verktyg för beräkning av årlig elproduktion av solceller kan en produktion mellan 13 000 – 16 000 kWh/år uppnås (produktionen kommer att variera beroende på väderförhållande och att verktyget ger en uppskattning). Det här skulle innebära ett reducerat inköpsbehov av elektricitet 13,4 – 16,5 %, se **Fel! Hittar inte referensälla.** för att se hur det påverkar den mängd elektricitet som behöver köpas in då en egen produktion minskar inköpet av el medan behovet är det samma.

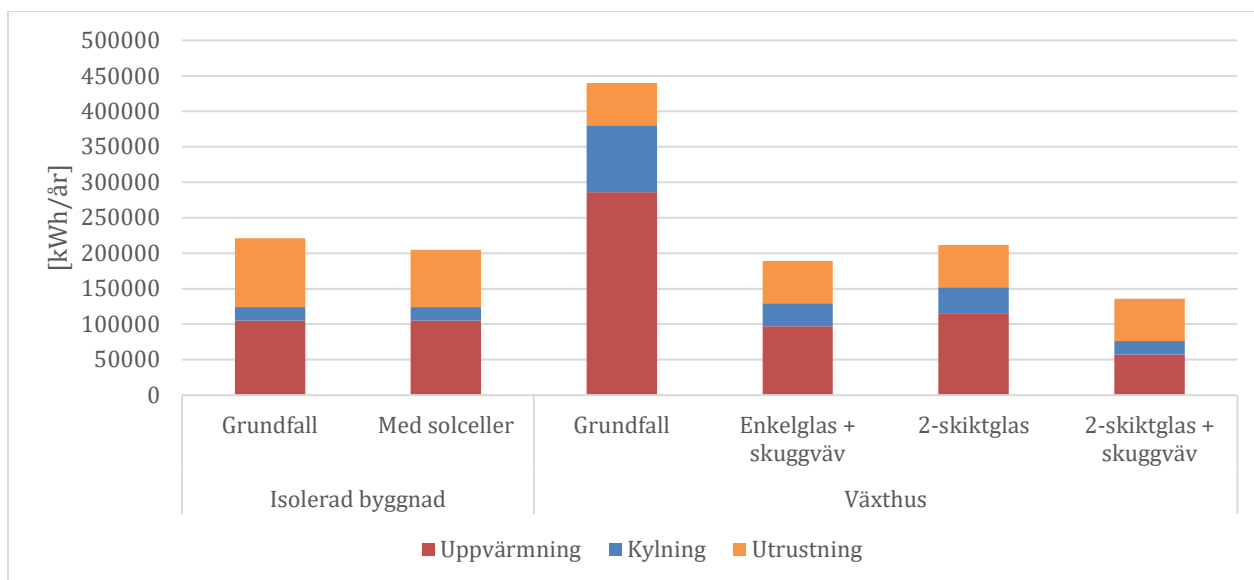
Tabell 17 – Den potential en solcellsinstallation har för att minska inköpet av elektricitet. *Potentiell besparing rör endast elförbrukningen för utrustningen.

	Grundfall	Med solceller
Potentiell besparing	-	13,4 – 16,5 %*
Uppvärmning	105 029	105 029
Kylning	18 948	18 948
Utrustning	97 078	81 060 – 84 078
Totalt	221 055	205 037 - 208055

*Endast på utrustningens elförbrukning

Känslighetsanalys

En ökning av isoleringen på 6mm hos den isolerade byggnadens väggar hade gett en marginell besparing på ca 1,5 % av uppvärmnings- och kylbehovet medan en minskning av isoleringen med 6mm hade ökat det totala uppvärmnings- och kylbehovet med 20 %.



Figur 15 – En visualisering av förbättringspotentialen för den isolerade byggnaden och växthuset enligt Tabell 16 och 17

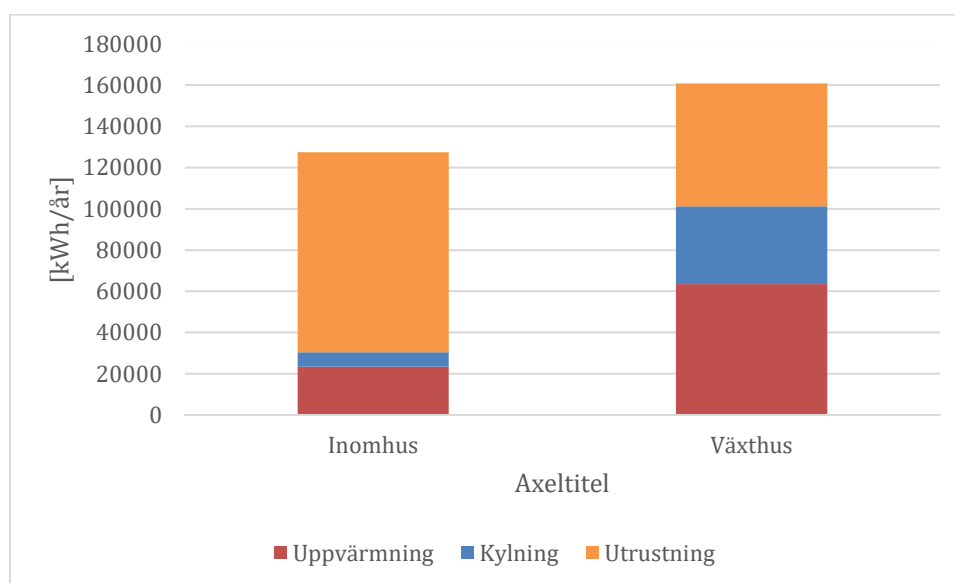
5.3 Anläggningens elförbrukning

5.3.1 Årlig elförbrukning

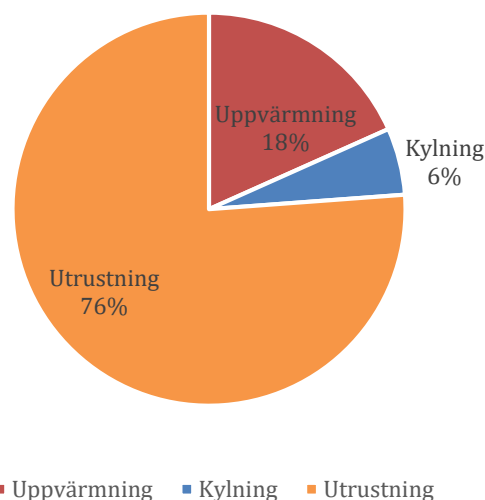
I Tabell 18 presenteras den årliga elförbrukningen för de två byggnaderna. Växthuset har en årlig elförbrukning som är ca 20% högre än för den isolerade byggnaden. Det som skiljer dem åt är att växthuset har en högre elförbrukning till uppvärmning och kylning än den isolerade byggnaden. Detta kan ses i Tabell 18 och Figur 16. I Figur 17 och Figur 18 kan storleken på fördelningen mellan de flödena ses för respektive byggnad. För den isolerade byggnaden, Figur 17, är utrustningen 76 % av den totala elförbrukningen medan uppvärmningen och kylningen motsvarar 18% respektive 6%. Medan för växthuset är fördelningen mellan flödena jämnare. Figur 18 kan det ses att elförbrukningen till uppvärmningen är den största andelen på 40% och strax därefter är det utrustningen på 37 % och kylningen står för den minsta andelen på 23%.

Tabell 18 – Årlig elförbrukning. Tabellen visar den årliga elförbrukningen för de två byggnaderna, dels för varje flöde dels som en total summa.

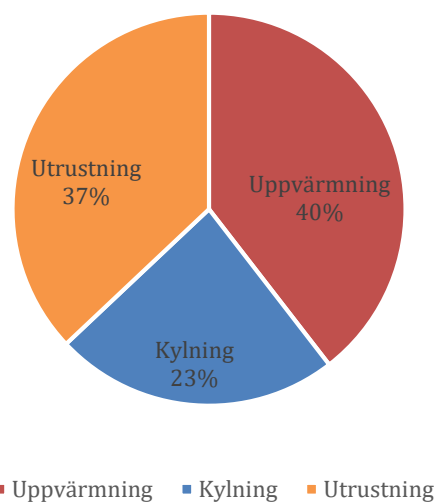
	Isolerad byggnad		Växthus	
	Årlig elförbrukning [kWh]	[kWh/m ²]	Årlig elförbrukning [kWh]	[kWh/m ²]
Uppvärmning	23 340	108	63 550	295
Kylning	7023	32	37 704	175
Utrustning	97 078	451	59 541	276
Totalt	127 441	593	160 795	746



Figur 16 –Elförbrukning helår. Figuren är en visualisering av Tabell 18 och visar på hur storleken av flödena skiljer sig åt



Figur 17 – Procentuell fördelning för isolerad byggnad. Visar den procentuella storleken på elförbrukningen för de olika flödena hos den isolerade byggnaden över ett år



Figur 18 – Procentuell fördelning för isolerad byggnad. Visar den procentuella storleken på elförbrukningen för de olika flödena hos växthuset över ett år

5.3.2 Årstidernas elförbrukning

I Tabell 19 respektive Tabell 20 presenteras elförbrukningen fördelat över årstiderna. Det här kompletteras med Figur 19. För den isolerade byggnaden är elförbrukningen jämn under hela året där vintern har den högsta elförbrukningen på 28% medan de andra årstiderna varierar mellan 23–25%, som visas i Figur 20. Utrustningens elförbrukning inom den isolerade byggnaden är det största flöden över samtliga säsonger. För växthuset är det under vintern som den högsta elförbrukningen finns. Vintern står för 35% av den årliga elförbrukningen sedan vår och sommar på 25% respektive 22% sedan står hösten för 18%.

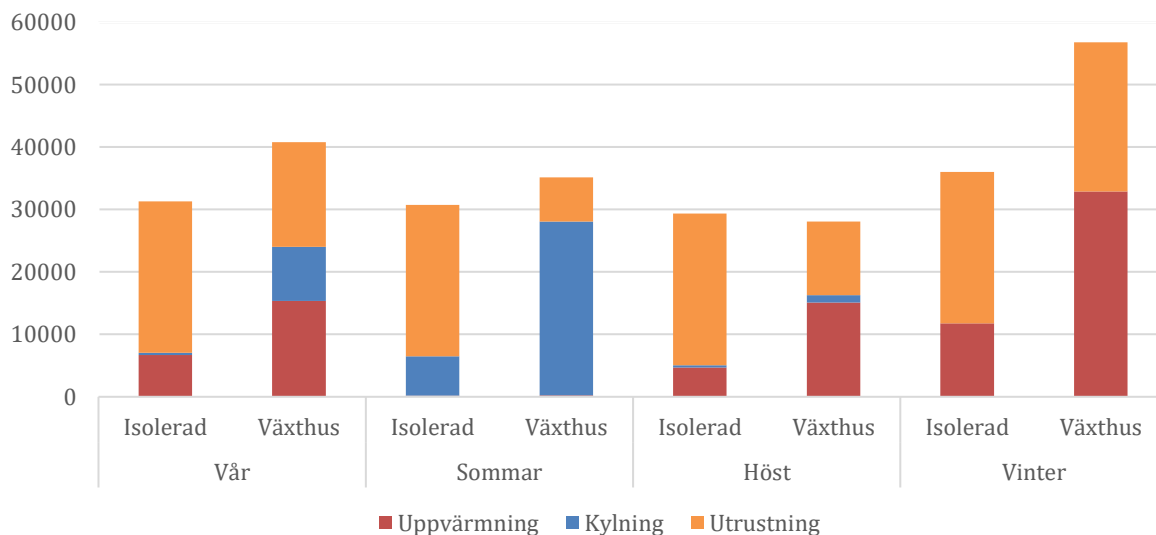
För växthuset varierar det flödet som har störst elförbrukning beroende på säsongen. Under vintern är det uppvärmningen som är mest elintensiv, för sommaren är det kylningen och under våren och hösten är det uppvärmningen och utrustningen.

Tabell 19 - Årstidernas elförbrukning för den isolerade byggnaden. Tabellen visar hur elförbrukningen skiljer sig åt under årstiderna för den isolerade byggnaden för respektive flöde

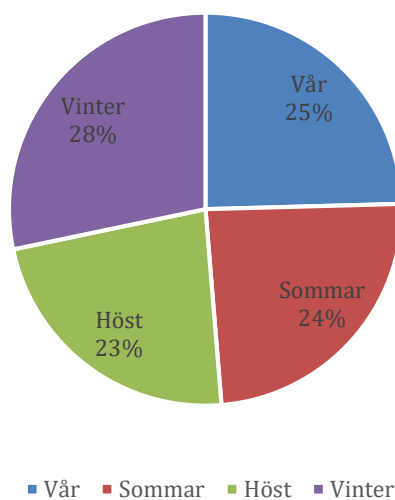
Isolerad byggnad Årstidsförbrukning [kWh]	Vår	Sommar	Höst	Vinter
Uppvärmning	6673	184	4707	11 775
Kylning	927	6295	357	0
Utrustning	24 270	24 270	24 270	24 270

Tabell 20 – Årstidernas elförbrukning för växthuset. Tabellen visar hur elförbrukningen skiljer sig åt under årstiderna för den isolerade byggnaden för respektive flöde

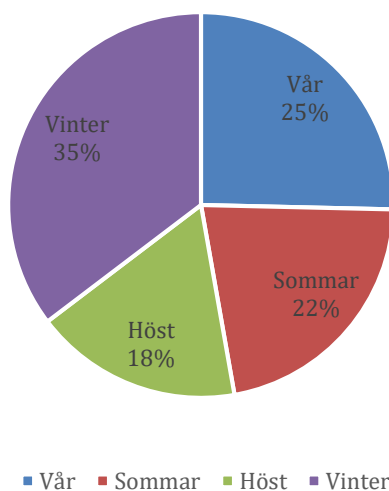
Växthus Årstidsförbrukning [kWh]	Vår	Sommar	Höst	Vinter
Uppvärmning	15 347	222	15 108	32 872
Kylning	8695	27 836	1174	0
Utrustning	16 741	7081	11 782	23 937



Figur 19 – De olika flödena för respektive årstid för både den isolerade byggnaden och växthuset. En visualisering av Tabell 19 och 20



Figur 20 – Procentuell fördelning av elförbrukningen över årstiderna för den isolerade byggnaden. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för den isolerade byggnaden



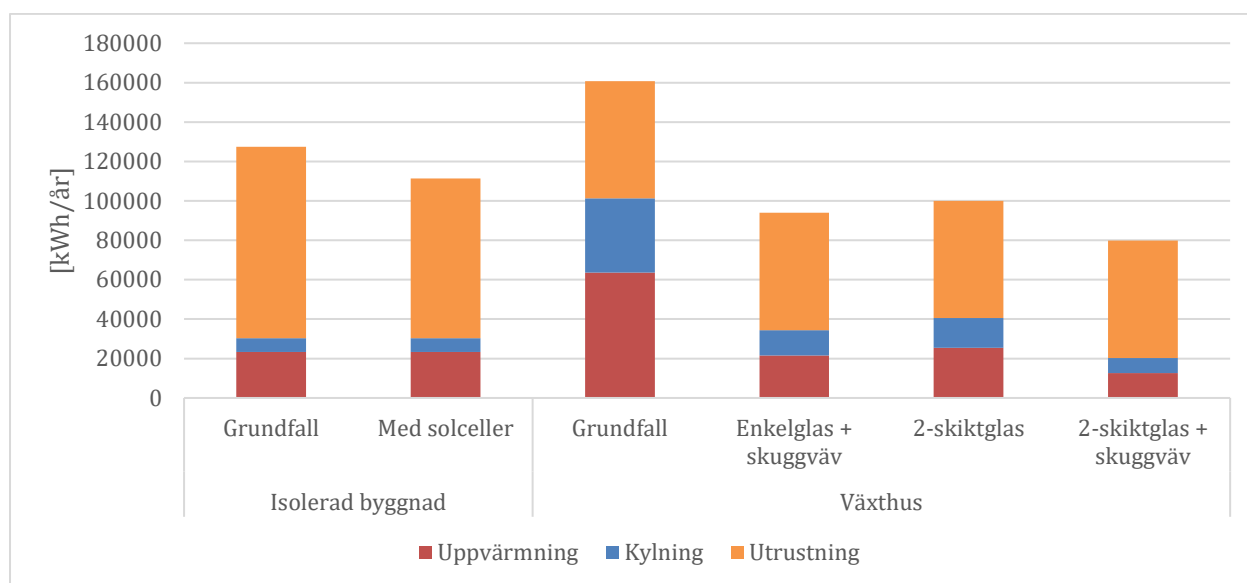
Figur 21 – Procentuell fördelning av elförbrukningen över årstiderna för växthuset. Visar den procentuella storleken för de olika årstiderna för den isolerade byggnaden

5.3.3 Elförbrukning med förbättringspotentialen

I Figur 22 redovisas hur den framtagna förbättringspotentialen, som kan ses i 5.2 Förbättringspotential, påverkar elförbrukningen hos de två byggnaderna. Figur 22 bygger på Tabell 21 som visar de olika flödena för varje förbättringsförslag

Tabell 21 – Visar hur de olika förbättringsförslagen påverkar den totala elförbrukningen

	Isolerad byggnad		Växthus			
	Grundfall	Med solceller	Grundfall	Enkelglas + skuggväv	2-skiktglas	2-skiktglas + skuggväv
Uppvärmning	23 340	23 340	63 550	21 607	25 420	12 710
Kylning	7579	7579	37 704	12 819	15 082	7541
Utrustning	97 078	81 060	59 541	59 541	59 541	59 541
Totalt	127 441	111 423	160 795	93 967	100 042	79 792



Figur 22 – Visar hur de olika förbättringsförslagen påverkar elförbrukningen hos de två byggnaderna. Bygger på Tabell 21

5.4 Tidigare studier

Utifrån litteraturstudien sammanfattas Tabell 22 energianvändningen för olika akvaponiska odlingar och vanliga odlingar. De faktorer som redovisas är faktorer som har betydelse för odlingens energianvändning, så som klimatskalet, geografiskt läge, storlek och användningen av växtbelysning.

Tabell 22 – En sammanställning av tidigare studier

Akvapositionisk	Geografiskt läge	Klimatskäl	Storlek [m ²]	Energianvändning [kWh/m ² per år]	Växtbelysning	Beskrivning	Källa
Nej	Malmö, Sverige	Växthus	1200	144 – 715,5	Nej	Utgångsläget för Hansson & Ly i deras studie. Endast uppvärmning och kylning. Variationen beror på olika fall inom studien	(Hansson & Ly, 2013)
Ja	Oulo, Finland	Växthus	25000	1800	Ja	Inkluderar både uppvärmning och elektricitet, där elektriciteten utgör ca 78% av energianvändningen	(Martin, 2017)
Ja	Hondarri bia, Spanien	Växthus	500	44,8	Nej	Endast elförbrukning	(Atlason, m.fl, 2017)
Ja	Akur, Island	Växthus	50	185,3	Ja	Endast elförbrukning	(Atlason, m.fl, 2017)
Ja	Sudarvogur, Island	Inomhus	Ca 20	421,4	Ja	Endast elförbrukning, arean antas vara 20 m ² utifrån Akurs anläggning och deras produktion i förhållande till Sudarvogur	(Atlason, m.fl, 2017)
Ja	Brindas, Frankrike	Växthus	60	310	Nej	Uppvärmning och elförbrukning. Studien är på en 52-dagarscykel som sedan gjort till en årssimulering för att passa denna studien.	(Jaeger, m.fl, 2018)
Ja	Hawaii, USA	Utomhus	114	23	Nej	Endast elförbrukning	(Van Ginkel, Igou, & Chen, 2017)
Ja	Atlanta, USA	Växthus	141	164,6	Nej	Uppvärmning och elförbrukning	(W.Van Ginkel, Igou, & Chen, 2017)
Ja	Baltimore, USA	Växthus	116	168,3	Nej	Uppvärmning och elförbrukning	(Love, Uhl, & Genello, 2015)

6. Diskussion

6.1 Energiflöden

6.1.1 - Energibehov

Resultatet från grundfallet pekar på att en isolerad byggnad är mer energimässigt lönsamt för en akvaponisk odling än ett växthus med enkelglas under samma förutsättningar. Växthuset använder två gånger mer energi än vad den isolerade byggnaden använder, bara uppvärmningen av växthuset är mer än det totala energibehovet för den isolerade byggnaden. När det kommer till kylning använder växthuset också mer energi. Det här kan härledas från att den isolerade byggnaden är just det, isolerad. Vilket gör att den värme som genereras inom systemet bättre hålls kvar inom byggnaden. En jämförelse av U-värde mellan den isolerade byggnadens vägg och växthusets vägg ger en förklaring till varför deras värmelednings-förmåga varierar, där den isolerade byggnadens vägg har ett totalt U-värde på 0,26 medan växthuset har ett U-värde på 7. Ett högre U-värde medför större värmeförluster genom väggen, som nämnt i kapitel 2.2.1 *Klimatskal*. Detta förtydligas ytterligare i Figur 8 där det kan ses att behovet hos den isolerade byggnaden är jämnare och närmare nollinjen jämfört med växthuset. Den isolerade byggnaden är mer motståndskraftig när det kommer till temperaturskillnader och de årstider som råder i Sverige.

Det som inte är påverkat av U-värdet är den elektricitet som utrustningen använder. Där är det till skillnad från de andra flödena den isolerade byggnaden som har högre behov än växthuset. Detta är en följd av byggnadernas väggkonstruktion, då den isolerade byggnaden inte släpper in något solljus behöver det kompenseras med växtbelysning för att kunna odla växter. Växtbelysningen behöver i sin tur elektricitet för att fungera. För att hålla igång odlingen dygnet runt och året om behövs en ständig tillförsel av ljus (antingen som växtbelysning eller solljus). Som nämnt i kapitel 4.3.1 *Komplettering av fallet – Johannas stadsodlingar* kommer även växthuset behöva växtbelysning för att kompensera för de mörka vintermånaderna. Den isolerade byggnaden använder 40 % mer elektricitet än vad växthuset gör, vilket beror på skillnaden i användningen av växtbelysning. För den övriga utrustningen så som pumpar och filter som används för att driva systemet är båda fallen lika. För den isolerade byggnaden är växtbelysningen igång 18h per dag året om medan växthuset endast har växtbelysning vissa årstider, vilket ger skillnaden i deras elförbrukning till utrustningen. Även om den isolerade byggnaden använder mer elektricitet till utrustningen är den energi som växthuset endast använder till uppvärmning mer än den isolerade byggnadens värmebehov och behov för utrustningen tillsammans.

Den isolerade byggnaden är byggd för djurhållning och inte för att odla i och som nämns i 2.2.1 *Klimatskal* är det viktigt att byggnaden är designad efter dess verksamhet. Det här gör att dimensioner av byggnaden inte är anpassade efter den odling som ska ske. Det blir en viktig aspekt då värmeöverföringen beror på klimatskalets storlek där en större volym ökar uppvärmnings- och kylbehovet. Till exempel är takhöjden troligtvis större än vad som hade behövts för odlingen. Detta visar på svagheten med att använda en befintlig byggnad, det kommer inte vara optimalt och byggnaden kan behövas anpassas till det nya syftet.

Något som kan ses i de variationer som uppstår under de olika årstiderna, Tabell 12 och Tabell 13, är att utbudet och efterfrågan av värme respektive kyla inte stämmer överens. Det är tydligt att på sommaren finns det ett överskott av värme som i sin tur behöver kylas bort. Detta ses i fallet med växthuset genom att växthuset får ett överskott av värme från den instrålade soffeekten och därför behöver kyla bort det överskottet, se Tabell 13. Samtidigt finns det ett underskott av värme på vintern som ger upphov till en uppvärmning. Med andra ord finns det ett utbud av värme när det inte finns en efterfrågan på det, vilket gör att det måste kompenseras för med uppvärmning respektive kylning av byggnaden. Detta är något som kan ses i årstidernas energibehov för respektive byggnad, Tabell 12 och Tabell 13, samt i Figur 8. Förklaringen kan ses i kapitel 2.2.2 *Värmeöverföring* där de formler som är kopplade till värmeöverföringen är beroende av en temperaturskillnad. Eftersom temperaturskillnaden är drivkraften innebär en större temperaturskillnad som då uppstår på sommaren och vintern ett större uppvärmnings- respektive kylbehov. Det här är gemensamt för båda byggnaderna. Det här är svaghet som uppstår med att ha en "året om"-odling i klimat med årstider. Eftersom vintern står för 35 % av den isolerade byggnadens energibehov respektive 39 % för växthuset är det den årstiden med högst energibehov.

6.1.2 Elförbrukning

Som nämnt i teorin är det skillnad på uppvärmning och kylning när det kommer till deras produktion, vilket också ses i Tabell 1 och de två olika verkningsgraderna för uppvärmning och kylning hos ett värmepumpssystem. Det här kommer att medföra att det är en skillnad mellan energibehovet och den faktiska energianvändningen som går åt för att upprätta det önskade klimatet. Verkningsgraden för uppvärmning visar på att för en kWh_{el} är det möjligt att få upp till 4,5 kWh_{värme} och för kylning ger en kWh_{el} upp till 2,5 kWh_{kyla}. Därför är uppvärmnings och kylsystemet en viktig aspekt hos anläggningen. Beräkningarna på elförbrukningen för uppvärmningen och kylningen kommer inte att påverka förhållandet mellan den isolerade byggnaden och växthuset uppvärmnings- och kylbehov då de förändrats med samma faktor. Det beräkningarna har gett är en total elförbrukning där elförbrukningen till utrustningen är det samma som dess energibehov. Det här gör att elförbrukningen till utrustningens totala andel kommer att öka då elförbrukningen till uppvärmning och kylning är mindre än respektive energibehov. I båda fallet har elförbrukningen till utrustningen ökat, i den isolerade byggnaden har den gått från att vara 44% av det totala energibehovet till att bli 76% av den totala elförbrukningen och för växthuset har den gått från att vara 14% till 37%.

När uppvärmnings- och kylbehovet har räknats om till en elförbrukning blir de två byggnadernas skillnader tydligare. I den isolerade byggnaden blir elförbrukningen till utrustningen det största användningsområdet för den isolerade byggnadens totala elförbrukning. Utrustningen står för 76% medan uppvärmningen och kylningen står för 18% respektive 6%. Det här visar att för den isolerade byggnaden är dess styrka att den är anpassad för klimat i Stockholmsområdet medan dess svaghet är att utrustningen har en hög elförbrukning. För växthuset är fortfarande uppvärmningen och kylningen för den större delen av den totala elförbrukningen, på 40% respektive 23% medan utrustningen står för 37%. Växthusets svaghet kvarstår som mindre lämpad för ett klimat i Stockholmsområdet medan dess elförbrukning till utrustningen är lägre än hos den isolerade byggnaden.

Den totala elförbrukningen över årstiderna skiljer sig mellan de två byggnaderna, mer än vad de gjorde för energibehovet. Energiförbrukningen visade på liknande trender mellan de två byggnaderna. Samma trend med överskott och underskott under sommaren respektive vintern kan ses i elförbrukningen för växthuset. Växthuset har en större elförbrukning under vintern som följd av dess höga uppvärmningsbehov. För den isolerade byggnaden är elförbrukningen mer jämnt fördelad över året. Detta beror på att elförbrukningen till utrustningen är den största elförbrukaren och den har en likadan elförbrukning över alla årstider. Till skillnad från uppvärmningen och kylningen som varierar med utomhustemperaturen är elförbrukningen till utrustningen inte temperaturberoende vilket gör att den är jämn under året.

6.2 Förbättringspotential

6.2.1 Förbättrad isolering av växthus

De tekniker som jämfördes i denna studie och som kan minska energibehovet för ett växthus var enkelglas, 2-skiktglas och skuggväv där utgångsläget var användningen av enkelglas. Analysen visade att användandet av antingen 2-skiktglas eller skuggväv för sig gav en minskning av uppvärmningsbehovet för växthuset. 2-skiktglaset har ett lägre U-värde än enkelglas vilket med samma argument som för den isolerade byggnaden ger ett lägre uppvärmningsbehov även för växthuset. Uppvärmningsbehovet kommer att minska tack vare att skuggväven hjälper till att hålla inne värmen eftersom det skapar en omslutning av odlingen. När det kommer till kylbehovet kommer skuggväven att kunna blockera solen under de soliga dagarna och på så sätt hjälpa till att hålla temperaturen inom det önskade intervallet. De här två teknikerna skulle kunna ge en reducering av uppvärmnings och kylbehovet med 80%, se **Fel! Hittar inte referenskälla.** Det här gör att växthuset får ett mindre totalt energibehov än den isolerade byggnaden. Det finns alltså potential att förbättra växthusets energi-prestanda. I den här studien råder inte samma förutsättningar som i Hanson & Ly (2013) när det kommer till storlek på anläggningen, geografiskt läge och den önskade temperaturen inom anläggningen. Men deras resultat används som en riktlinje för den potentiella energibesparingen som dessa tekniker kan medföra. Det här gör att dessa tekniker kanske inte kommer ha samma utfall i verkligheten.

6.2.2 Förbättrad isolering av isolerad byggnad

Eftersom klimatskalet har varit det som undersökt och det faktum att den isolerade byggnaden hade en isolering valdes det också att studera hur en förändring av isoleringens tjocklek hade för effekt på värmeöverföringen. En ökning av isoleringens tjocklek gav en minskning av uppvärmnings och kylbehovet på 1,5 %, en marginell skillnad på det totala energibehovet. Dock har en minskning av isoleringens tjocklek en större påverkan hos uppvärmnings- och kylbehovet där en minskning av tjockleken bidrar till en ökning av uppvärmnings- och kylbehovet med 20 %, totalt sett. Det blir återigen tydligt att isoleringen är en bidragande faktor till att den isolerade byggnaden har ett mindre uppvärmnings- och kylbehov än växthuset. Men också att isoleringen når en maxgräns där mer isolering inte innebär en markant minskning av uppvärmnings- och kylbehovet.

6.2.3 Solceller på taket av den isolerade byggnaden

Som nämnt är svagheten hos den isolerade byggnaden dess elförbrukning till växtbelysning men detta är något som kan kompenseras för genom att installera solceller. Detta är en möjlighet som inte finns hos växthuset då det skulle sätta sig emot själva syftet med att ha ett växthus. En solcellsinstallation på taket skulle kunna ha en årlig produktion på 13 – 16 % av den isolerade byggnadens elförbrukning för växtbelysningen, se **Fel! Hittar inte referenskölla..** Inte en lika stor besparing som hos växthuset men ett steg i att kompensera för den isolerade byggnadens elförbrukning för växtbelysning.

6.2.4 Kombination av åtgärder och jämförelse mellan växthus och isolerad byggnad

Den reduktion som den isolerade byggnaden skulle kunna uppnå kan växthuset överkomma genom att installera skuggväv utöver det befintliga enkelglaset. När en skuggväv installeras får växthuset en lägre totalt energianvändning än den isolerade byggnaden med ca 5 %. Om både skuggväv och 2-skiktglas installeras kommer det innebära att växthuset har ett lägre energibehov på ca 40 %. När det kommer till potentialen att sänka den totala energianvändningen finns det större potential för växthuset. Dock finns det fördelar med att använda befintliga byggnader än att bygga ett nytt växthus som inte har tagits med i undersökningen. En fördel kopplat till energi är den bundna energin i byggnaden, att bygga nytt innebär också att det nya kommer att ha ett energiflöde som är kopplat till produktionen av byggnaden. Detta har inte tagits hänsyn till i denna studie. Ytterligare har inte kostnaden varit en faktor som har diskuterats inom studien, där lösningarna rent energimässigt kan vara fördelaktiga men kostnaden är en faktor som kan hämma möjligheten till att investera i en önskad lösning.

6.3 Tidigare studier

Det finns skillnader mellan valda systemgränser i tidigare studier. Vissa studier inkluderar endast elförbrukningen till utrustningen medan andra också inkluderar uppvärmningen, några har växtbelysning medan andra inte har det samtidigt som det geografiska läget varierar från studie till studie. Skillnaderna i systemgränser gör att studierna har olika förutsättningar men detta gör också att vissa trender kan ses utifrån dessa likheter och olikheter.

6.3.1 Isolerad byggnad

Atlason m.fl (2017) är den enda studien som redovisar energianvändningen för en anläggning som är inomhus. Anläggningen som är belägen i Sudarvögur, Island, har liknande förutsättningar och system som den isolerade byggnaden i den här studien. Båda är inomhus, inget solljusinsläpp, använder sig av växtbelysning och befinner sig i ett kallare klimat. I Sudarvögur är det endast elförbrukningen till utrustning som undersökt och den är på 421,4 kWh/m² per år. En siffra som liknar den för den isolerade byggnaden, där elförbrukningen till utrustningen är på 451 kWh/m² per år och en total elförbrukning på 593 kWh/m² per år (inklusive uppvärmning, kylning och utrustning). Det som skiljer anläggningarna åt är deras storlek då den isolerade byggnaden är ca 10 gånger större än den i Sudarvögur. Bland de undersökta studierna är dock Sudarvögurs energianvändning den tredje högsta. Det som de tre i toppen har gemensamt är att de befinner sig i ett kallare

klimat som Finland, Sverige och Island än de resterande som befinner sig i Spanien, Frankrike, USA, och Hawaii.

Den isolerade byggnadens elförbrukning inom uppvärmning och kylning kan liknas med siffrorna från Hansson & Ly (2013) studie då det är den enda studien som endast kollar på uppvärmning och kylning. Den anläggningen är belägen i Malmö och den lägsta energianvändningen de kom fram till bygger på ett växthus med 2-skiktglas samt skuggväv. Deras energianvändning ligger på 144 kWh/m² medan för den isolerade byggnaden är dess elförbrukning för uppvärmning och kylning på 140 kWh/m².

6.3.2 Växthus

För växthuset är ligger elförbrukningen till utrustningen på 276 kWh/m² per år, en siffra som liknar elförbrukningen till utrustning för anläggningen i Akur, Island. Dess elförbrukning till utrustning ligger på 185,3 kWh/m² per år. Det är en skillnad på ca 100 kWh/m² per år. Det här kan bero på olika drivrutiner hos växtbelysningen och vilken typ av växtbelysning som de använt sig av. De andra studier med endast elanvändning ligger på 23 – 44 kWh/m² dock använder de inte sig av växtbelysning då de befinner sig i Hawaii respektive Spanien.

När det kommer till uppvärmning ligger de studier som använder sig av ett växthus mellan 164,6 – 310 kWh/m² dock är denna siffra både uppvärmning och elanvändning. Även med detta i åtanke är växthusets elförbrukning för uppvärmning och kylning på 470 kWh/m² vilket är högre än de andra studiers totala energianvändning. Återigen blir det geografiska läget viktigt för att jämföra studierna då denna studie befinner sig i ett kallare klimat blir uppvärmningen ett större energiflöde. Om växthusets elförbrukning till utrustningen också räknas med hamnar den totala elförbrukningen på 746 kWh/m². Mer än dubbelt så mycket som de andra studiernas totala energianvändning.

6.4 Metoddiskussion

Studien baseras på etablerade formler inom värmeöverföring och byggnadsfysik som kan användas i olika fall. Vilket anses ha bidragit till att metoden har vilat på en stark grund. Den arbetsgång som används har baserats på samma böcker som teorin inom bygger på, där det kan sägas att dessa böcker är introduktions- och vägledningsböcker inom byggnadsfysik. Det innebär att de har fungerat som en checklista över vilken information som behöver samlas in för att göra relevanta beräkningar som svarar till att uppfylla frågeställningarna 1 och 2. Medan frågeställning 3 bygger på en litteraturstudie där resultatet bygger på någon annans resultat. Här finns det skillnader i hur studiernas grundförutsättningar ser ut och att den förbättringspotential som Hansson & Ly (2013) kommit fram till inte är direkt översättsbar på studiens fall. Å andra sidan visar Hansson & Ly (2013) på att det finns en stor potential till att minska energibehovet hos ett växthus vilket är det som är intressant för studien.

Det som kan ses som den största felkällan inom metoden är att den utgår från medelvärden på klimatdata från SMHI. Temperaturdatan är angiven i medeltemperatur för en dag och tar därför inte hänsyn till att temperaturen varierar under dagen utan antar att det en och samma temperatur under dygnet. Det här stämmer inte överens med verkligheten, detta var något som gjordes för att minska antalet datapunkter som användes inom beräkningarna.

Samma sak när det gäller den instrålade effekten från solen. Där togs ett medelvärde fram för varje dag och det värdet antogs vara instrålningen för respektive soltimme för det dygnet. Dessa medelvärden bidrar till en felmarginal inom resultatet men samma medelvärden har varit utgångspunkten för båda byggnaderna. Det här innebär att felmarginalen påverkar båda byggnaderna i samma utsträckning. Vilket gör att jämförelsen mellan de två byggnaderna baseras på samma förutsättningar och grunder.

En brist i metoden är avsaknaden av verifiering av resultatet. Detta en följd av att odlingen som undersöks håller på att byggas under rapportens gång. Det här gör att de beräkningarna som gjorts är baserade antaganden kring odlingen. Det har inte funnits någon möjlighet att göra fälttester för att se hur studiens beräkningar stämmer överens med det faktiska utfallet av energibehovet. Ett annan metod för att verifiera är genom att använda sig av simuleringsverktyg för att se hur ett sådant program skulle uppskatta det totala energibehovet. En metod som inte varit möjlig inom studiens ramar. Det har gjorts en rimlighetsbedömning utifrån liknande studier på växthus och inomhusodlingar och deras energibehov men ingen konkret verifiering av resultatet.

7. Slutsats

Från resultatet och diskussionen kan tre tydliga slutsatser dras.

Klimatskalet har en betydande roll i energiflödena för de båda byggnaderna. Det ses i grundfallet att växthuset har ett två gånger så stort totalt energibehov jämfört med vad den isolerade byggnaden. Detta har en tydlig koppling till byggnadernas U-värde och solinstrålningen som växthuset behöver kyla bort i grundfallet. I detta fall vägs inte växthusets användning av solinstrålning upp av de ökade uppvärmnings- och kylbehov som följd av sämre isolering.

Andra slutsatsen är att det finns större potential att minska energibehovet för ett växthus än för en isolerad byggnad. En isolerad byggnad har redan åtgärder med sin isolering för att minska energibehovet och det som lagts till är solceller på taket, vilket inte visar på samma potential som den ökade isoleringen för växthuset har.

Den tredje slutsatsen är att studien visar på att det finns ett överskott av värme på sommaren och ett underskott av värme på vintern. Det är under vintern som den största delen av det totala energibehovet finns för båda byggnaderna samtidigt som sommaren står för den minsta delen. Detta är en svaghet med "året om"-odling och det finns därför utrymme till att försöka jämna ut behovet mellan årstiderna.

Fortsatta studier

Det har inom studien inte funnits möjlighet att undersöka odlingen i drift, vilket kan ses som ett logiskt nästa steg för att kunna verifiera det resultat som fått inom den här rapporten. Det finns också utrymme för att göra en LCA på dessa byggnader för att ge mer grund till att jämföra dem. Som nämns i rapporten ställs en befintlig byggnad mot att bygga nytt och fortsatta studier kan undersöka hur energin ur ett större perspektiv skiljer sig åt, då rapporten i princip endast fokuserar på energiflödena för driften av anläggningen. Samtidigt har ett ekonomiskt perspektiv utelämnats ut rapporten som öppnar upp för fortsatta studier där ett större hållbarhetsperspektiv tas in med ett ekonomiskt perspektiv. Rapporten har identifierat ett behov av att jämföra ut de skillnader som uppstår mellan årstiderna. Värmelagring eller liknande teknik som integreras i växthus och den isolerade byggnaden kan ha en betydande roll för hur energiflödena kan komma att se ut.

Referenser

- Abel, E., & Elmroth, A. (2012). *Byggnaden som system*. Studentlitteratur.
- Absolute-Koi. (den 25 08 2019). Hämtat från <http://www.absolute-koi.com/prod1439.html>
- Aqua-Forte. (den 25 08 2019). Hämtat från <https://www.aqua-forte.com/applications/heating/>
- Atlason, R. S., Danner, R. I., Unnthorsson, R., Oddsson, G. V., Sustaeta, F., & Thorarinsdottir, R. (2017). *Energy Return on Investment for Aquaponics: Case Studies from Iceland and Spain*. Springer.
- Barajas, K. E., Forsberg, C., & Wengström, Y. (2013). *Systematiska litteraturstudier i utbildningsvetenskap*. Natur kultur akademisk.
- Blidariu, F., & Grozea, A. (2011). *Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics - Review*. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*,.
- Both, A. (2002). *Some Thoughts on Supplemental Lighting for Greenhouse Crop Production*.
- Buffington, D. E., Buckling, R. A., Henley, R. W., & McConnel, D. B. (2016). *Greenhouse Ventilation*.
- Canakcia, M., Emekli, N., Bilgina, S., & Caglayan, N. (2013). *Heating requirement and its costs in greenhouse structures: A case study for Mediterranean region of Turkey*.
- Dahlblom, M., & Warfvinge, C. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Studentlitteratur.
- EMGES. (den 25 08 2019a). Hämtat från http://www.emges.se/prestashop/product.php?id_product=965
- EMGES. (den 25 08 2019b). Hämtat från http://www.emges.se/prestashop/product.php?id_product=969
- FAO. (2015). *A guide to recirculation aquaculture*.
- FAO. (2017). *I.W.M.I 2017 - Water pollution from agriculture: a global review*.
- FAO. (2018). *The state of world fisheries and aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*.
- Forchino, A., Gennotte, V., Maiolo, S., Brigolin, D., Mélard, C., & Pastres, R. (2018). *Eco-designing Aquaponics: A Case Study of an Experimental Production System in Belgium*.
- Green and Vibrant*. (den 6 Januari 2019). Hämtat från Deep watur culture: <https://www.greenandvibrant.com/deep-water-culture>
- Hagentoft, C.-E. (2001). *Introduction to building physics*. Studentlitteratur.
- Hansson, J., & Ly, E. (2013). *Växthusvisionen - Vägen till ett öppnare och grönnare Sofielund*. Lunds Universitet.
- Husgrunder. (den 09 oktober 2019). Hämtat från <https://www.husgrunder.com/renovera-husgrund/isolera-och-installera-golvvarme-pa-en-befintlig-oisolerad-betongplatta/#oisoleradplatta-problem>
- Jaeger, C., Foucard, P., Tocqueville, Nahon, S., & Aubin, J. (2018). *Mass balanced based LCA of a common carp-lettuce aquaponics system*.
- Jernkontoret. (den 24 08 2019). *Energihandbok*. Hämtat från Energihandbok - Konstanter - Värmeledningsförmåga och U-värden för olika material: <https://www.energihandbok.se/konstanter/varmeledningsformaga-och-u-varden-for-olika-material>
- Jordbruksverket. (2016). *Marknadsöversikt 2016 - Frukt och grönsaker*.

- LEDs Magazine. (2005). *Fact or Fiction – LEDs don't produce heat*. Hämtat från <https://www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/thermal/article/16696536/fact-or-fiction-leds-dont-produce-heat>
- Lee, J., Rahman, A., Behrens, J., Brennan, C., Ham, B., Kim, H., . . . Kwon, M. (2018). *Nutrient removal from hydroponic wastewater by a microbial consortium and a culture of Paracercomonas saepenatans*.
- Love, D., Fry, J., Genello, L., Hill, E., Frederick, J., Li, X., & Semmens, K. (2014). *An international survey of aquaponics practitioners*.
- Love, D., Uhl, M., & Genello, L. (2015). Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. . *Aquacultural Engineering* 68, pp. 19–27.
- Martin, A. (2017). *Technical and economical study of aquaponics feasibility in northern Finland*. University of Oulo.
- Nationalencyklopedin. (den 09 oktober 2018). *Marktemperatur och markvärme*. Hämtat från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/mark/marktemperatur-och-markv%C3%A4rme>
- Nationalencyklopedin. (den 24 08 2019). *Nationalencyklopedin*. Hämtat från Nationalencyklopedin - Klimat: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sverige/natur/klimat> (hämtad 2019-08-24)
- Overshoot Day. (den 9 Maj 2019). *Overshoot Day*. Hämtat från <https://www.overshootday.org>
- Philips. (den 25 augusti 2019). Hämtat från http://www.horticoop.dk/datablade/Lys/toplighting/top_vegetable.pdf
- Pinho, P., Hytönen, T., Rantanen, M., Elomaa, P., & Halonen, L. (2012). *Dynamic control of supplemental lighting intensity in a greenhouse environment*.
- SLU, S. L. (den 09 oktober 2019). Hämtat från <http://www-vaxten.slu.se/marken/marktemperatur.htm>
- SMHI. (den 19 April 2018). *SMHI*. Hämtat från SMHI - Kunskapsbanken - Meteorologi - Årstider: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/arstider-1.1082>
- SMHI. (den 24 08 2019). *SMHI*. Hämtat från SMHI - Data - Temperatur: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/temperatur/1.809>
- SMHI. (den 24 augusti 2019). *SMHI*. Hämtat från SMHI - Data - Strålning: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/stralning>
- Solcellskollen. (den 25 08 2019). Hämtat från <https://www.solcellskollen.se/rakna-pa-solceller>
- Stockholms Stad. (den 25 augusti 2019). *Stockholms stad*. Hämtat från Stockholms stad/Fakta om miljön / Klimat / Klimat- och väderstatistik / Säsongsmedeltemperatur: <http://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimat-och-vaderstatistik/sasongsmedeltemperatur/vinter/table/>
- Svenskt vattenbruk. (den 24 augusti 2019). *Svenskt vattenbruk*. Hämtat från <http://www.svensktvattenbruk.se/amnesomraden/omvattenbruk/arterforvattenbruk/regnbage.4.103f7b5a14cf721162be3301.html>
- Thuresson, E. (2014). *Systematisk sammanställning av större geoenergianläggningar i Sverige*. Lunds universitet.
- UDSA. (2019). *FAS Grain: World market and Trade, Feb 2019*.

- United Nations, D. of E. and S.A, Population Division 2017. (2017). *World Population Prospects: The 2017 revision, Keyfindings and Advanced Tables*.
- W.Van Ginkel, S., Igou, T., & Chen, Y. (2017). Energy, water and nutrient impacts of California-grown vegetables compared to controlled environmental agriculture systems in Atlanta, GA. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Van Ginkel, S., Igou, T., & Chen, Y. (2017). Energy, water and nutrient impacts of California-grown vegetables compared to controlled environmental agriculture systems in Atlanta, GA. *Resources, Conservation and Recycling* 122.
- Vattenfall. (den 25 08 2019). Hämtat från <https://solcellsguiden.vattenfall.se/offert/foretag>
- Vattenliv. (den 25 08 2019). Hämtat från <https://www.vattenliv.se/produkt/luftpump-flakt-vb-390g-30000/>
- Wickman, P. (2010). *Bättre klimatskärm - Att ställa krav och följa upp*.
- Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., & Joly, A. (2016). *Survey of aquaponics in europe*.
- Youngwoon, K. (2018). Modeling of energy intensity in aquaculture: Future energy use of global aquaculture. *Journal of Aquaculture: Fisheries & Fish Science*.

Appendix 1 – Data från SMHI/SLU

Datum	Solin-strålning [w/m ²]	Antal soltimmar	Lufttemp. [C°]	Marktemp. [C°]	Datum	Solin strålning [w/m ²]	Antal soltimmar	Lufttemp. [C°]	Marktemp. [C°]
2018-01-01	8,1	7	2,0	5,000	2018-02-01	60,4	9	0,6	4,040
2018-01-02	18,2	9	2,1	4,940	2018-02-02	29,4	10	-2,2	4,010
2018-01-03	22,0	9	2,0	4,910	2018-02-03	17,7	11	-3,2	3,980
2018-01-04	4,8	10	1,9	4,880	2018-02-04	91,9	10	-5,2	3,950
2018-01-05	14,4	10	0,2	4,850	2018-02-05	80,8	11	-8,4	3,920
2018-01-06	28,4	10	-4,6	4,820	2018-02-06	69,0	10	-7,4	3,890
2018-01-07	40,0	10	-3,7	4,790	2018-02-07	38,1	11	-6,9	3,860
2018-01-08	42,9	10	-1,9	4,760	2018-02-08	71,6	11	-2,9	3,830
2018-01-09	49,2	8	-2,2	4,730	2018-02-09	111,7	12	-1,9	3,800
2018-01-10	43,8	9	-6,1	4,700	2018-02-10	50,5	10	-4,1	3,770
2018-01-11	9,7	10	-0,9	4,670	2018-02-11	17,3	11	-2,5	3,740
2018-01-12	11,4	10	-0,4	4,640	2018-02-12	56,1	11	0,6	3,710
2018-01-13	7,4	9	-0,7	4,610	2018-02-13	39,1	12	0,1	3,680
2018-01-14	9,8	9	-0,2	4,580	2018-02-14	74,4	12	-1,1	3,650
2018-01-15	3,6	9	-0,8	4,550	2018-02-15	73,5	12	-1,2	3,620
2018-01-16	3,4	10	-0,1	4,520	2018-02-16	36,5	12	-0,6	3,590
2018-01-17	18,5	10	-3,1	4,490	2018-02-17	103,9	12	-1,6	3,560
2018-01-18	19,5	10	-3,1	4,460	2018-02-18	59,8	12	-1,7	3,530
2018-01-19	52,2	9	-4,4	4,430	2018-02-19	49,9	12	-3,8	3,500
2018-01-20	61,7	10	-4,0	4,400	2018-02-20	140,4	12	-6,4	3,470
2018-01-21	53,5	10	-10,0	4,370	2018-02-21	136,2	12	-7,4	3,440
2018-01-22	33,2	10	-7,0	4,340	2018-02-22	121,0	12	-6,1	3,410
2018-01-23	45,6	10	-3,2	4,310	2018-02-23	82,7	12	-5,8	3,380
2018-01-24	24,6	10	2,8	4,280	2018-02-24	148,4	12	-9,7	3,350
2018-01-25	54,0	10	5,6	4,250	2018-02-25	150,7	12	-8,2	3,320
2018-01-26	39,9	10	3,4	4,220	2018-02-26	105,5	12	-6,5	3,290
2018-01-27	75,2	10	-0,6	4,190	2018-02-27	127,9	12	-13,1	3,260
2018-01-28	18,3	10	0,8	4,160	2018-02-28	120,3	12	-12,6	3,230
2018-01-29	15,8	10	0,4	4,130					
2018-01-30	52,0	10	-1,8	4,100					
2018-01-31	24,9	10	0,0	4,070					
2018-03-01	92,0	12	-11,3	3,200	2018-04-01	58,4	16	-1,1	2,270
2018-03-02	166,8	12	-8,5	3,170	2018-04-02	263,7	15	-0,2	2,240
2018-03-03	199,7	12	-9,6	3,140	2018-04-03	290,8	16	0,0	2,210
2018-03-04	139,8	12	-5,8	3,110	2018-04-04	52,0	16	3,0	2,180
2018-03-05	83,9	14	-5,7	3,080	2018-04-05	45,9	16	4,1	2,150
2018-03-06	55,7	14	-2,7	3,050	2018-04-06	103,5	16	1,8	2,120
2018-03-07	105,3	14	-2,5	3,020	2018-04-07	246,2	16	3,1	2,090
2018-03-08	40,2	13	-2,4	2,990	2018-04-08	192,7	16	6,5	2,060
2018-03-09	45,0	14	0,1	2,960	2018-04-09	137,6	15	2,1	2,030
2018-03-10	31,6	14	-2,9	2,930	2018-04-10	334,7	16	2,1	2,000
2018-03-11	84,7	14	-1,5	2,900	2018-04-11	315,9	17	2,5	2,050
2018-03-12	34,3	14	1,0	2,870	2018-04-12	323,9	17	3,6	2,100

2018-03-13	37,3	13	-0,4	2,840	2018-04-13	328,8	17	5,2	2,150
2018-03-14	91,5	14	-4,2	2,810	2018-04-14	302,7	17	8,1	2,200
2018-03-15	184,8	14	-7,4	2,780	2018-04-15	140,9	16	5,1	2,250
2018-03-16	203,4	14	-8,1	2,750	2018-04-16	175,0	17	6,8	2,300
2018-03-17	230,9	14	-7,1	2,720	2018-04-17	308,7	17	7,9	2,350
2018-03-18	266,0	14	-3,5	2,690	2018-04-18	131,8	17	9,1	2,400
2018-03-19	130,7	14	-0,3	2,660	2018-04-19	279,8	17	11,7	2,450
2018-03-20	266,8	14	-3,6	2,630	2018-04-20	302,4	18	15,8	2,500
2018-03-21	261,3	14	-0,8	2,600	2018-04-21	341,6	17	11,3	2,550
2018-03-22	232,1	14	1,0	2,570	2018-04-22	320,1	18	8,4	2,600
2018-03-23	189,0	14	1,0	2,540	2018-04-23	177,9	18	6,8	2,650
2018-03-24	168,2	14	1,4	2,510	2018-04-24	208,7	18	8,3	2,700
2018-03-25	250,4	15	3,1	2,480	2018-04-25	296,7	18	8,3	2,750
2018-03-26	265,0	15	-3,2	2,450	2018-04-26	237,6	18	7,0	2,800
2018-03-27	249,8	16	-5,3	2,420	2018-04-27	252,5	18	7,2	2,850
2018-03-28	273,5	16	-3,4	2,390	2018-04-28	267,2	18	7,3	2,900
2018-03-29	299,4	15	-2,7	2,360	2018-04-29	121,6	16	7,6	2,950
2018-03-30	296,6	15	-1,8	2,330	2018-04-30	216,9	18	7,2	3,000
2018-03-31	244,2	15	-1,7	2,300					
2018-05-01	185,1	19	7,8	3,050	2018-06-01	401,7	20	17,9	4,600
2018-05-02	133,2	18	8,2	3,100	2018-06-02	304,2	22	20,5	4,650
2018-05-03	120,6	19	7,3	3,150	2018-06-03	314,2	22	20,6	4,700
2018-05-04	231,9	19	9,3	3,200	2018-06-04	336,3	22	16,5	4,750
2018-05-05	375,7	18	12,0	3,250	2018-06-05	262,1	22	8,8	4,800
2018-05-06	335,4	19	14,4	3,300	2018-06-06	307,2	21	9,5	4,850
2018-05-07	360,4	19	16,6	3,350	2018-06-07	311,4	21	16,1	4,900
2018-05-08	348,4	19	16,5	3,400	2018-06-08	349,1	23	14,5	4,950
2018-05-09	370,2	19	14,3	3,450	2018-06-09	344,7	23	18,3	5,000
2018-05-10	346,1	20	14,1	3,500	2018-06-10	276,5	23	21,0	5,050
2018-05-11	331,3	20	16,8	3,550	2018-06-11	242,6	22	17,6	5,100
2018-05-12	343,0	20	17,4	3,600	2018-06-12	304,9	23	14,0	5,150
2018-05-13	367,4	19	17,4	3,650	2018-06-13	212,0	23	13,8	5,200
2018-05-14	380,8	19	17,0	3,700	2018-06-14	258,4	23	17,2	5,250
2018-05-15	375,6	19	17,9	3,750	2018-06-15	350,7	23	18,0	5,300
2018-05-16	351,6	20	18,6	3,800	2018-06-16	303,4	23	17,0	5,350
2018-05-17	150,0	20	10,9	3,850	2018-06-17	251,0	23	16,5	5,400
2018-05-18	376,9	20	11,0	3,900	2018-06-18	244,2	21	15,5	5,450
2018-05-19	376,1	20	13,1	3,950	2018-06-19	274,7	23	16,1	5,500
2018-05-20	355,5	21	17,8	4,000	2018-06-20	234,1	22	13,4	5,550
2018-05-21	348,5	21	18,3	4,050	2018-06-21	94,8	23	10,6	5,600
2018-05-22	334,6	20	17,1	4,100	2018-06-22	184,4	21	11,3	5,650
2018-05-23	350,3	21	13,8	4,150	2018-06-23	274,3	22	12,3	5,700
2018-05-24	353,5	21	15,4	4,200	2018-06-24	270,5	22	13,8	5,750
2018-05-25	371,3	21	16,9	4,250	2018-06-25	324,2	23	15,9	5,800
2018-05-26	373,6	20	16,8	4,300	2018-06-26	252,7	23	17,1	5,850
2018-05-27	366,7	21	15,1	4,350	2018-06-27	346,6	23	19,6	5,900
2018-05-28	373,9	21	15,7	4,400	2018-06-28	389,7	19	21,8	5,950
2018-05-29	349,6	21	19,3	4,450	2018-06-29	215,2	23	13,3	6,000

2018-05-30	360,9	22	18,0	4,500	2018-06-30	303,9	22	13,2	6,050
2018-05-31	383,5	21	15,1	4,550					
2018-07-01	367,4	23	13,8	6,100	2018-08-01	324,4	19	25,8	7,260
2018-07-02	230,0	23	14,9	6,150	2018-08-02	210,9	20	24,3	7,280
2018-07-03	146,0	23	16,7	6,200	2018-08-03	357,9	18	22,6	7,300
2018-07-04	352,1	22	17,3	6,250	2018-08-04	232,8	19	19,4	7,320
2018-07-05	279,0	22	17,5	6,300	2018-08-05	295,3	19	17,6	7,340
2018-07-06	346,2	22	19,3	6,350	2018-08-06	323,9	19	16,0	7,360
2018-07-07	237,3	22	17,1	6,400	2018-08-07	359,6	18	18,3	7,380
2018-07-08	383,1	21	18,4	6,450	2018-08-08	311,5	19	24,2	7,400
2018-07-09	350,9	20	18,7	6,500	2018-08-09	270,9	19	23,3	7,420
2018-07-10	374,0	21	20,1	6,550	2018-08-10	253,1	19	22,2	7,440
2018-07-11	310,6	22	18,3	6,600	2018-08-11	313,3	18	18,2	7,460
2018-07-12	341,6	22	18,5	6,650	2018-08-12	147,3	18	13,1	7,480
2018-07-13	352,5	22	20,9	6,700	2018-08-13	358,6	18	14,0	7,500
2018-07-14	363,0	21	22,7	6,750	2018-08-14	171,0	18	15,3	7,520
2018-07-15	317,4	22	24,5	6,800	2018-08-15	173,7	18	16,5	7,540
2018-07-16	364,3	21	24,5	6,850	2018-08-16	262,9	18	19,4	7,560
2018-07-17	347,2	21	24,2	6,900	2018-08-17	244,9	18	19,6	7,580
2018-07-18	336,8	22	24,6	6,950	2018-08-18	276,0	18	17,2	7,600
2018-07-19	323,2	20	23,4	7,000	2018-08-19	277,3	17	17,4	7,620
2018-07-20	279,0	21	23,0	7,020	2018-08-20	142,2	18	15,1	7,640
2018-07-21	198,0	21	21,5	7,040	2018-08-21	330,1	18	13,5	7,660
2018-07-22	352,4	20	19,8	7,060	2018-08-22	221,6	18	15,4	7,680
2018-07-23	279,1	20	20,9	7,080	2018-08-23	252,5	17	20,0	7,700
2018-07-24	254,4	20	24,4	7,100	2018-08-24	238,8	17	17,8	7,720
2018-07-25	357,9	20	25,2	7,120	2018-08-25	266,0	17	14,1	7,740
2018-07-26	372,7	19	25,4	7,140	2018-08-26	245,4	16	12,4	7,760
2018-07-27	368,0	19	23,4	7,160	2018-08-27	226,7	16	13,1	7,780
2018-07-28	242,9	20	23,4	7,180	2018-08-28	216,8	17	16,0	7,800
2018-07-29	201,8	19	22,0	7,200	2018-08-29	216,3	17	15,8	7,820
2018-07-30	241,3	20	23,3	7,220	2018-08-30	136,0	16	16,4	7,840
2018-07-31	271,1	19	24,3	7,240	2018-08-31	78,6	15	15,1	7,860
2018-09-01	152,2	17	14,9	7,880	2018-10-01	147,2	13	6,8	8,480
2018-09-02	287,0	17	15,2	7,900	2018-10-02	118,8	14	4,7	8,500
2018-09-03	297,9	16	16,3	7,920	2018-10-03	173,8	13	5,1	8,520
2018-09-04	198,4	16	16,0	7,940	2018-10-04	183,1	13	4,9	8,540
2018-09-05	232,1	16	14,6	7,960	2018-10-05	147,2	13	11,7	8,560
2018-09-06	199,7	15	14,1	7,980	2018-10-06	103,5	13	8,2	8,580
2018-09-07	87,9	16	15,9	8,000	2018-10-07	183,9	13	4,8	8,600
2018-09-08	200,7	15	17,3	8,020	2018-10-08	53,1	13	7,8	8,620
2018-09-09	275,7	15	14,7	8,040	2018-10-09	79,7	13	13,2	8,640
2018-09-10	132,4	16	15,4	8,060	2018-10-10	70,5	12	13,8	8,660
2018-09-11	111,8	15	13,5	8,080	2018-10-11	67,2	13	11,4	8,680
2018-09-12	220,2	16	14,0	8,100	2018-10-12	161,8	13	12,0	8,700
2018-09-13	260,4	15	13,1	8,120	2018-10-13	114,2	13	13,5	8,720
2018-09-14	198,1	15	13,4	8,140	2018-10-14	165,7	13	14,2	8,740
2018-09-15	196,1	15	13,0	8,160	2018-10-15	157,0	13	12,8	8,760

2018-09-16	255,3	15	11,2	8,180	2018-10-16	79,5	12	8,8	8,780
2018-09-17	142,6	15	12,8	8,200	2018-10-17	65,0	13	11,5	8,800
2018-09-18	169,5	15	15,0	8,220	2018-10-18	122,8	12	9,7	8,820
2018-09-19	225,7	15	17,5	8,240	2018-10-19	150,7	12	3,0	8,840
2018-09-20	172,6	15	15,5	8,260	2018-10-20	75,5	12	5,7	8,860
2018-09-21	110,6	15	15,0	8,280	2018-10-21	58,2	12	9,1	8,880
2018-09-22	192,6	15	11,9	8,300	2018-10-22	166,5	11	8,4	8,900
2018-09-23	192,5	15	9,2	8,320	2018-10-23	47,0	11	5,1	8,920
2018-09-24	216,7	15	6,7	8,340	2018-10-24	157,0	11	3,8	8,940
2018-09-25	250,2	14	7,7	8,360	2018-10-25	131,2	11	2,0	8,960
2018-09-26	29,9	15	10,9	8,380	2018-10-26	125,9	11	0,2	8,980
2018-09-27	170,8	13	7,9	8,400	2018-10-27	37,1	11	1,5	9,000
2018-09-28	133,1	14	5,4	8,420	2018-10-28	112,2	11	-0,5	8,938
2018-09-29	161,4	14	6,5	8,440	2018-10-29	77,0	11	0,5	8,877
2018-09-30	145,3	13	10,6	8,460	2018-10-30	10,1	10	5,7	8,815
					2018-10-31	42,8	11	9,3	8,754
2018-11-01	89,2	11	7,0	8,692	2018-12-01	10,3	8	2,5	6,846
2018-11-02	23,8	11	9,2	8,631	2018-12-02	13,5	9	4,0	6,785
2018-11-03	57,4	11	7,2	8,569	2018-12-03	5,6	9	5,1	6,723
2018-11-04	108,1	11	5,1	8,508	2018-12-04	18,0	9	4,3	6,662
2018-11-05	16,0	11	7,0	8,446	2018-12-05	49,3	9	-0,7	6,600
2018-11-06	11,5	11	7,8	8,385	2018-12-06	18,6	9	0,2	6,538
2018-11-07	16,7	11	7,0	8,323	2018-12-07	7,2	9	2,1	6,477
2018-11-08	10,8	11	7,1	8,262	2018-12-08	10,8	8	4,6	6,415
2018-11-09	11,1	11	7,2	8,200	2018-12-09	12,3	8	4,5	6,354
2018-11-10	11,2	9	6,9	8,138	2018-12-10	27,4	9	0,4	6,292
2018-11-11	8,9	11	7,7	8,077	2018-12-11	10,1	9	2,7	6,231
2018-11-12	20,4	10	8,2	8,015	2018-12-12	17,3	9	0,1	6,169
2018-11-13	23,9	10	7,5	7,954	2018-12-13	14,3	9	-0,9	6,108
2018-11-14	17,6	10	7,1	7,892	2018-12-14	26,5	9	-2,4	6,046
2018-11-15	31,3	11	8,1	7,831	2018-12-15	11,6	9	-4,0	5,985
2018-11-16	72,6	10	7,6	7,769	2018-12-16	10,1	9	-0,5	5,923
2018-11-17	57,0	10	4,7	7,708	2018-12-17	16,9	8	-1,3	5,862
2018-11-18	21,3	11	4,3	7,646	2018-12-18	18,1	9	-1,0	5,800
2018-11-19	38,7	10	0,5	7,585	2018-12-19	7,9	9	-0,6	5,738
2018-11-20	37,1	9	-0,4	7,523	2018-12-20	2,3	9	0,5	5,677
2018-11-21	17,9	9	0,9	7,462	2018-12-21	2,6	9	-2,0	5,615
2018-11-22	37,8	10	-2,9	7,400	2018-12-22	12,2	8	-3,2	5,554
2018-11-23	15,1	9	-4,9	7,338	2018-12-23	16,0	8	-5,6	5,492
2018-11-24	45,9	9	-3,5	7,277	2018-12-24	31,8	9	-7,4	5,431
2018-11-25	62,4	9	-4,1	7,215	2018-12-25	30,9	8	0,7	5,369
2018-11-26	46,8	9	-2,2	7,154	2018-12-26	38,1	8	2,5	5,308
2018-11-27	59,6	9	-5,8	7,092	2018-12-27	28,9	9	-0,9	5,246
2018-11-28	54,1	9	-7,7	7,031	2018-12-28	41,0	8	-2,6	5,185
2018-11-29	26,7	9	1,8	6,969	2018-12-29	14,1	9	-1,9	5,123
2018-11-30	9,6	9	3,1	6,908	2018-12-30	19,9	9	-2,1	5,062
					2018-12-31	20,7	9	-1,7	5,000