

Växthusodling i symbios med Örtoftaverket

Johan Sunesson & Winston Ivarsson

Juni 2025, Lund

Föreliggande examensarbete på civilingenjörsnivå har genomförts vid Avd. För Energihushållning, Inst för Energivetenskaper, Lunds universitet - LTH samt vid *Krafttringen Energi AB* i Örtofta.Handledare på *Krafttringen Energi AB*: Peter Ottosson; handledare på LU-LTH: Jens Klingmann; examinator på LU-LTH: Marcus Thern.

Examensarbete på Civilingenjörsnivå

ISRN: LUTMDN/TMPH-25/5618-SE

ISSN: 0282-1990

© 2025 Johan Sunesson och Winston Ivarsson

Energihushållning

Institutionen för Energivetenskaper

Lunds universitet - Lunds Tekniska Högskola

Box 118, 221 00 Lund

www.energy.lth.se

Förord

Detta examensarbete markerar avslutningen under vår femåriga utbildning på Maskinteknik vid Lunds Tekniska Högskola, där vi har specialiserat oss inom energiteknik. Detta givande arbete har utförts på Institutionen för Energivetenskaper på LTH i samarbete med *Krafttringen*.

Vi vill rikta ett stort tack till alla som bidragit till att möjliggöra detta projekt. Först och främst vill vi tacka vår handledare på LTH, doktorand Axel Johansson, som inte bara har väglett oss, utan även introducerat oss till ämnet från första början. Vi vill även tacka vår andra handledare på LTH, professor Jens Klingmann. Ett speciellt stort tack går till Peter Ottosson, vår handledare på *Krafttringen*. Ditt stöd, din kunskap och ditt engagemang har varit ovärderligt under hela arbetet.

Även ett särskilt tack vill vi rikta till Marie Caesar Björk på *Krafttringen*, för guidning och hjälp med vattenproverna ute på Örtoftaverket. Thomas Lilja på Elleholms tomatodling har varit till stor hjälp genom att generöst ha delat med sig av sin expertis och tagit emot oss för ett givande studiebesök, tack för det!

Slutligen vill också tacka vår examinator Marcus Thern, universitetslektor på LTH, för sitt engagemang under vår utbildning.

Innehållsförteckning

Figurlista.....	ix
Tabellista.....	xi
Förkortningar och terminologi (A-Ö).....	xiii
Sammanfattning.....	xv
Abstract.....	xvii
1 Inledning.....	1
1.1 Syfte	2
1.2 Frågeställning.....	2
1.3 Avgränsningar	2
2 Teori	3
2.1 Kraftvärmeverk	3
2.2 Örtoftaverket – Processer.....	4
2.2.1 Rökgaskondensering och rening	4
2.2.2 Skaksil.....	5
2.2.3 Ultrafilter	5
2.2.4 RO-anläggning.....	5
2.2.5 Avskiljning av koldioxid.....	5
2.2.6 Elektrodejonisering	5
2.2.7 Mixbädd	6
2.2.8 Renat vatten	6
2.2.9 Sänkt returtemperatur	6
2.3 Hydroponisk växthusodling	9
2.3.1 Plantering	9
2.3.2 Näringslösning	10
2.3.3 Bevattning	10
2.3.4 Växthusdesign.....	11
2.3.5 Golv	13
2.3.6 Stommens material	13
2.3.7 Täckningsmaterial.....	14
2.3.8 Energiväv	15
2.3.9 Växthusförhållanden	15

2.3.10	Ventilation	17
2.4	Grödor	17
2.4.1	Tomat	17
2.4.2	Gurka	19
2.5	Värme	20
2.5.1	Värmeutbyte med omgivning	20
2.5.2	Konduktion- och konvektionsförluster	21
2.5.3	Golv- och omkrets-förluster	21
2.5.4	Utstrålning	22
2.5.5	Evapotranspiration	23
2.5.6	Ventilationsförluster	24
2.5.7	Belysning	25
2.5.8	Solstrålning	25
2.5.9	Växthusuppvärmning	26
2.5.10	Alternativ uppvärmning	27
2.5.11	Temperaturreglering	28
3	Metod	29
3.1	Värmebalansberäkning	29
3.2	Tryckfallsberäkning	32
3.3	Vattenprover	34
3.4	Vattenbalansberäkning	34
3.5	Investerings- och känslighetsanalys	35
4	Dimensionering	37
4.1	Antaganden kring växthusförhållanden	37
4.2	Resultat av dimensionering	39
5	Växthuset: Beskrivning och kostnader	41
5.1	Ytor	41
5.1.1	Mark	41
5.1.2	Växthuset, odlingsareorna och gångarna	42
5.1.3	Antal rader och toppar	43
5.1.4	Golv	45
5.1.5	Mittengången	45
5.1.6	Växtbelysning	49
5.1.7	Ventilation & fläktar	49
5.1.8	Växthusområdet	50
5.1.9	Reservoaren	52
5.2	Uppvärmningssystemet	56

5.2.1	Beskrivning av systemet	56
5.2.2	Pumpdimensionering	59
5.2.3	Alternativ uppvärmning	60
5.2.4	Värmebehov	61
5.3	Vatten	67
5.3.1	Vattenanvändning.....	67
5.3.2	Resultat av vattenprover	72
5.3.3	Från reservoar till mixtank.....	74
5.3.4	Bevattning	75
5.3.5	Recirkulering av vatten	76
5.3.6	Vattenöverskott	77
5.3.7	Sekundär vattenkälla	78
5.4	Försäljning och administration.....	79
6	Ekonomiska kalkyler	81
6.1	Investering.....	81
6.2	Resultatkalkyl.....	84
6.3	Återbetalningstid.....	87
6.4	Känslighetsanalys.....	88
7	Diskussion	89
7.1	Ekonomisk analys	89
7.2	Värme.....	90
7.3	Vatten	90
7.4	Symbios med Krafteringen	91
7.5	Klimatpåverkan	91
7.6	Alternativa lösningar.....	92
Appendix A		93
Litteraturförteckning		99

Figurlista

Figur 2.1: Rening av rökgaskondensat på Örtoftaverket [10]	4
Figur 2.2: Sambandet mellan returtemperatur och effekt i Örtoftaverkets rökgaskondenseringsprocess [13]	7
Figur 2.3: Samband mellan kylvattentemperatur och ångturbineffekt [13]	8
Figur 2.4: Blandningen av näringslösning	10
Figur 2.5: Vanliga växthusdesigner [22]	11
Figur 3.1: Plattvärmväxlare [79]	30
Figur 5.1: Växthusets layout	43
Figur 5.2: Radsystemets utformning i en odlingsarea	43
Figur 5.3: Layout av mittengången, tomatodling	46
Figur 5.4: Layout av mittengången, gurkodling	46
Figur 5.5: Layout av växthusområdet vid odling av tomat	52
Figur 5.6: Layout av växthusområdet vid odling av gurka	52
Figur 5.7: Reservoar (tomat), sedd rakt ovanifrån	53
Figur 5.8: Reservoar (tomat), sedd snett ovanifrån	54
Figur 5.9: Reservoar (gurka). Till vänster: Sedd rakt ovanifrån. Till höger: Måttfatt rektangel samt triangel. (<i>SolidWorks</i>)	55
Figur 5.10: Reservoar (gurka), sedd snett ovanifrån. (<i>SolidWorks</i>)	55
Figur 5.11: Layout uppvärmningssystemets flödesschema, ej korrekt antal rader	58
Figur 5.12: Inzoomning på rören i uppvärmningssystemet för en odlingsarea	58
Figur 5.13: Avståndet från mittengången till första raden i en odlingsarea (beroende på gröda som odlas)	59
Figur 5.14: Avståndet från slutet av raden, till väggen, samt sista raden till väggen (beroende på gröda som odlas)	59
Figur 5.15: Beräknat värmebehov för växthuset vid odling av tomat	62
Figur 5.16: Beräknad överförbar värme till växthuset vid odling av tomat	63
Figur 5.17: Beräknat värmebehov för växthuset vid odling av gurka	63
Figur 5.18: Beräknad överförbar värme till växthuset vid odling av gurka	64
Figur 5.19: Beräknad temperatursänkning av returflödet vid tomatodling	65
Figur 5.20: Beräknad procentuell turbineffektökning vid tomatodling	65
Figur 5.21: Beräknad temperatursänkning av returflödet vid gurkodling	66

Figur 5.22: Beräknad procentuell turbineffektökning vid gurkodling.....	66
Figur 5.23: Bevattningsbehov per dygn under ett år vid tomatodling.....	67
Figur 5.24: Bevattningsbehov per dygn under ett år vid gurkodling.....	68
Figur 5.25: Mängden regnvatten som beräknas falla på växthuset och reservoaren vid tomatodling, under 2021–2023.....	69
Figur 5.26: Mängden regnvatten som beräknas falla på växthuset och reservoaren vid gurkodling, under 2021–2023	69
Figur 5.27: Flödet av rök-gaskondensat från Örtöftverket under 2021–2023	70
Figur 5.28: Reservoarens vattenvolym vid tomatodling under 2021–2023	71
Figur 5.29: Reservoarens vattenvolym vid gurkodling under 2021–2023	71
Figur 6.1: Återbetalningstidens känslighet beroende på investeringskostnad, försäljningspris, och producerad mängd.....	88

Tabellista

Tabell 2.1: Olika växthusstommar och dess rekommenderade täckmaterial och tålighet [22].....	12
Tabell 2.2: Täckmaterialens egenskaper [22]	15
Tabell 4.1: Parametervärden för 16 mm polykarbonatplattor.....	38
Tabell 4.2: Fysikaliska parametrar som använts vid beräkningar.....	38
Tabell 4.3: Parametervärden som varierar beroende på gröda.....	39
Tabell 5.1: Olika ytor och dess storlekar enligt Figur 5.5 och Figur 5.6. Fetstilta ingår i totalarean, icke-fetstilta ingår inte	56
Tabell 5.2: Resultat av vattenprover	72
Tabell 5.3: Inköspriser för gödningssalter	75
Tabell 5.4: Pumpbehov och motsvarande pumpar	78
Tabell 6.1: Investeringskostnader för tomatodling i växthus för tre olika fall.....	81
Tabell 6.2: Investeringskostnader för gurkodling i växthus för tre olika fall	82
Tabell 6.3: Sammanställning av intäkter och kostnader vid tomatodling.....	84
Tabell 6.4: Resultatkalkyl vid tomatodling.....	85
Tabell 6.5: Sammanställning av intäkter och kostnader vid gurkodling.....	85
Tabell 6.6: Resultatkalkyl vid gurkodling.....	86
Tabell 6.7: Återbetalningstid för de olika fallen	87
Tabell A.1: Prislista över investeringskostnader.....	93
Tabell A.2: Prislista över O&M-kostnader	97

Förkortningar och terminologi (A-Ö)

EDI	Elektrodejonisering
Emissivitet	Mått på hur bra en yta avger värmestrålning.
EC-värde	En vätskas strömledande förmåga.
Evapotranspiration	Vattenförlust via växters transpiration och avdunstning.
Hydroponisk odling	Odling utan jord.
Konduktion	Överföring av värme genom ett eller mellan material som är i kontakt.
Konvektion	Värmeöverföring mellan en fast yta och en gas eller vätska.
lx	Lumen/m ²
Resins	Små plastkulor av syntetiskt harts.
RO	Reverse Osmosis (Omvänd osmos)
TDH	Total dynamic head (Total dynamisk höjd)
TOP	Tank orenat processvatten
Transmissivitet	Ett mediums förmåga att låta ljus eller strålning passera det.
Transpiration	En process där växter avger vattenånga genom sina blad.

Sammanfattning

Kraftvärmeverk producerar el, och levererar värme till fjärrvärmenätet. Nätets returflöde till dessa verk har generellt en relativt hög temperatur, och det finns idag verksamheter som använder sig av denna returvärme för att värma upp anläggningar och utrymmen som har värmebehov. Det finns en potential att på liknande sätt utnyttja denna för uppvärmning av växthus, vilket utgör en synergimöjlighet mellan odling och energiproduktion. Vid förbränningen som sker i kraftvärmeverk bildas varma rökgaser. För att ta tillvara på värmen i dessa används ofta rökgaskondenseringsprocesser vilket resulterar i att vatten i form av rökgaskondensat produceras. Detta vatten hade, likt värmen, kunnat användas till växthusodling.

Denna rapport undersöker därmed hur Örtoftaverkets returvärme och rökgaskondensat kan användas vid växthusodling, samt lönsamheten av en sådan investering. Genom att ta vara på dessa resurser kan kraftvärmeverkets drift även bli mer effektiv, då sänkt returtemperatur exempelvis kan öka verkets elproduktion.

Genom att ställa upp och implementera en modell för värme- och vattenbalansen i ett växthus har en metodik för att dimensionera växthus tagits fram, tillsammans med en möjlig lösning för att utnyttja Örtoftaverkets rökgaskondensat och returvärme till växthusodling. Resultaten indikerar att ett växthus på 81 000 m² teoretiskt hade kunnat bedrivas i symbios med verket.

En ekonomisk analys har utförts, där odling av tomat och gurka utretts i tre scenarier vardera: ett optimistiskt, ett pessimistiskt och ett medelfall. Dessa scenarier bygger på antaganden och uppskattningar kring investerings- och produktionskostnader, samt marknadspriser. Resultaten visar att tomatodling kan vara mer lönsamt än gurkodling, men att lönsamheten är osäker även i det optimistiska fallet. I den ekonomiska analysen har en känslighetsanalys ingått, vilket har givit en indikation på vilka parametrar som är mest kritiska för lönsamheten av en växthusodling.

Diskussionen utreder hur de olika resultaten förhåller sig till verkliga exempel, och vilka faktorer som kan påverka utfallen. Även alternativa lösningar för att utnyttja returvärme och rökgaskondensat från kraftvärmeverk har lyfts fram, samt potentiella områden där fortsatt analys hade kunnat ge relevanta insikter.

Abstract

Cogeneration plants generate electricity and supply heat to the district heating network. The return flow from the network to these plants generally has a relatively high temperature, and there are currently operations that utilize this return heat to warm facilities and spaces with heating needs. There is potential to similarly use this return heat for greenhouse heating, which presents a synergy opportunity between cultivation and energy production. When fuel is burned in a cogeneration plant, hot flue gases are generated. To recover the heat from these gases, flue gas condensation processes are often used, resulting in the production of water in the form of flue gas condensate. This water, like the return heat, could be utilized for greenhouse cultivation.

This report therefore investigates if the return heat and flue gas condensate from Örtöftaverket can be used for greenhouse growing, as well as the profitability of such an investment. By utilizing these resources, the cogeneration plant can also become more efficient, as a reduced return temperature can increase the plants electricity production.

By setting up and implementing a model for the heat- and water balance in a greenhouse, a methodology for greenhouse dimensioning has been developed, along with a potential solution for utilizing the Örtöftaverkets flue gas condensate and return heat in conjunction with greenhouse growing. The results indicate that a greenhouse with a size of 81 000 m² theoretically could operate in symbiosis with the plant.

An economic analysis has been carried out, where cultivation of tomato and cucumber has been evaluated in three scenarios each: an optimistic, a pessimistic, and an average. These scenarios are based on assumptions and estimations regarding investment- and production costs, as well as market prices. The results show that tomato cultivation might be more profitable than cucumber cultivation, but long-term profitability is uncertain, even in the optimistic case. The economic analysis also included a sensitivity analysis, which has given an indication of what parameters are most critical to the profitability of a greenhouse operation.

The discussion evaluates how the different results compare to real-world examples, and what factors might influence these outcomes. Alternative solutions for utilizing the by-products of cogeneration plants are also highlighted, along with potential areas where further analysis might provide valuable insights.

Kapitel 1

Inledning

Krafttringen har ett kraftvärmeverk i Örtofta som drivs på biobränsle från lokala och regionala markägare i Skåne och södra Småland, detta bränsle är främst träflis vilket innehåller en viss mängd vatten. Det är en modern produktionsanläggning för både el och fjärrvärme, och levererar till ungefär 25 000 kunder i närområdet [1]. Verkets returflöde har generellt en temperatur mellan 35 °C och 55 °C, och det finns utrymme för ytterligare utnyttjande av dess värme. Anläggningen har en rökgaskondenseringsprocess som återvinner värme från rökgaserna. Som biprodukt av denna process produceras vatten, vilket renas och släpps ut i Kävlingeån [2]. Detta vatten används inte till något särskilt, något som öppnar upp för alternativa användningsområden.

Svensk växthusodling förbrukar stora mängder energi och vatten. Större delen av energiförbrukningen utgörs av uppvärmning. Utvecklingen går mot en mer hållbar energiförsörjning som mestadels består av förnybara energislag. Fossila bränslen utgör fortfarande en del av mixen men håller på att fasas ut [3]. Bevattningsvatten till odling kan komma från olika källor, vanligt är att regnvatten, ytvatten och kommunalt vatten används [4].

Att odla grönsaker i växthus är ett intressant alternativ där både Örtoftaverkets returvärme och rökgaskondensat skulle kunna komma till användning. Genom att ta vara på returvärmen hade uppvärmningsbehovet i ett växthus potentiellt kunnat tillgodoses, samtidigt som det renade rökgaskondensatet möjligen hade kunnat användas som bevattningsvatten i odlingen. En sådan samverkan hade bidragit till lokal livsmedelsproduktion och ökad försörjningsberedskap. Genom att minska beroendet av importerade livsmedel kan även transportrelaterade utsläpp reduceras. Det finns flera exempel på liknande samarbete mellan industri och odlare i Sverige, som bidrar till att minska utsläpp och genererar stor samhällsnytta.

Förutom de klimatmässiga fördelarna, kan det även finnas ekonomiska vinningar i en sådan lösning. I en traditionell växthusodling utgör uppvärmning och bevattning en stor del av driftskostnaderna, och genom att utnyttja restprodukter kan en billigare växthusodling bedrivas [5]. Om Örtoftaverkets returtemperatur sänks till följd av en avkylning i ett växthus, kan verkningsgraden av dess elproduktion och värmeproduktion öka, vilket innebär ökade intäkter [6].

1.1 Syfte

Det övergripande syftet med arbetet är att utreda möjligheten att utnyttja värmen i Örtoftaverkets returflöde, samt vattnet från dess rökgaskondenseringsprocess, i samband med växthusodling. Arbetet syftar även till att utvärdera lönsamheten i en sådan investering och identifiera vilka parametrar som är kritiska för att bedriva växthusodling på ett ekonomiskt hållbart sätt.

1.2 Frågeställning

- Hade Örtoftaverkets returvärme och rökgaskondensat kunnat användas för odling av grödor i växthus?
- Hade en sådan investering varit lönsam?
- Hur hade detta påverkat Örtoftaverkets produktion?

1.3 Avgränsningar

- Arbetet har avgränsats till att utvärdera endast tomat- och gurkodling, då de är de vanligaste svenska växthusgrödorna, samt att det finns en god tillgång av relevanta källor för dessa.
- I arbetet har endast hydroponisk odling antagits som odlingsmetod.
- Endast restprodukter i form av vatten och värme har undersökts.
- I den ekonomiska analysen har inga sannolikhetsbedömningar utförts.
- Arbetet tar inte hänsyn till en livscykelanalys, utan har avgränsats till effekterna inom själva växthusodlingen.
- Det har inte tagits någon hänsyn till huruvida det finns kapacitet i fjärrvärmenätet att producera den värme som växthuset behöver.

Kapitel 2

Teori

2.1 Kraftvärmeverk

Kraftvärmeverk producerar elektricitet och värme genom förbränning av diverse olika förbränningsbränslen, däribland naturgas, GPL (flytande petroleumgas), diesel, biogas, biometan, vegetabiliska oljor, trä- och hushållsavfall, samt biomassa. Fossila bränslen står för en liten andel av användandet, det håller på att fasas ut och ersättas av biobränslen. De vanligaste biobränslena utgörs av rester från skog såsom grenar, toppar och stubbar. Vanligt är att rester från industrier och hushåll också används [7].

I dagens läge producerar kraftvärmeverk ungefär 9 % av elen i Sverige där de svenska verken är väldigt effektiva tack vare dess höga verkningsgrad, definierad som kvoten mellan energimängden i bränslet som används och energin man får ut som el och värme. Värmen som bildas används för att värma upp vatten i fjärrvärmesystemet [7]. Det upphettade vattnet skickas, genom välisolerade rör under marken, till hushåll och verksamheter. Genom värmeväxlare i värmecentraler, placerade i varje byggnad, överförs värme till bostadens egna värmesystem. Detta ger sedan värme som går ut i element och kranar i bostäderna. Vattnet i rören kyls därmed av och leds tillbaka via en returledning till kraftvärmeverket för att kunna värmas upp igen och ledas ut mot hushåll och verksamheter på nytt [8].

Rökgaskondensering är en process som ofta används i kraftvärmeverk, och med hjälp av denna kan verkningsgraden gå från mellan 90 % och 93 %, hela vägen upp till 100 %. Mellan 30 % och 50 % av den tillförda energin blir till el där resterande andel blir värme. En viktig princip för ett kraftvärmeverks effektivitet är att det finns ett fjärrvärmenät som tar emot värmen som produceras, därmed är det en viktig förutsättning för lokalt producerad el från kraftvärme [7].

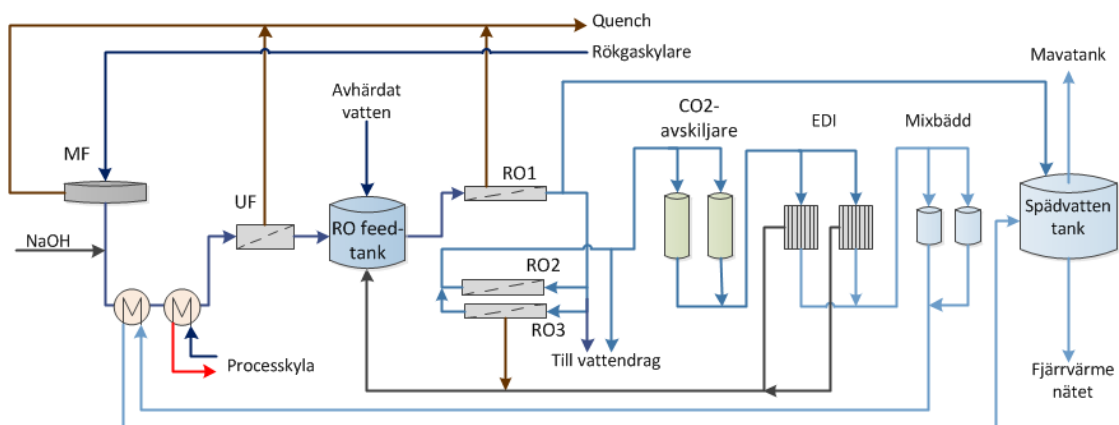
2.2 Örtoftaverket – Processer

För att kunna utvärdera möjligheten att utnyttja Örtoftaverkets returvärme och rökgaskondensat krävs en förståelse av dess huvudsakliga processer. Denna del fokuserar därför på Örtoftaverkets rökgaskondensering, vattenrening och dess värme- samt elproduktion.

2.2.1 Rökgaskondensering och rening

Rökgasen som bildas vid förbränning i Örtoftaverket är varm, och energin i den utvinns med hjälp av pannsystem. Genom att kyla rökgasen ytterligare kan ännu mer energi utvinnas. Sänks dess temperatur under daggpunkten kommer vattenångan i rökgaserna att kondensera. När vattenångan kondenserar frigörs latent värme. Genom en rökgaskondenseringsprocess ökar en anläggnings verkningsgrad, givet att de finns ett flöde med tillräckligt låg temperatur som kan utnyttjas för att kyla rökgasen [9].

Örtoftaverket har ett system för rökgaskondensering i två delar: först en ”quench” och sedan en kondensor. Funktionen av quench är att sänka temperaturen, och öka mättnadsgraden av vatten hos den inkommande rökgasen. Kondensorn fungerar som en stor värmeväxlare mot fjärrvärmenätet, och här sänks temperaturen av rökgaserna ytterligare genom en värmeväxling mot fjärrvärmenätets returflöde, samtidigt som vattenångan i gaserna kondenserar. Vid nominell produktion kan 18 MW utvinnas från kondensorn, samt 18 m³/h vatten kondenseras. Det kondenserade vattnet renas sedan enligt Figur 2.1, vilket sker i flera steg [2].



Figur 2.1: Rening av rökgaskondensat på Örtoftaverket [10]

2.2.2 Skaksil

Kondensatet filtreras först genom en skaksil för att sortera ut grova partiklar från mindre partiklar. Den består av flera lager sildukar, där kondensatet faller genom dukarna med hjälp av vibrationer [9].

2.2.3 Ultrafilter

Ultrafilter (UF) är ett typ av filter med håldiameter på ungefär 0,8 mm. Kondensatet pumpas genom UF-filter i hög hastighet vilket filtrerar ut föroreningar. Innan UF-filtret så sker en temperatursänkning och pH-reglering av kondensatet [9].

2.2.4 RO-anläggning

Kondensatet leds till en RO-anläggning. "Reverse Osmosis" (RO), på svenska omvänd osmos, är en process som syftar till att separera salter från kondensatet. Ett RO-filter består av ett membran, genom vilket kondensat pressas med högt tryck. RO-filter är väldigt effektiva, och kan avlägsna 95 % till 98 % av salter [9]. Örtoftaverket har tre RO-filter, där vattnet antingen kan ledas till Kävlingeån eller användas som spolvatten efter första filtreringen, alternativt ledas vidare i reningsprocessen [10].

2.2.5 Avskiljning av koldioxid

För att avlägsna eventuellt löst koldioxid i kondensatet används membran som är designade för att ha en högre permeabilitet för koldioxidpartiklar än andra gaser. Kondensatet matas in på ena sidan av membranet medan ett vakuum skapas på andra sidan. Koldioxiden vandrar då från matarsidan med högt tryck (kvar blir kondensatet, utan bunden koldioxidgas) till vakuumsidan med lågt tryck, där den samlas [11].

2.2.6 Elektrodejonisering

Elektrodejonisering (EDI) består av fack med anjon- och katjonbytarmembran. Ett likströmsfält appliceras med hjälp av elektroder i ändarna av membranen och facken. Med det elektriska fältet så dras joner till motladdade elektroner. De fack vars anjonmembran är vänt mot en katod och vars katjonmembran är vänt mot en anod, så kallade koncentrationsfack, kommer således dra till sig joner som kan passera genom membranen. De fack som har en omvänd uppsättning, där anjonmembran är vänt mot en anod och katjonmembran är vänt mot en katod, kommer tömmas på joner, och kallas utspädningsfack [12].

2.2.7 Mixbädd

En mixbädd består av två typer av resins, som är positivt respektive negativt laddade. När vatten leds genom mixbädden attraherar dessa resins joner som finns i vattnet, och resultatet är avjoniserat vatten [2].

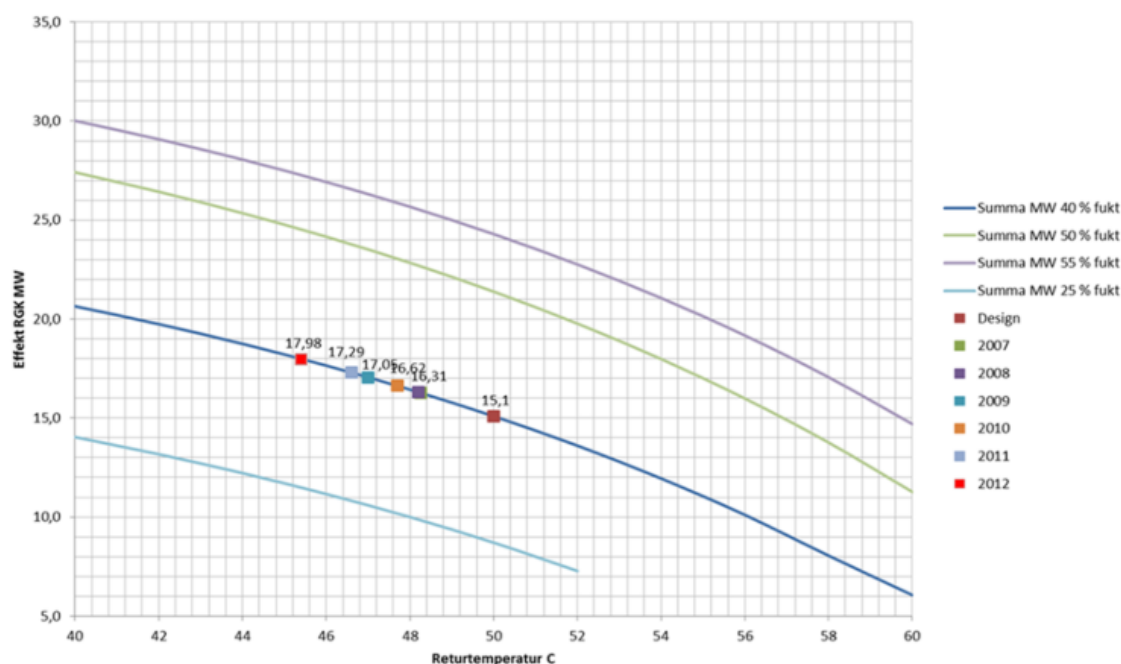
2.2.8 Renat vatten

Det renade rök-gaskondensatet används till flera saker på Örtoftaverket. En del av det går genom alla reningssteg och förs sedan till en spädvattenstank. Därifrån kan det antingen ledas till fjärrvärmenätet, eller till en mavatank där det senare används som matarvatten till ångpannan. Resterande del av rök-gaskondensatet släpps till Kävlingeån efter rening i det första RO-steget [10].

2.2.9 Sänkt returtemperatur

I ett kraftvärmeverk används vanligtvis fjärrvärmenätets returflöde som kylvatten i både rök-gaskondenseringsprocessen och ångturbinens ångcykel. Kan temperaturen av detta vatten sänkas, ökar dessa processers effektivitet [6].

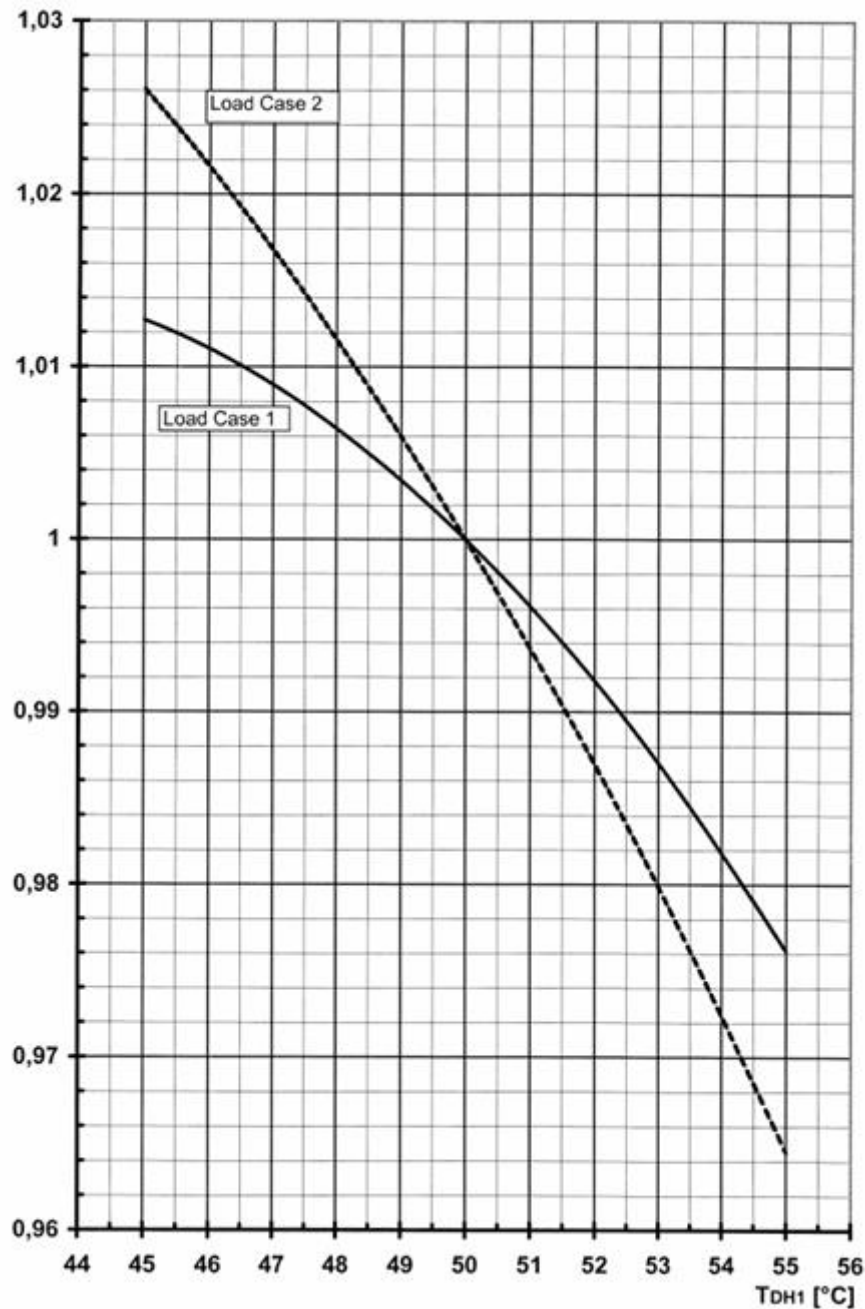
Figur 2.2 illustrerar hur effekten i Örtoftaverkets rök-gaskondenseringsprocess kan öka då temperaturen av returflödet sänks. Från figuren kan påverkan på denna effekt av fukttinnehållet i rökgaserna utläsas, där en högre fukthalt innebär en högre effekt [13].



Figur 2.2: Sambandet mellan returtemperatur och effekt i Örtoftaverkets rökgaskondenseringsprocess [13]

I en ångturbin utvinns el i dess expansionsprocess, där ångan expanderar från högt tryck till ett lågt tryck, det så kallade kondensationstrycket. Ett lägre kondensationstryck ger ett större tryckfall, vilket i sin tur ger ökad elproduktion. Kondensationstrycket i en turbin med endast ett kondenseringssteg bestäms av turbinens framledningstemperatur, och det är således denna som huvudsakligen avgör hur mycket eleffekt som kan produceras. Örtoftaverket har dock två kondenseringssteg, ett lågtryckssteg och ett högtryckssteg. Kondensationstrycket i lågtryckssteget beror till viss del på returtemperaturen, då en lägre returtemperatur även ger en lägre temperatur efter lågtryckskondenseringen, vilket innebär ett sänkt kondensationstryck i detta steg. Elproduktionen kan således öka med sänkt returtemperatur. [14] Figur 2.3 illustrerar hur eleffekten från Örtoftaverkets ångturbin ökar beroende på returtemperaturen. Grafen utgår från 39 MW produktion vid 50 °C. Ett andragradspolynom kan anpassas till sambandet för "load case 1", ekvationen för detta polynom redovisas i ekvation (2.1).

$$\text{Turbineffektsjustering} = -0,00003 \cdot T^2 + 0,0031 \cdot T + 0,9864 \quad (2.1)$$



Figur 2.3: Samband mellan kylvattentemperatur och ångturbineffekt [13]

Elin Sandström skriver i en rapport om ökad avkylning i fjärrvärmenät att flödet i fjärrvärmenätet kan sänkas om returtemperaturen är lägre [15]. Detta gäller, givet att anledningen bakom returtemperaturens sänkning är att effektuttaget hos framledningskunder effektiviseras. I denna rapport behandlas ett fall då fjärrvärmenätets returflöde används till uppvärmning, och då gäller inte nödvändigtvis samma förhållanden. Detta är på grund av att returtemperaturens sänkning då är till följd av att nätets effektbehov ökar, och inte till följd av

ett effektiviserat effektuttag. Framledningskunderna behöver alltså samma temperatur och flöde som innan, och dessa variabler bör då inte ändras [13].

2.3 Hydroponisk växthusodling

Hydroponisk odling är en odlingsmetod som inte kräver någon odlingsjord. Näringsämnen levereras istället till växter genom en vattenlösning. Genom hydroponisk odling kan grödor växa snabbare, då dess rötter suger upp näring direkt från vattenlösningen och inte behöver ta upp den från jord [16]. Genom noggrann mätning och kontroll av vattenlösningen kan optimala förhållanden och näringstillförsel lätt säkerställas. Hög mätprecision minskar även risken för att sjukdomar eller skadedjur sprids bland växter, vilket i sin tur minskar behovet av kemiska bekämpningsmedel. Hydroponisk odling har generellt sett en lägre vattenförbrukning än traditionellt jordbruk, vilket till stor del beror på att inget vatten rinner ut i jord utan istället återcirkuleras. Då odlingar kan byggas ut mer på höjden minskar behovet av yta, därmed kan det vara en mer utrymmeseffektiv metod jämfört med traditionellt jordbruk. Marken skonas även från att urlakas vilket gör att den kan användas betydligt längre än vid traditionellt jordbruk [17].

Genom att odla i växthus kan förhållanden optimeras ytterligare, då ett växthus skapar en isolerad miljö där variabler såsom temperatur, luftfuktighet och ljus kan anpassas efter växters behov [18].

2.3.1 Plantering

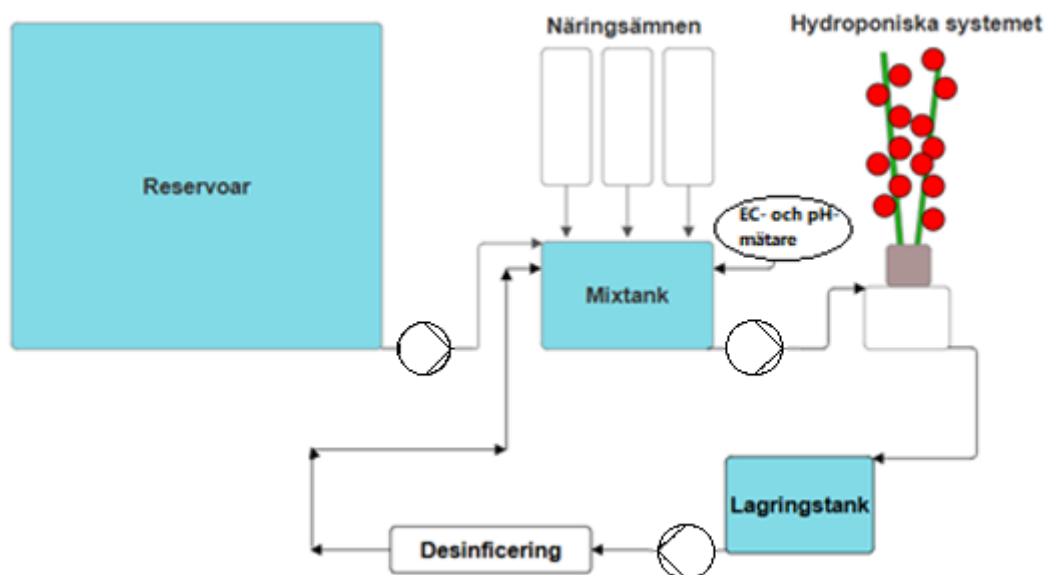
Även om hydroponisk odling sker utan att plantera i jord, så behövs ett odlingsmedium för att plantor ska kunna växa i något [17].

Det finns många olika odlingsmedier som kan användas vid hydroponisk odling. I vissa fall används bara vatten, men ofta används ett fast medium. Vanliga odlingsmedium som används är: skum, grus, sand, sågspån, kokosfiber, torv, vermikulit, perlit, pimpsten, risskal, och stenull. När det kommer till odling av tomat och gurka är stenull det vanligaste. Stenull är ett sorts fibermaterial, som produceras genom att smälta basalt, kalksten och koks, och sedan extrudera blandningen till tunna trådar som vävs samman. Vävnaderna pressas sedan ihop och skärs till mattor eller block. Resultatet är ett väldigt poröst inorganiskt odlingsmedium [17].

Odlare kan välja att antingen köpa förgrodda fröplantor i "odlingspluggar", eller att själva så frön från grunden. Dessa transplanteras sedan till block där dem fortsätter växa för att slutligen placeras på mattor i det hydroponiska systemet. Det vanligaste vid kommersiell produktion är att köpa in färdiga fröplantor, då odlare ofta vill undvika den svåra och komplicerade processen av att odla egna fröplantor [17].

2.3.2 Näringslösning

Vattenlösningen som tillsätts plantorna benämns ofta som näringslösning. Denna skapas genom att lösa gödningsalter i vatten. Vatten, till exempel från ett vattenlager, förs in i en mixtank. Där tillsätts salterna via gödningsdispensers (se Figur 2.4) där pH-värde samt näringskoncentration mäts. Näringskoncentrationen mäts med EC-mätare, där EC står för Electric Current och är ett mått på den elektriska konduktiviteten som indikerar hur stor den totala mängden salter i vattnet är. Vilka och hur mycket gödningsalter som tillsätts, beror på vilken gröda som odlas. Det finns förblandade gödningsprodukter, men vid större odlingsverksamhet bör gödningsalter införskaffas och blandas själv för att säkerställa korrekta andelar. Att blanda själv ger även möjligheten att anpassa blandningen, både efter plantors tillväxtfas, samt vid tillfällen då näringsbrister upptäcks i plantor [17].



Figur 2.4: Blandningen av näringslösning

2.3.3 Bevattning

Hydroponisk odling använder, som tidigare nämnt, mindre vatten än traditionellt jordbruk. Detta då vattenförluster genom avdunstning är betydligt mindre och vattenförluster till marken är obefintliga. Från mixtanken, se Figur 2.4, pumpas vatten blandat med näring till dem hydroponiska systemen, för att tillföras plantorna. Vattnet som inte absorberas av plantan kan ledas till en lagringstank. Från denna tank pumpas då vattnet till desinficering för att renas och sedan föras vidare till mixtanken igen. EC- och pH-värdet indikerar hur mycket av dem olika näringsämnena som behöver tillföras. Generellt sett vattnas det ungefär 25 % mer än vad som

teoretiskt krävs vid hydroponisk odling, för att säkerställa att alla plantor får tillräckligt mycket vatten som de behöver. Det vatten som används till bevattning i svenska odlingar kommer ofta till stor del från regnvatten. Vatten kan även tas upp från närliggande vattendrag eller köpas in vid behov [19].

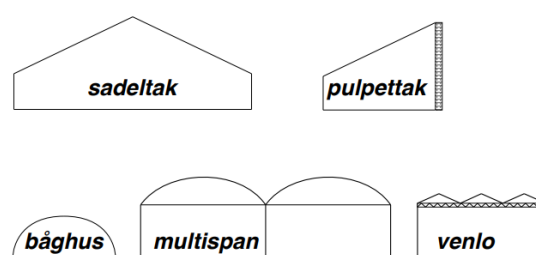
Det finns exempelvis en hydroponisk tomatodling i Frövi där regn och snö som samlas på växthuset utnyttjas. Vattnet lagras i en damm, och används sedan till bevattning. Odlingen ska teoretiskt sett klara sig på regnvatten tio månader om året. De resterande månaderna pumpas vatten upp från en närliggande sjö [20].

Temperaturen av bevattningsvatten bör ligga kring 18 °C till 20 °C. Kallare vatten chockar växterna medan varmare vatten kan innehålla mindre syre, en viktig aspekt för glukosproduktionen och bidrar till tillväxt. Viss avvikelse påverkar inte nämnvärt under kortare perioder, men temperaturen bör hållas i närheten av detta spann. Bevattningsvatten kan behövas kylas ner eller värmas upp, beroende på utomhustemperatur och temperatur på det tillförda vattnet [16].

För att undvika vattenstress, bör bevattning i hydroponiska system ske i cykler. Mellan 12 cykler och 14 cykler om dagen rekommenderas, med en cykellängd på 3 minuter till 4 minuter [21].

2.3.4 Växthusdesign

Växthus kan se olika ut beroende på vad som ska odlas och vilka förutsättningar som finns. Figur 2.5 visar fem vanliga typer av växthusdesigner: sadeltak, pulpettak, båghus, multispän och venlo där de två sistnämnda typiskt används vid kommersiell odling. Varje design har för- och nackdelar. I Tabell 2.1 anges egenskaper för multispän- och venlo design, bland annat dess tålighet samt dess rekommenderade täckmaterial [22].



Figur 2.5: Vanliga växthusdesigner [22]

Multispän-växthus är uppbyggda av flera sammanhängande sektioner som tillsammans skapar en stor, öppen yta under ett gemensamt tak. Det är en populär lösning som ger kostnadseffektiva och flexibla odlingsutrymmen. En expansion är enkel att genomföra vilket gör designen till ett bra alternativ för storskalig produktion. Den stora volymen ger en stabil miljö med mindre

fluktuationer i luftfuktighet och temperatur, vilket är gynnsamt för en odling. För att ventileras finns ventilationsluckor i taket, vanligen placerade inocken. Eventuella reparationer och underhåll kan dock vara svåra att utföra på grund av den stora och integrerade strukturen [23].

Växthus av venlodesign karaktäriseras av ett smalt och spetsigt tak, vilket ger optimalt ljusinsläpp samt minskar skuggning. Den har dessutom ofta integrerade system för avancerad klimatkontroll, inklusive ventilationssystem och bra isolering. Jämfört med multispan-växthus så är denna design mer komplex och kräver en större investering. Dock har den en lägre driftskostnad på grund av bättre isolering, bättre ljusinsläpp, effektivare ventilation och lägre underhållskostnader. Under vintermånaderna när solen ligger lågt kan glasrutorna vid taket reflektera bort en del solljus [24].

Tabell 2.1: Olika växthusstommar och dess rekommenderade täckmaterial och tålighet [22]

Stomme	Lämpliga täckmaterial	Snö- och vindtålighet	Lämplighet för hängande kultur
Multispan	<u>Tak</u> Plastfolie 1 skikt Plastfolie 2 skikt	Medel	God (med rätt dimensionering av stommen)
	<u>Väggar</u> Plastfolie 1 skikt Plastfolie 2 skikt Polykarbonat, 10, 16 & 32 mm Akryl 16 & 32 mm Väggpanel		
Venlo	<u>Tak</u> Glas (akryl/polykarbonat i ventilationsluckorna)	Medel	God (med rätt dimensionering av stommen)
	<u>Väggar</u> Glas 1 skikt Glas 2 skikt Polykarbonat, 10, 16 & 32 mm Akryl 16 & 32 mm Väggpanel		

2.3.5 Golv

Många stora växthus i Sverige, exempelvis *Elleholms Tomatodling* och *Regenergy Frövi*, använder en kombination av jord- och betonggolv. Jordgolv används på ytan där odling sker medan resterande area utgörs av gjuten betong [19].

Betonggolv har hög hållbarhet, bra dräneringsförmåga samt en jämn yta, vilket ökar säkerheten, gör det lättare att framföra tyngre maskiner och hålla rent. Detta är något som är viktigt vid hydroponisk odling där alger och bakterier lätt sprider sig. Överflödigt vatten kan ledas bort via dräneringssystem som är inbyggda i golvet. Dock har betonggolv en väldigt hög investeringskostnad, speciellt för större ytor. Det krävs bland annat dräneringsmaterial med kapillärbrytande förmåga [25], vanligen i form av makadam 8–16 med ett djup på minst 150 mm [26]. Det innebär att vatten hindras från att sugas upp i konstruktionen. Även isolering med en tjocklek på ungefär 100 mm krävs. Denna består ofta av cellplast som verkar temperaturreglerande och motverkar fuktskador. Själva gjutplattan bör vara 100 mm till 130 mm tjock, armeringsnät eller färdigarmerad betong är nödvändigt. För att betongen inte ska rinna ut vid gjutningen behövs även kantelement, som också ofta är gjorda av cellplast [25].

Jordgolv med övertäckta skynken har generellt en mycket lägre investeringskostnad. Den naturliga marken packas och täcks av ett skynke tillverkat i ett slitstarkt material såsom UV-beständig plast, ultramat eller liknande. Detta skynke hindrar ogräs från att växa och har en något isolerande förmåga. Ultramat är en sorts vävd markduk med lång livslängd som håller växthuset svalt och samtidigt maximerar ljusreflektion, vilket kan öka avkastningen. Duken låter jorden andas vilket gör att den inte försämras. På grund av låg bärighet går det inte att framföra stora maskiner. Skynket kan även skadas och smutsas ner av alltför intensiv fottrafik, vilket gör det svårare att hålla de hygienstandarder som krävs vid hydroponisk odling. Smuts och nedfallna blad syns dock lätt och kan enkelt städas bort [27].

2.3.6 Stommens material

Stommen i större växthus behöver vara hållbar, robust och kräva minimalt underhåll. Vanligtvis används aluminium, galvaniserat stål eller en blandning av båda. Galvaniserat stål innebär att stålet har fått ett skyddande skikt av zink. Detta sker genom antingen varmförzinkning eller elektrolytisk galvanisering. Resultatet är ett starkt material med hög korrosionsbeständighet, två viktiga egenskaper för växthusstommar. Det används vanligtvis i både venlo- och multispansväxthus. Aluminium används ofta i mellanstora växthus på grund av dess höga hållbarhet och låga vikt. En annan fördelaktig egenskap är att det inte heller behöver behandlas för att undvika korrosion [28].

Det vanligaste i stora och moderna växthus är dock en kombination av båda. Då består bärande strukturer, där styrka krävs, av galvaniserat stål, exempelvis bärande pelare och takbalkar.

Aluminium används istället i de mindre belastade delarna, som fönsterramar och ventilationsluckor [29].

2.3.7 Täckningsmaterial

Täckningsmaterial är det material som väggar och tak i växthus är gjorda av, och har stor betydelse för energibalansen av ett växthus [30]. Några vanliga täckningsmaterials egenskaper anges i Tabell 2.2.

Glas är ett vanligt täckningsmaterial. Beroende på vilken typ av glas som används, kan andelen ljus som släpps in vara väldigt stor jämfört med andra täckningsmaterial, ofta över 90 %. Dock har glas generellt sämre isolerande egenskaper än andra täckningsmaterial [22]. Glas är även relativt dyrt att införskaffa och installera, men har betydligt längre livslängd [31].

Polykarbonat är ett annat vanligt material. Det släpper igenom en betydligt mindre andel ljus än glas, runt 70 %. Däremot har materialet en bättre isoleringsförmåga än glas, samt är väldigt slag- och brandtåligt [22].

Akryl har också en god isoleringsförmåga, samt bättre ljusinsläpp än polykarbonat, men har en låg slag- och brandtålighet [22].

Plastfolie är ett täckningsmaterial som blir mer frekvent återkommande i växthus. Beroende på hur plastfolien är uppbyggd kan den ha goda ljusinsläppsförmågor samt en god isoleringsförmåga. Nackdelen med plastfolie är att det har relativt kort livslängd och ej kan återvinnas [22].

Tabell 2.2: Täckmaterialens egenskaper [22]

Ytterskal	U-värde (W/(m ² ·°C))	Genom- släpplighet (Ljus) (%)	Livslängd (år)	Brand- tålighet	Slag- tålighet
Glas 4 mm	7,0	90	> 20	God	Dålig
Glas 2 x 4 mm	4,0	81	> 20	God	Dålig
Polykarbonat 10 mm	4,0	72	> 10	God	God
Polykarbonat 16 mm	3,5	74	> 10	God	God
Akryl 16 mm	3,5	81	> 10	Dålig	Dålig
Akryl 32 mm	2,5	74	> 10	Dålig	Dålig
PE-folie 0,2 mm	8,0	86	> 5	Dålig	Dålig
PE-folie 2 x 0,2 mm	4,5	74	> 5	Dålig	Dålig
Väggpanel 50 mm	0,5	0	> 10	God	God

2.3.8 Energiväv

Energiväv används ofta under natten, eller vid låg solstrålning. Väven separerar täckningsmaterialet från växthusets inneluft och minskar energianvändningen. Detta genom att reflektera tillbaka värmestrålning från växthusets innekompontener samt minska konvektionen mellan inneluften och täckningsmaterialet. På så sätt minskar värmebehovet vilket kan innebära en effektbesparing på mellan 20 % och 75 %, beroende på vävtyp [4].

2.3.9 Växthusförhållanden

Att höja halten koldioxid i ett växthus ger flera olika grödor en markant ökad avkastning, speciellt i nordliga klimat. Det kan under rätt förhållanden öka avkastningen med 20 % till 40 %. Optimal koldioxidhalt i ett växthus beror på flera faktorer såsom typ av gröda, tillväxtfas, tid på året, läge, och designen på växthuset. Generellt sett är den optimala mängden koldioxid mellan 700 ppm och 1 200 ppm, jämfört med den normala halten i atmosfären på 375 ppm. Vid ökade nivåer behövs mer vatten och näring, då tillväxt sker i ökad takt [17]. Då för höga halter av koldioxid är farligt behövs någon form av kontrollsystem som mäter mängden i luften, och varnar ifall farliga nivåer nås. Vid en koncentration över 5 000 ppm bör allt arbete upphöra, och 50 000 ppm anses dödligt för både människor och djur [32]. Tillförsel av koldioxid

rekommenderas ske med mellan 7 gram CO₂/(m²·h) och 20 gram CO₂/(m²·h), dock enbart under dygnets ljusa timmar eller, vid eventuell belysning, då lamporna är tända [33].

Ljus kan hjälpa växters tillväxt och förlänga odlingssäsongen. Vanliga typer av ljus att installera i växthus är MH (Metal Halide), HPS (High Pressure Sodium) och LED (Light Emitting Diode). MH-lampor avger ett kallt blått ljus, vilket resulterar i buskig och lövkraftig tillväxt. Numera används de dock sällan på grund av dess låga ljusutbyte. HPS-lampor avger ett varmare rött ljus vilket främjar tillväxt av frukter och blomster [34]. De används ofta i växthus och har en låg investeringskostnad, men behöver bytas med jämna mellanrum. Ljuset som avges av LED-lampor kan justeras efter behov. De ger många lumen per watt och har en lång livslängd, men bidrar med en lägre värmestrålning samt har en relativt hög investeringskostnad [22]. Modern LED-belysning halverar elkostnader kopplat till ljus när det ersätter HPS-lampor [35].

Elpriser är en viktig parameter att ta hänsyn till vid användning av belysning, då höga priser kan innebära dyra elräkningar ifall det används. Ifall belysning inte används förkortas dock odlingssäsongen, samtidigt som kvalitén försämras och mängden producerad frukt minskar inkomsten för odlaren [36].

Hydroponiska växthusodlingar är känsliga för diverse skadedjur och sjukdomar. Dessa kan bekämpas med hjälp av bekämpningsmedel, men då rester av dessa medel kan finnas kvar när produkten sedan säljs väljs ofta andra alternativ. Att bosätta insekter i växthus som bekämpningsmedel är en vanlig åtgärd för att bekämpa skadedjur. Används humlor så kombineras både pollinering av plantor, vilket annars måste ske manuellt, samt bekämpning av skadedjur [17].

Luftfuktighet är en viktig parameter vid växthusodling och definieras som mängden vatten i luften. Den relativa luftfuktigheten (RH) anger förhållandet mellan luftfuktighet och den maximala möjliga luftfuktigheten, där 100 % innebär att luften är helt mättad på vattenånga. Genom att värma upp luften minskar den relativa luftfuktigheten, då varm luft kan bära en högre andel vatten, och genom att kyla luften så ökar den. Detta kan innebära att RH skiftar mellan dag och natt i ett växthus, ifall temperaturen vanligen varierar. En för hög luftfuktighet ökar risken för sjukdom för plantorna, därmed är det viktigt att kunna kontrollera och reglera luftfuktigheten [37]. För att göra detta kan ett datorstyrt kontrollsystem med mätare för olika parametrar användas. Givare ger information som används av systemet för att styra ventilation och temperatur [38]. Genom att ventileras kan RH sänkas. Vanligt vid växthusodling är att hålla en relativ luftfuktighet kring 70 % till 85 % [37].

Ett annat alternativ är att använda en avfuktare. Den suger in varm och fuktig luft med hjälp av en fläkt som sedan passerar en kylslinga vilket sänker temperaturen på luften. Kall luft bär mindre fukt vilket gör att den kondenserar och blir till vätska. I avfuktaren finns en kompressor och ett köldmedium. I större skala, vilket behövs i ett stort växthus, är avfuktare dock ofta olönsamma [39].

2.3.10 Ventilation

Ventilationen är som nämnt tidigare en viktig parameter vid växthusodling för att reglera både temperatur och luftfuktighet. Det kan ske genom öppningar vid gavlar, sidoluckor, och vanligast med ventilationsluckor i taknocken. Sidoluckorna öppnas vid hårdare vindar då dessa klarar betydligt svårare väder, samtidigt är risken för vindskador på nockluckorna hög vid för stora öppningar [22].

Fläktar används ofta i växthus för att förbättra ventilation och fördela värme jämt. Luften som cirkulerar hjälper till att sprida värmen jämnt, därmed kan så kallade varma fläckar undvikas. Fuktuppgyggnad undviks och, koldioxidfördelningen jämnar ut sig. Det är vanligt att installera en fläktkapacitet som är två gånger luftvolymen i växthuset per timme [40].

2.4 Grödor

Det finns flera olika grödor som kan odlas hydroponiskt, där olika förhållanden krävs. Tomat och gurka är två av de vanligaste växthusgrödorna att odla i Sverige [3]. Båda dessa grödor behöver pollineras [17].

2.4.1 Tomat

Det finns en hel del sorter av tomater, exempelvis kvist-, plommon-, körsbärs- och bifftomater. I detta kapitel beskrivs allmänna förhållanden för tomater. Den svenska tomatssäsongen sträcker sig från april till november, motsvarande 8 månader [41]. Då det tar runt 8 veckor från plantering av tomatplantor till skörd bör plantering ske i början av februari [17]. Avräkningspriset för växthusodlade tomater låg 2023 på 15,60 kr [42].

För att få en effektiv tillväxt av plantan så förodas den på en avskild plats. För att göra detta krävs någon form av substrat; vanligen stenull formade till kuber, som har en god vattenhållande- samt dränerande förmåga [17].

Fröplantorna i kuberna flyttas efter ett tag till stenullsblock, där storleken på blocken beror på hur länge plantorna ska fortsätta växa innan de omplaceras till det hydroponiska systemet. Dessa block flyttas då till stenulsmattor [17], vanligen av Grodan Kiem-variant. Oftast används dubbelblock, då placeras två fröplantor i samma block vilket motsvarar två toppar [43].

För att spara tid kan färdigympade plantor införskaffas. Detta innebär inte nödvändigtvis en ökad kostnad och är ett vanligt alternativ i Europa och Nordamerika där marktransport är tillgängligt och kan ske inom några dagar [17]. Att ympa en planta innebär att två plantor förenas för att få förbättrade egenskaper. Grundstammen, motsvarande den nedre delen av plantan, väljs

för att öka styrka och tålighet. Ädelsorten, vilket är den delen av plantan som växer ovanför marken och producerar blommor, frukt och blad, väljs för ökad produktkvalitet. Grundstammen klipps till en början av en bit under hjärtbladen och stjälken på ädelsorten klipps av till en längd på ungefär 1 cm. Därefter placeras ädelsorten i ett så kallat clips, för att sedan sättas ihop med grundstammen med hjälp av clipset. Den ympade plantan placeras därefter i en dimkammare i cirka 7 dagar då en hög luftfuktighet krävs för att få ett bra resultat. Specifikt för tomatplantor är att när de plockas ut ur dimkammaren så toppas dem. Då växer två toppar fram som senare växer till sig och plantan formar ett sorts ”Y”, med en stam och två toppar som är placerat i ett block vid slutlig transplantation [44].

Vanligtvis används en så kallad ”V-cordon arrangement”, en typ av växträningsystem som ger en stark struktur och bra luftcirkulation mellan växtens grenar. Blocken med plantor placeras i rader, och två vajrar per rad leds parallellt ovanför dessa, med ett inbördes avstånd på mellan 0,79 m och 0,9 m. De två topparna i respektive block leds upp mot varsin vajer med hjälp av tråden i en så kallad tomahook (speciellt utformad krok med tillhörande tråd), vilket ger ”V”-formen. På så sätt uppnås en bättre fördelning av ljus, lättare skötsel och skörd, bättre utnyttjande av odlingsutrymmet, samt möjlighet till ökad avkastning. Plantorna snurras med jämna mellanrum upp för tråden, vilket bibehåller ”V”-formen. För att hela tiden ha den plockmogna frukten i ergonomisk höjd sänks tråden manuellt genom att vira ut tråd från tomahooken, vilket därmed också sänker plantan. När plantan nått vajern får den hänga fritt och växer istället neråt. På så sätt utnyttjas ytan optimalt och plantan växer inte högre än växthuset. Varje rad har ett inbördes avstånd på 1,8 m [17].

I ett uppvärmt växthus utan belysning, kräver varje tomattopp en yta på mellan 0,3 m² och 0,37 m². Vanligtvis används mattor med en längd på ungefär 1 m, där det får plats tre ympade plantor per matta, motsvarande sex toppar. Dessa mattor går att återanvända i två till tre år, genom att ångsterilisera dem. Detta är dock en kostsam process och kan innebära att rotsjukdomar förs vidare till nästa planta. Även strukturen förändras mellan varje odlingssejour när plantorna tas loss, där 10 % till 15 % av densiteten försvinner [17]. Istället rekommenderas att årligen byta mattor [45].

Skördenivån för växthusodlade tomater i södra Sverige låg 2008 på ungefär 52 kg/m² [41]. Växthusteknik är bättre nu än då, och denna skördenivå antas därmed ligga i underkant. En amerikansk källa redovisar en skördenivå mellan 50 kg/m² och 75 kg/m², dock under omständigheter med mer naturligt ljus än vad som förekommer i södra Sverige [17]. Kontakt med en hydroponisk tomatodling i Blekinge har indikerat en skördenivå på runt 60 kg/m² [19]. För ett nybyggt hydroponiskt växthus i södra Sverige utan belysning antas det, med dessa källor i åtanke, att en skördenivå på mellan 55 kg/m² och 65 kg/m² är rimlig. Användning av växtbelysning i samband med hydroponisk tomatodling har i en studie visat ge en skörd mellan 70 kg/m² och 84 kg/m² per år [46], vilket stämmer överens med vad en belyst tomatodling i

Frövi räknar med att producera [47]. Kompletterande belysning på $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ kan användas, under upp till 18 timmar per dygn [48].

Vid tomatodling bör växthustemperaturen innan skörd hållas mellan 21°C och 26°C under dagen, och mellan 16°C och $18,5^\circ\text{C}$ under natten. Under skörd bör den istället hållas mellan 21°C och 26°C dagtid, och mellan $17,5^\circ\text{C}$ och $18,5^\circ\text{C}$ nattetid. Plantorna klarar sig vid lägre temperaturer ner mot 10°C under kortare perioder, men plantan tar skada och blir stressad vilket kan påverka näringsupptaget och det bör därmed undvikas om möjligt [49].

När plantorna väl placerats i det hydroponiska systemet bör bevattningsvattnets EC-värde ligga mellan 2,8 mmho och 3,5 mmho och pH-värdet mellan 5,8 och 6,5 [50]. I ett helt slutet växthus behövs teoretiskt så lite som 4 liter vatten per kilo odlade tomater. Helt slutna växthusodlingar finns ännu inte i större skala, men slutna hydroponiska bevattningssystem är vanliga. Med ett sådant system behövs runt 15 liter vatten per kg odlade tomater [51].

2.4.2 Gurka

Svenska gurkor har en vikt på ungefär 300 g, och avräkningspriset för växthusodlade gurkor låg 2023 på 13,16 kr/kg [42]. Gurkor odlas typiskt i tre fyramånadersperioder per år, där skörd sker under totalt 33 veckor, och plantorna byts ut mellan varje period [17].

Vid gurkodling används ofta stenull som substrat, likt tomatodling. Gurkfröer kan dock odlas direkt i block, istället för att förodlas i kuber och senare placeras till block. Likt tomatplantor så omplaceras sedan slutligen blocket med gurkplantan slutligen vidare till en stenullsmatta i det hydroponiska systemet. Även här kan det vara gynnsamt att köpa in färdigympade plantor. En skillnad från ympade tomatplantor är att varje gurkplanta istället har en topp var. Under sommaren behöver varje gurktopp en yta på mellan $0,65 \text{ m}^2$ och $0,84 \text{ m}^2$, under hösten krävs istället mellan $0,84 \text{ m}^2$ och $0,93 \text{ m}^2$. Likt tomater så används även här "V-cordon arrangement", med skillnaden att avståndet mellan varje planta är mellan 0,335 m och 0,41 m, vilket motsvarar i snitt mellan två och tre plantor per matta (1 m lång). Avståndet mellan varje rad ska minst vara 1,5 m [17].

En amerikansk källa redovisar en årlig gurkskörd på mellan $52,77 \text{ kg}/\text{m}^2$ och $62,37 \text{ kg}/\text{m}^2$. Detta förutsätter dock ett nordamerikanskt klimat vilket kan vara något mer gynnsamt för växthusodling än svenskt klimat [17]. Svensk växthusodling av gurka en snittavkastning på $46,35 \text{ kg}/\text{m}^2$ mellan 2020 och 2021 [3]. 2017 räknade en svensk hydroponisk gurkodling med att skörda $55,55 \text{ kg}/\text{m}^2$ på obelyst odlingsyta [52]. Med dessa källor som grund antas en skördenivå på mellan $50 \text{ kg}/\text{m}^2$ och $60 \text{ kg}/\text{m}^2$ vara rimlig i ett oupplyst hydroponiskt växthus i södra Sverige. Genom att använda kompletterande belysning med en styrka på $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ under 18 timmar till 20 timmar om dygnet kan en ökning av skörden med 70 % till 80 % åstadkommas [53].

Vid gurkodling bör växthustemperaturen hållas mellan 21 °C och 24 °C under dagen, och mellan 16 °C och 20 °C under natten [17]. Likt tomater så klarar gurka lägre temperaturer under kortare perioder, ner mot 15 °C, men detta stressar plantan och bör undvikas alltför ofta och under längre perioder [54].

Det behövs ungefär 14 liter vatten per kg odlade gurkor [55], och vid bevattning bör EC-värdet befinna sig kring 1,8 mmho och 3 mmho och pH-värdet mellan 5,8 och 6,5 [56].

2.5 Värme

I detta kapitel beskrivs en modell av värmebalansen för ett växthus, samt några vanliga tekniker för att tillföra värme.

2.5.1 Värmeutbyte med omgivning

Om en systemgräns sätts vid den inre glasytan av ett växthus, samt gränsen av dess markyta, kan en energibalans ställas upp enligt ekvation (2.2).

$$Q_{tillförd\ värme} = Q_{konduktion, konvektion} + Q_{ventilation} + Q_{golv} + Q_{omkrets} + Q_{utstrålning} + Q_{evapotranspiration} - Q_{solstrålning} - Q_{ljus} \quad (2.2)$$

$Q_{tillförd\ värme}$ = Värmetillförseln som krävs för att bibehålla temperaturen i växthuset

$Q_{konduktion, konvektion}$ = Värmeförluster till följd av konduktion eller konvektion

$Q_{ventilation}$ = Värmeförluster som uppstår vid ventilerings av växthuset

Q_{golv} = Värmeförluster genom golvet

$Q_{omkrets}$ = Värmeförluster som sker vid växthusets ”kant”

$Q_{utstrålning}$ = Värmeförluster till följd av värmeutstrålning från växthuskomponenter

$Q_{evapotranspiration}$ = Värmeförluster till följd av avdunstning från växternas blad

$Q_{solstrålning}$ = Värmeenergi tillförd av solstrålning

Q_{ljus} = Värmeenergi som tillförs från belysning

Värmebehovet blir således mängden värme som behöver tillföras för att denna ekvation ska vara i jämvikt, alltså $Q_{tillförd\ värme}$.

Denna värmebalans har till stor del baserats på en modell av S. Ahamed [57].

2.5.2 Konduktion- och konvektionsförluster

Konduktion och konvektion står för en stor del av värmeförlusterna från ett växthus [57]. Konduktion är en överföring av värme genom ett material eller mellan material som är i kontakt. Värmeöverföringen sker då partiklar med hög energi kolliderar med partiklar som har lägre energi. Hur snabbt värmeöverföring genom denna process sker beror på geometri, material, temperaturskillnad och tjocklek. Konvektion är värmeöverföring mellan en fast yta och en gas eller vätska. Denna sker på grund av konduktion samt rörelser i gasen eller vätskan [58]. Mängden värme som överförs genom konduktion och konvektion i ett växthus kan uppskattas med ekvation (2.3) [22].

$$Q_{konduktion, konvektion} = U_t \cdot A_t \cdot (T_i - T_o) \quad (2.3)$$

U_t = Täckningsmaterialets värmegenomgångskoefficient [W/(m·K)]

A_t = Totala arean av täckningsmaterialet [m²]

T_i = Växthusets innetemperatur [°C]

T_o = Utetemperatur [°C]

2.5.3 Golv- och omkrets-förluster

Konduktion som sker genom växthusgolvet står för en del av värmeförlusterna i ett växthus. Temperaturen vid ett visst markdjup är konstant över hela året. Antas temperaturen av växthusgolvet vara samma som innetemperaturen, så kan ett stabilt tillstånd användas för att räkna ut värmeförlusterna genom golvet, enligt ekvation (2.4) [57].

$$Q_{golv} = \frac{k_s}{H} \cdot A_g \cdot (T_i - T_s) \quad (2.4)$$

k_s = Markens överföringsförmåga [W/(m·K)]

H = Djupet då temperaturen kan antas konstant [m]

A_g = Golvarea [m²]

T_s = Konstanta temperaturen på djupet H [°C]

2.5.4 Utstrålning

Växthusets olika komponenter skickar ut energi i form av strålning. En del skickas ut till himlen, en del absorberas i täckningsmaterialet, och en del reflekteras tillbaka till växthuset. Värmeförlusten genom strålning kan uppskattas med ekvation (2.5) [57].

$$Q_{strålning} = \sigma \cdot \varepsilon_t \cdot A_t \cdot F_t \cdot (T_i^4 - T_t^4) + \sigma \cdot \varepsilon_i \cdot A_g \cdot F_h \cdot \tau_l \cdot (T_i^4 - T_h^4) \quad (2.5)$$

σ = Stefan-Boltzmanns konstant [W/(m²·K⁴)]

ε_t = Emissiviteten av täckningsmaterialet []

A_t = Täckningens area [m²]

F_t = Täckets sikt faktor [%]

T_t = Täckningsmaterialets temperatur [°C]

ε_i = Växthusets innekomponters emissivitet []

F_h = Himmelssikt faktor (hur stor andel av växthusets utstrålning som träffar himlen) [%]

τ_l = Täckningsmaterialets emissivitet till långvågsstrålning []

T_h = Himmelstemperatur [°C]

Om det antas att all strålning från växthuset träffar himlen, kan himmelssiktfaktorn sättas till 1. Siktfaktorn från golvet till täckningen kan också antas vara 1, om växthuset antas vara så pass stort att vinklar i taket ses som ”små” jämfört med hela golvet [57].

Täckningsmaterialets temperaturfördelning ses som en linjär funktion beroende av inne- och utetemperaturen. Den uppskattas med ekvation (2.6) [57].

$$T_t = \frac{2}{3} \cdot T_o + \frac{1}{3} \cdot T_i \quad (2.6)$$

Himlens temperatur kan uppskattas med meteorologiska data och ekvation (2.7) [57].

$$T_h = T_o \cdot \varepsilon_h^{0,25} \quad (2.7)$$

ε_h = Himlens emissivitet vid molniga förhållanden [%], vilken kan räknas ut med ekvation (2.8) [57].

$$\varepsilon_h = (1 + 0,0224 \cdot MF - 0,0035 \cdot MF^2 + 0,00028 \cdot MF^3) \cdot \varepsilon_{klart} \quad (2.8)$$

MF = Molntäckningsfaktor [%]

ε_{klart} = Himlens emissivitet vid klara förhållanden [%] som räknas ut med ekvation (2.9) [57].

$$\varepsilon_{klart} = 0,787 + 0,7641 \cdot \ln \left(\frac{T_{dp}}{273} \right) \quad (2.9)$$

T_{dp} = Daggpunktstemperatur [°C]

2.5.5 Evapotranspiration

Växter genomgår en process som kallas evapotranspiration, där de tar upp koldioxid genom små klyvöppningar på sina blad [59]. När detta sker så avges vattendroppar som då avdunstar. När vatten avdunstar behövs energi, vilket i detta fall tillförs i form av värme från luften samt bladytan. Processen är således en värmeförlust för växthuset. Värmen som används i processen kan uppskattas med ekvation (2.10) [57].

$$Q_{evaporation} = M_T \cdot L_V \quad (2.10)$$

M_T = Massflödet av fukt [kg/s]

L_V = Latenta värmen av vattenförångning [J/kg]

Massflödet av fukt kan beräknas med ekvation (2.11) [60].

$$M_T = A_P \cdot \rho_{luft} \cdot \frac{w_{pm} - w_i}{R_a + R_s} \quad (2.11)$$

A_P = Plantarea [m²]

ρ_{luft} = Luftens densitet [kg/m³]

w_{pm} = Den mättade fuktighetskvoten vid växttemperatur [kg/kg]

w_i = Luftens fuktighetskvot vid innetemperatur [kg/kg]

R_a = Aerodynamiskt motstånd [s/m]

R_s = Stomatal motstånd [s/m]

w_{pm} och w_i kan räknas ut med ekvation (2.12) och ekvation (2.13) [57].

$$w_{pm} = 0,6219 \cdot \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}} \quad (2.12)$$

$$w_i = 0,6219 \cdot \frac{P_w}{P - P_w} \quad (2.13)$$

P_{ws} = Deltryck av mättat vatten [Pa]

P_w = Deltryck av vattenånga [Pa]

Temperaturen på plantan antas vara samma som innetemperaturen, och P_{ws} kan då räknas ut med Magnus-Tetens ekvation, enligt ekvation (2.14) [61]. P_w räknas ut med P_{ws} och den relativa luftfuktigheten RH enligt ekvation (2.15) [62].

$$P_{ws} = 0,6112 \cdot \exp\left(\frac{17,62 \cdot T_o}{T_o + 243,12}\right) \quad (2.14)$$

$$P_w = RH \cdot P_{ws} \quad (2.15)$$

Det aerodynamiska motståndet kan räknas ut med ekvation (2.16) [57].

$$R_a = 220 \cdot \frac{L_b^{0,2}}{V_i^{0,8}} \quad (2.16)$$

Och det stomatala motståndet, alltså motståndet till transport av koldioxid och vatten genom växtbladens klyvöppningar, kan räknas ut med ekvation (2.17) [57].

$$R_s = 200 \cdot \left(1 + \frac{1}{\exp(0,05 \cdot (\tau \cdot I_G - 50))}\right) \quad (2.17)$$

L_b = Karakteristisk längd av växtblad [m]

V_i = hastighet av inneluft [m/s]

2.5.6 Ventilationsförluster

Värmeförluster vid ventilerings av växthus är ett högst komplext fenomen [63]. Det sker dels på grund av ofrivillig infiltration, och dels genom ventilation för fuktstyrning. Då luftutbyte till följd av infiltration bidrar till att avfukta växthusluften, antas infiltrationsförluster ingå i ventilationsförluster.

Ventilation för fuktstyrning kan modelleras med en massbalans av mängden vatten i växthuset enligt ekvation (2.18) [64].

$$M_{V,vent} = M_T \quad (2.18)$$

$M_{V,vent}$ = Vattenmassan transporterad ut ur växthuset genom ventilation [kg]

M_T = Vattenmassan som tillförs genom evapotranspiration [kg]

Hur mycket vatten som transporteras ut genom ventilation beror på den specifika fuktigheten av luften utomhus respektive luften inne i växthuset. Den specifika fuktigheten av luft är ett mått på hur många gram vattenånga det finns i ett kilo luft, och kan räknas ut med ekvation (2.19) [57].

$$w = \frac{0,6219 \cdot P_w}{P - P_w} \quad (2.19)$$

Om det antas att lika mycket luft släpps in som släpps ut, kan mängden vatten som transporteras in i växthuset genom ventilation således uttryckas enligt ekvation (2.20).

$$M_{V,vent} = (w_i - w_o) \cdot M_{L,vent} \quad (2.20)$$

w_o = Specifika fuktigheten av utomhusluften [g/kg]

$M_{L,vent}$ = Mängden luft som utbyts genom ventilerings [kg/s]

Hur mycket värme som förloras genom ventilation beror på skillnaden mellan inne- och utetemperaturen samt mängden luft som ventileras. Värmeförlusten uppskattas med ekvation (2.21) [65].

$$Q_{ventilation} = (T_i - T_o) \cdot C_{p_{luft}} \cdot \frac{M_T}{(w_i - w_o)} \quad (2.21)$$

$C_{p_{luft}}$ = Specifika värmekapaciteten för luft [kJ/(kg·K)]

2.5.7 Belysning

Om belysning används innebär det en tillförsel av värmeenergi från lamporna. Mängden värme som tillförs när belysningen är tänd kan beräknas med ekvation (2.22) [57].

$$Q_{ljus} = W_L \cdot F_{vk} \cdot A_g \quad (2.22)$$

W_L = Den installerade ljuseffekten per kvadratmeter [W]

F_{vk} = Värmekonverteringsfaktor för den installerade belysningen [%]

2.5.8 Solstrålning

När solens strålar träffar täckningsmaterialet reflekteras en del bort, och en del transmittas in till växthuset, vilket ger värmeenergi. Eftersom växthuset golvarea är väldigt stor i förhållande till dess höjd, antas växthuset tak vara en stor platt yta vid beräkning av solstrålning. Reflekterad strålning från marken försummas även i dessa beräkningar. Den totala mängden strålning som träffar taket är summan av den diffusa och den direkta strålningen på en horisontell yta, vilket kallas den globala strålningen. Andelen solstrålning som går genom täckningsmaterialet beror på dess transmissivitet. Ekvation (2.23) beskriver solstrålningen S som går igenom täckningsmaterialet per kvadratmeter [57].

$$S = \tau_i \cdot I_G \quad (2.23)$$

τ_i = är täckningsmaterialets transmissivitet [%]

I_G = Den globala strålningen [W/m]

Det är inte all strålning som går genom täckningsmaterialet som värmer växthuset, utan en del förloras ut i atmosfären. Värmen som tillförs av solstrålning kan räknas ut med ekvation (2.24) [57].

$$Q_{solstrålning} = \alpha_s \cdot S \quad (2.24)$$

α_s = Faktor för uppskattning av effektiv solstrålning []

2.5.9 Växthusuppvärmning

Fjärrvärme är en effektiv och miljövänlig lösning för att värma upp hushåll och arbetsplatser. Spillvärme från industrier kan återvinnas och användas i fjärrvärmenät för att leverera hållbar värme [66]. I fjärrvärmenät pumpas det vanligtvis varmt vatten med en temperatur omkring 86 °C från värmeproduktionsanläggningar genom isolerade rör under marken till kunder av olika slag. När en kund använder värmen så kylvattnet av, och det kallare vattnet pumpas tillbaka till värmeproduktionsanläggningen för att värmas upp på nytt. Detta vatten har en temperatur på ungefär 47 °C när det går tillbaka till anläggningen, den så kallade returtemperaturen [67].

Tre vanliga sätt att värma upp växthus är genom centraliserade luftvärmesystem, rörvärmesystem eller fläktkonvektorer. Då fjärrvärmenätets returflöde används, krävs värmeväxlare av något slag över returledningen för att överföra värmen till uppvärmningssystemet [68]. De vanligaste typerna är plattvärmeväxlare samt tubvärmeväxlare. Plattvärmeväxlare har plattor som bygger upp kanaler där vätskor flödar och utbyter värme. De har en kompakt design, klarar av höga tryck och temperaturer samt har en låg kostnad, där rostfritt stål är ett möjligt materialalternativ. Tubvärmeväxlare har en lite annorlunda uppbyggnad med små rör placerade i en cylinder. Värmeutbyte sker då mellan vätskorna i de små rören samt vätskan som rör sig i den övriga volymen runt rören. Denna variant är lätt att underhålla och kan produceras till låga kostnader om designen är av mindre mått [69]. Över värmeväxlaren sker ett tryckfall, därmed behövs en pump som ökar trycket. Denna kan sitta både innan och efter värmeväxlaren [70].

I ett centraliserat luftvärmesystem värmer vatten som leds genom värmeväxlare, vanligen plattvärmeväxlare, upp luften som passerar dess yta, till önskad temperatur. Luften distribueras sedan ut i växthuset genom kanaler, ofta tillverkade i plåt eller plast. För att distribuera ut luften krävs stora och kraftfulla fläktar, installerade nära värmeväxlaren, som blåser ut luften där den behövs. Kanalerna, som även kan benämnas som huvudkanaler, förgrenar sig i sekundärkanaler som antingen kan vara perforerade, fungera som luftdiffusorer eller ha fria ändar. Att kanalerna är perforerade innebär att dem har små hål som släpper ut den varma luften gradvis. På så sätt erhålls en jämn värmefördelning och kalla fläckar undviks. Luftdiffusorer är ventiler som är strategiskt placerade och riktar luften för att säkerställa att den når specifika delar av växthuset. Dem fria ändarna utgör ett enklare system där varmluft flödar ut från ändarna av kanalerna.

Genom användandet av kanaler justeras luftflödet beroende på vilken del av växthuset som har störst behov. Det innebär dock en relativt hög investeringskostnad, både på grund av kanalerna och fläktarna [68].

Varmt vatten kan även, via värmeväxlare, värma upp mediet i ett internt slutet rörvärmesystem. Detta system bygger på att varmt vatten pumpas runt genom strategiskt placerade rör, där värme avges. Dessa består oftast av stål, koppar eller plast som placeras ut till olika zoner beroende på växthuset utformning. Det finns lite olika sätt att montera rören på; längs golvet, väggarna eller nära plantorna. Vattnet kyls ner och leds sedan tillbaka till värmeväxlaren genom returrör för att värmas upp igen [71]. Rörssystem kan bidra till en jämn temperaturfördelning och en stabil odlingsmiljö då plantornas rotzon kan värmas direkt. För stora växthus är initialkostnaden hög, medan driftkostnaden är låg. Systemet har en långsammare reaktionsförmåga jämfört med luftburna system vilket leder till att temperaturkorrigeringar tar längre tid. Det krävs även underhåll på grund av korrosion, läckage och liknande. Vanligt är att rören placeras längs marken, formade som avlånga ”U”, där det varma vattnet leds från framledningsrör i det interna rörssystemet, runt i U-röret och tillbaka till returrör. Denna avlånga U-form ger även möjlighet till transport vid odling då odlingsvagnar i många fall kan ledas på dessa rör, något som förenklar arbetet vid skörd [72].

Rörssystem kan användas på andra sätt där mediet passerar genom vattenslingor i fläktkonvektorer. En elektrisk fläkt i konvektorn blåser luft över slingan och överför värme till luften genom konvektion [68]. Fläktkonvektorer ger snabb uppvärmning och ökar luftcirkulationen, något som bidrar till lägre energianvändning för att nå önskad temperatur, vilket i sin tur bidrar till lägre driftkostnader. Det krävs dock underhållning för att bibehålla dess effekt och prestanda [73].

2.5.10 Alternativ uppvärmning

Värmebehovet kan ibland vara större än vad som dimensionerats för. Även systemavbrott kan ske. För att kompensera behöver någon typ av uppbackning i form av ett sekundärsystem användas. Vanliga alternativ är pelletspanna, oljepanna, luft-vattenvärmepump och att använda fjärrvärmenätets framledningsflöde [74].

Pellets pannor använder träpellets som bränsle. Bränslet förs in i en förbränningskammare där det kommer i kontakt med syre och antänds, vilket resulterar i värmeenergi som värmer vatten via en värmeväxlare. Detta vatten leds sedan typiskt ut i ett rörssystem för att leverera värmen till en anläggning, exempelvis ett växthus [75].

Uppvärmning med oljepanna innebär att olja (numera vanligen bioolja) eldas för att värma upp växthuset värmesystem. I en lagringstank finns bränsle som pumpas till en brännare. Detta bränsle antänds och värmer vatten, som pumpas runt i ett uppvärmningssystem. Vid förbränning bildas rökgaser som leds ut via en skorsten, vilket hade kostat mellan 10 000 kr och 30 000 kr

att bygga. Nyare modeller har en väldigt hög verkningsgrad, mellan 90 % och 100 %, vilket innebär att nästintill all energi omvandlas till värme. Oljepannor är också mindre känsliga för driftstörningar, kan kombineras med andra system, har långa livslängder och är snabbstartade [76]. Vanligtvis har oljepannor en lägre investeringskostnad än pellets pannor, men en högre bränslekostnad [77].

Luft-vattenvärmepumpar extraherar värmeenergi ur utomhusluft och överför den till ett vattenburet värmesystem i växthuset. Kall luft leds in utifrån genom en eldriven fläkt och vidare till en förångare, där värmen överförs till ett köldmedium med låg kokpunkt som förångas. Köldmediet har till uppgift att transportera värmen, genom att pumpas runt av en cirkulationspump. Gasen leds vidare till en eldriven kompressor som ökar trycket och då även temperaturen. Den trycksatta gasen tar sig vidare till en kondensor där värme överförs till vattnet i värmesystemet. Köldmediet i gasform kyls av för att sedan ledas genom en expansionsventil, där trycket och temperaturen sänks vilket gör att mediet når vätskeform. Köldmediet har då rört sig en hel cykel och börjar om igen. Denna process gör att luft-vattenvärmepumpen effektivt kan använda energi från utomhusluften till uppvärmning genom att tillföra el till dess system. El krävs, förutom för att driva kompressorn, fläkten och cirkulationspumpen, även för styrning, där sensorer, termostater och styrkomponenter ingår [78].

Om fjärrvärmenätets returflöde används som primär värmekälla hade framledningsflödet kunnat användas ifall effekten i returflödet inte räcker för att tillgodose värmebehovet. Nackdelen med en sådan lösning är att en alternativ uppvärmninglösning bör kunna förse växthuset med värme vid till exempel systemavbrott. Ifall ett avbrott sker i returflödet, är det troligen även avbrott i framledningsflödet, och i sådant fall riskerar växthuset att stå helt utan uppvärmning [13].

2.5.11 Temperaturreglering

Vanligtvis placeras temperaturgivare på flera platser i ett växthus, både för att mäta innetemperaturen samt temperaturen på framlednings- och returflöde i uppvärmningssystemet. Genom att använda givare i kombination med styrutrustning kan värmeenergibehovet i växthuset räknas ut [4].

Kapitel 3

Metod

En litteraturstudie har genomförts. Inledande fokus har legat på att studera hydroponisk växthusodling. Syftet har varit att ta reda på vilka resurser som krävs, vilka förutsättningar som behövs vid odling i Sverige, samt vilka kostnader som är associerade med sådan odling. I detta arbete har tomat- samt gurkodling utretts, på grund av dessa grödors prevalens inom svensk växthusodling samt en god tillgång till relevanta svenska källor. Metodiken beskriven i följande kapitel har applicerats på båda grödor och givit olika resultat för tomat och gurka. Information kring hydroponisk odling, växthusgrödor, samt vilka resurser som krävs har till stor del hämtats från *Hydroponic food production* [17] och studier av *Jordbruksverket*. En värmebalansmodell för ett växthus har ställts upp. Denna har till stor del baserats på en modell av Md Shamim Ahamed [57], med justeringar för att passa detta projekt, enligt kapitel 2.5. Implementationen av denna modell redovisas i kapitel 3.1. För att ta reda på optimala växthusförhållanden har bland annat flera källor från *Jordbruksverket* och *Sveriges Lantbruksuniversitet* använts. Ett studiebesök har genomförts vid *Elleholms Tomatodling*, där en rundvandring ägde rum och flera frågor rörande hydroponisk tomatodling besvarades. Sammanställning av en ekonomisk modell har också utförts, där en stor del skett genom kontakter med olika företag, samt existerande modeller utgivna av *Jordbruksverket*.

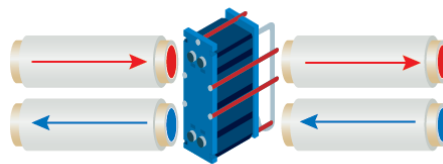
Det antas att växthuset värms upp med Örtoftaverkets returflöde, samt att det bevattnas med regnvatten och verkets rökgaskondensat. Därav har Örtoftaverkets processer, samt i vilken utsträckning dess rökgaskondensat och värmen i returflödet kan användas till växthusodling, undersökts. Relevant data och information har tillhandahållits av *Krafttringen*. För att undersöka effekterna av att sänka returtemperaturen i fjärrvärmereturen till Örtoftaverket har denna data använts, i kombination med ett flertal studier kring ämnet.

3.1 Värmebalansberäkning

Växthusets värmebehov per kvadratmeter har först uppskattats på timbasis enligt modellen som beskrivs i kapitel 2.5, och sedan summerats på fyratimmarsbasis. Timdata från *SMHI* bestående

av utetemperatur, daggpunktstemperatur, global solstrålning, relativ luftfuktighet och molntäcke har hämtats från närmsta användbara mätstation. Denna ligger i Hörby och dess väderdata antas vara representativ även för Örtofta. En period från 2021 till 2023 har analyserats. Timdata för flöde och temperatur i fjärrvärmereturledningen har tillhandahållits av *Krafttringen*. Tillgänglig effekt från detta flöde har sedan beräknats på timbasis och summerats på fyratimmarsbasis. Genom att använda den tillgängliga effekten samt värmebehovet per kvadratmeter ges en indikation på hur stort växthus som kan byggas.

Ifall ett rörvärmesystem används för att värma växthuset kan värme överföras med en plattvärmeväxlare, enligt Figur 3.1. På ena sidan flödar returvattnet från fjärrvärmenätet, och på andra antas mediet i det slutna rörsystemet flöda. Flödena och temperaturerna på båda sidor av värmeväxlaren kan uppskattas med hjälp av det beräknade värmebehovet samt den tillgängliga effekten, enligt följande metodik:



Figur 3.1: Plattvärmeväxlare [79]

Konduktiva och konvektiva värmeförluster genom ett icke-isolerat rör Q_r [J] kan uppskattas med ekvation (3.1) [58].

$$Q_r = h_r \cdot A_r \cdot (T_r - T_\infty) \quad (3.1)$$

h_r = Den konvektiva värmeöverföringskoefficienten [W/(m²·K)]

A_r = Rörets mantelarea [m²]

T_r = Rörets temperatur [°C]

T_∞ = Omgivningens temperatur [°C]

Det antas att rörets temperatur är samma som temperaturen på vattnet i röret. Värmeförlusten dQ_r för ett rörsegment med längden dx vid position x kan beskrivas med ekvation (3.2), där x representerar avståndet från inloppet.

$$dQ_r = h_r \cdot O_r \cdot dx \cdot (T_r(x) - T_\infty) \quad (3.2)$$

O_r = Rörets omkrets [m]

$T_r(x)$ = Rörets temperatur vid position x [°C]

Mängden värme som förloras över ett rörsegment kan också beskrivas genom ekvation (3.3).

$$dQ_r = \dot{m}_r \cdot C_{p_r} \cdot dT_r(x) \quad (3.3)$$

$\dot{m}_r$ = Vattenflödet i röret [kg/s]

C_{p_r} = Vattnets specifika värmekapacitet [J/(kg·K)]

$dT_r(x)$ = Rörets temperatur vid position x [°C]

Genom att sätta ekvation (3.2) och ekvation (3.3) lika med varandra enligt ekvation (3.4) kan en differentialekvation ställas upp enligt ekvation (3.5).

$$-h_r \cdot O_r \cdot dx \cdot (T_r(x) - T_\infty) = \dot{m}_r \cdot C_{p_r} \cdot dT_r(x) \quad (3.4)$$

$$\frac{dT_r(x)}{dx} = -\frac{h_r \cdot O_r}{\dot{m}_r \cdot C_{p_r}} \cdot (T_r(x) - T_\infty) \quad (3.5)$$

Lösningen till denna differentialekvation beskrivs i ekvation (3.6).

$$T_r(x) = T_\infty + (T_{ri} - T_\infty) \cdot e^{-\frac{h_r \cdot O_r \cdot x}{\dot{m}_r \cdot C_{p_r}}} \quad (3.6)$$

T_{ri} = Temperaturen i röret då $x = 0$ [°C], alltså temperaturen på vattnet som leds ut ur värmeväxlaren och in i röret, enligt Figur 3.1.

Temperaturen av vattnet som leds ut ur röret och in i värmeväxlaren, T_{ro} , kan beräknas genom att sätta x till rörsystemets längd L [m] i ekvation (3.6), förutsatt att T_{ri} , $\dot{m}_r$, O_r , C_{p_r} , och h_r är kända.

Effekten, Q , som ska överföras till växthuset beskrivs enligt ekvation (3.7).

$$Q = \dot{m}_r \cdot C_{p_r} \cdot (T_{ri} - T_{ro}) \quad (3.7)$$

Då Q är känd, beror T_{ri} på T_{ro} enligt ekvation (3.8).

$$T_{ri} = \frac{Q}{\dot{m}_r \cdot C_{p_r}} + T_{ro} \quad (3.8)$$

Då T_{ri} och T_{ro} beror på varandra, behöver dessa itereras fram. Rent praktiskt kan det lösas genom att använda automatiska iterativa beräkningar i *Excel*, vilket möjliggör cirkelreferenser. Därmed kan snittvärden på T_{ri} och T_{ro} beräknas för varje fyratimmarsperiod.

På fjärrvärmereturflödets sida är intemperaturen samt maximala flödet känt. För att dimensionera värmeväxlare och beräkna hur mycket effekt som maximalt kan användas under varje fyratimmarsperiod, antas det att flödena på båda sidor är så stora som möjligt när värmebehov finns. Genom detta kan minsta värmeväxlarean som behövs för varje fyratimmarsperiod beräknas genom ekvation (3.9). Med hjälp av det största värdet av denna area för den undersökta perioden, kan en värmeväxlare dimensioneras.

$$Q = U_{vv} \cdot A_{vv} \cdot LMTD \quad (3.9)$$

U_{vv} = Värmeväxlarens värmeöverföringskoefficient (W/(m²·K))

A_{vv} = Värmeväxlararean

$LMTD$ = Logaritmiska medeltemperaturdifferensen (K)

$LMTD$ bestäms av ekvation (3.10).

$$LMTD = \frac{(T_{hi}-T_{ri})-(T_{ho}-T_{ro})}{\ln \left(\frac{T_{hi}-T_{ri}}{T_{ho}-T_{ro}} \right)} \quad (3.10)$$

T_{hi} = Intemperatur på fjärrvärmereturflödets sida [°C]

T_{ho} = Uttemperatur på fjärrvärmereturflödets sida [°C]

I verkligheten hade flödena på båda, eller ena sidan av värmeväxlaren, justerats för att tillgodose värmebehovet. Men då det finns ett oändligt antal lösningar som uppfyller kraven för varje fyratimmarsperiod bestäms de faktiska flödena inte.

Pumpeffekt utgör en del av elförbrukningen i ett växthus. Pumpen för vattnet i det slutna systemet inne i växthuset antas drivas med full effekt när värmebehov finns. Resterande pumpeffekter kan uppskattas med antagna användningsmönster och pumpkurvor.

3.2 Tryckfallsberäkning

Med tanke på de höga flödena och betydande längderna på rören, behöver tryckfall på grund av friktionsförluster tas i beaktning. Dessa har approximerats med Darcy-Weisbach-ekvationen, enligt ekvation (3.11) [80]. Vattens densitet och dynamiska viskositet beroende på temperatur har hämtats från *Pumpportalen* [81] och *Anton Paar* [82].

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho_{flöde} \cdot v^2}{2} \quad (3.11)$$

ΔP = Tryckfall över ett rör till följd av friktionsförluster [Pa]

f = Friktionsfaktorn

D = Rörets diameter [m]

$\rho_{flöde}$ = Densiteten på flödesmediet [kg/m³]

v = Hastigheten av flödet [m/s]

Hastigheten av flödet ges av flödet och rördiametern enligt ekvation (3.12).

$$v = \frac{4 \cdot V / 3600}{\pi \cdot D^2} \quad (3.12)$$

V = Volymflödet i röret [m^3/h]

Friktionsfaktorn f har uppskattats genom Haalands ekvation, enligt ekvation (3.13) [83].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log \left(\left(\frac{\varepsilon}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right) \quad (3.13)$$

ε = Rörets ytråhet [mm]

d = Rörets diameter [mm]

Re = Flödets Reynoldstal

Ytråheten ε antas vara 0,025 mm i alla rör. För att använda Haalands ekvation behövs Reynoldstal, vilket beräknas med ekvation (3.14) [58].

$$Re = \frac{\rho_{flöde} \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (3.14)$$

μ = Den dynamiska viskositeten av flödesmediet [$\text{mPa} \cdot \text{s}$]

Det är vanligt att uttrycka tryckskillnader i mVp. För att omvandla tryck till mVp används ekvation (3.15) [84].

$$VP = \frac{P}{\rho_{flöde} \cdot g} \quad (3.15)$$

VP = Höjden av den resulterande vattenpelaren [mVp]

g = Accelerationen på grund av gravitation, vilken antas vara $9,81 \text{ m/s}^2$

För att beräkna trycket som behöver övervinnas för att kunna pumpa runt mediet, så behöver den totala dynamiska tryckhöjden (TDH, total dynamic head) beräknas. Enligt ekvation (3.16) utgörs den av statiska höjden motsvarande höjdskillnaden som mediet måste lyfta, friktionsförluster som beror på motstånd i rören, samt utgångsloppstrycket [85].

$$TDH = \text{Statisk höjd} + \text{Friktionsförluster} + \text{Utgångstryck} \quad (3.16)$$

Returflödets temperatursänkning TR_s har uppskattats med växthusets beräknade värmebehov samt dess volymflöde, enligt ekvation (3.17).

$$TR_s = \frac{Q}{m_r \cdot c_{p_r}} \quad (3.17)$$

För att uppskatta hur mycket effekten i Örtoftaverkets ångturbin hade kunnat öka om returtemperaturen sänks, har sambandet från ekvation (2.1) använts i kombination med den beräknade temperatursänkningen från ekvation (3.17). Då det antas att *Kraftringen* inte hade producerat mer värme än vad nätet kräver så beräknas endast effektökningen i ångturbinen och

inte i rökgaskondenseringsprocessen. Ifall mer effekt används till att producera el, går mindre effekt till värme. Det antas dock att effektiviseringen av rökgaskondenseringsprocessen till följd av lägre returtemperatur väger upp för detta. För att sätta ett värde på effekttökningarna så summeras mängden extra MWh el som hade producerats. Det monetära värdet av denna energi räknas ut med hjälp av data för elpriser från *Krafttringen*. Då Örtoftaverkets returflöde består av flera olika flöden går det inte att med säkerhet bestämma vad temperatursänkningen av detta flöde hade varit även om temperatursänkningen av Svenstorpsledningens flöde uppskattas.

3.3 Vattenprover

För att ge en bild av huruvida Örtoftaverkets rökgaskondensat hade kunnat användas till bevattning, har vattenprover utförts, vid fyra tillfällen. Prover har tagits från tre olika punkter från reningen av rökgaskondensat. Första punkten är efter skaksil och innan ultrafiltrering, denna benämns IUF. Andra punkten är efter ultrafiltrering men innan RO-filtrering, och benämns IRO. Den tredje punkten ligger efter RO-filtrering, och benämns P1. Vattnet från P1 skickas idag ut till Kävlingeån eller används som spolvatten. Prover har tagits vid ett tillfälle från IUF, fyra tillfällen från IRO, och tre tillfällen vid P1. Det har huvudsakligen testats för diverse metaller, bakterier och mikrosvamp. Resultaten av dessa prover har jämförts med antagna acceptabla halter för bevattningsvatten. Värdet för de resultat som legat under rapporteringsgräns antas vara hälften av denna gräns.

Vattenproverna ger en indikation på genomförbarheten att bevattna med rökgaskondensatet, men för att med säkerhet svara på frågan behöver en mer utförlig analys genomföras. Därmed har det i detta arbete gjorts ett antagande att rökgaskondensatet går att använda.

3.4 Vattenbalansberäkning

Då det finns relativt få studier kring bevattningsbehov vid hydroponisk växthusodling, är det svårt att sätta upp en modell för hur vattenbehovet varierar, både över år och dygn. Det finns en vanligt använd norm där vattenanvändningen uppskattas efter inkommande strålning [86]. Denna har använts för att grovt uppskatta hur bevattningsbehovet varierar över ett år, med viss justering för att passa det undersökta fallet. Bevattningsvatten antas lagras i ett vattenlager, i form av en reservoar.

Nederbördsdata från Hörby har hämtats från *SMHI*, mellan perioden 2021 och 2023. Regn som faller på växthusets tak samt reservoarens yta antas lagras och användas till bevattning. Användbart vattenflöde under samma period i form av rökgaskondensat från Örtoftaverket har givits av *Krafttringen*. Detta kondensat antas också ledas till reservoaren. Vattenbalansen har

sedan beräknats för varje dygn genom att beräkna skillnaden mellan tillgängligt vatten och vattenbehovet, och simulera vattenlagrets nivå.

3.5 Investerings- och känslighetsanalys

Investeringsbudget och resultatkalkyler är till stor del baserade på en kalkylmodell utgiven av *Jordbruksverket* 2018 [5], varifrån flera kostnader hämtats. Kostnader har även hämtats från diverse källor och kontakter med leverantörer, samt givits av *Krafttringen*. Vissa av dessa priser är mer eller mindre grova uppskattningar baserat på kontakter med olika leverantörer. Detta då det i många fall inte är allmäntillgängligt vad kostnaden för produkter av kommersiell storlek uppgår till. Kalkylerna bör ses som ett indikerande beslutsunderlag, men för en mer utförlig analys krävs troligtvis närmare kontakt och mer detaljerade offerter från leverantörsföretag. Därmed har kalkylen delats upp i tre fall: ett pessimistiskt fall, ett optimistiskt fall, och ett medelvärdesfall. I det pessimistiska fallet är alla förhållande så dåliga som möjligt, exempelvis höga kostnader och låga intäkter, och i det optimistiska fallet är alla förhållanden tvärtom så bra som möjligt. Medelvärdesfallet är ett snitt mellan dessa. Generella resultatkalkyler och investeringsbudgetar har gjorts för varje fall.

För att ta reda på vilka variabler som potentiellt kan ha en stor påverkan på investeringens lönsamhet, samt utreda hur stor denna kan vara, har en känslighetsanalys utförts. Känslighetsanalysen har baserats på återbetalningstid.

Återbetalningstid motsvarar hur många år det tar innan investeringen har "betalat för sig", alltså när de sammanlagda årsresultaten (innan avskrivningar) från växthuset har överstigit investeringskostnaden. Årsresultaten diskonteras beroende på hur många år i framtiden de är. Diskonteringsfaktorn beror på vilken kalkylränta som väljs, i detta fall 6 %. Val av kalkylränta bör baseras på industristandard samt riskbedömning. Diskontering görs för att ta pengars framtida värde i beaktning, då de hade kunnat investeras och ge avkastning. Återbetalningstiden ger en indikation på hur lönsam, samt hur riskfylld en investering är.

De variabler som har undersökts i känslighetsanalysen är årlig skörd, försäljningspris, och investeringskostnad. Dessa har var för sig varierats mellan $\pm 7,5$ % för att undersöka hur återbetalningstiden påverkas. Resultatet av denna känslighetsanalys ger en indikation på vilka variabler som är mest kritiska för växthusets lönsamhet.

Kapitel 4

Dimensionering

Dimensionering av växthusets storlek har grundat sig i tillgänglig värmeeffekt. Följande begränsningar har använt vid dimensionering. Växthusets uppskattade värmebehov ska inte vara avsevärt större än den tillgängliga effekten i fjärrvärmenätets returflöde, med undantag för ovanliga händelser som till exempel driftstopp. Vid nödsituationer används en alternativ uppvärmningslösning, men då växthuset i huvudsak ska värmas av returflödet får den alternativa uppvärmningen utgöra högst 0,3 % av värmebehovet. Växthusets storlek ska vara samma oavsett gröda, och en av grödorna kommer således begränsa växthusets storlek för båda fallen. Mark ska köpas i hela hektar.

4.1 Antaganden kring växthusförhållanden

Antaganden gällande växthusets förhållanden har fastställts, varav några redovisas i följande kapitel. Växthuset är av venlodesign med en höjd på 5 m, då det är en välfungerande och vanligt förekommande design för växthus av denna storlek. Täckningsmaterialets isolerande egenskaper är som nämnt avgörande för växthusets energianvändning. Ett lågt U-värde, hög ljusgenomsläpplighet, lång livslängd, samt en god brand- och slagttålighet är viktiga egenskaper. Därmed används 16 mm tjocka polykarbonatplattor då dess egenskaper enligt Tabell 2.2, lämpar sig bäst. Parametrar som använts för täckningsmaterialet redovisas i Tabell 4.1.

I fallet med tomatodling används inte växtbelysning, då det i detta fall visat sig vara mer lönsamt att odla utan. Odlingssäsongen sträcker sig från början av februari till slutet av november, motsvarande 10 månader. Vid gurkodling har det tvärtom visat sig mer lönsamt att använda växtbelysning, och därmed används det i detta fall. Odling sker därför över hela året i fallet med gurka, i omgångar om fyra månader.

När globala solstrålningen är lägre än 25 W/m^2 används växtbelysning vid odling av gurka, i upp till 18 timmar per dygn. En energiväv som minskar värmeförluster med 60 % används när den globala solstrålningen är mindre än 50 W/m^2 . Ventilering för fuktstyrning sker då den

specifika fukthalten utomhus är minst 25 % lägre än den specifika fukthalten inomhus, och det antas 80 % luftfuktighet i växthuset. För att förhindra att vattenrör fryser och skadas ska växthuset innetemperatur vara minst 2 °C när det inte råder odlingssäsong. Marktemperaturen antas vara 6 °C på 6 m djup och markens konduktivitet ligga runt 1 W/(m·K).

Vid beräkningar har vissa fysikaliska parametrar använts, dessa redovisas i Tabell 4.2.

Tabell 4.1: Parametervärden för 16 mm polykarbonatplattor

Parameter	Enhet	Värde
U-värde (U_t)	W/(m ² ·K)	3,5 [22]
Transmissivitet (τ_i)		0,74 [22]
Emissivitet (ϵ_t)		0,94 [87]
Transmissivitet till långvågstrålning (τ_l)		0,01 [88]

Tabell 4.2: Fysikaliska parametrar som använts vid beräkningar

Parameter	Enhet	Värde
Vattnets förångningsentalpi (L_v)	kJ/kg	2256,5 [89]
Utomhusluftstryck (P)	kPa	101,325 [89]
Luftens densitet (ρ_{luft})	kg/m ³	1,225 [89]
Specifik värmekapacitet av luft ($C_{p\text{luft}}$)	kJ/(kg·K)	1,005 [89]

Vissa parametrar varierar beroende på gröda. Dessa parametrar och dess värden redovisas i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: Parametervärden som varierar beroende på gröda

Parameter	Enhet	Tomat	Gurka
Inomhustemperatur dag, natt	°C	22, 18	22, 18
Vattenbehov	l/kg	15	14
Årlig skörd	kg/m ²	55	85
Karakteristisk bladlängd	m	0,027 [57]	0,027 [57]
Bladarea	m ² /m ²	3 [90]	3 [91]

4.2 Resultat av dimensionering

Växthusets yta har bestämts genom en iterativ process där fastställda antaganden och begränsningar tillämpats. I processen har flera kombinationer av växthusstorlek och uppvärmningssystem prövats, vilket resulterat i en area på 81 000 m², med en bredd på 225 m och en längd på 360 m. Den begränsande grödan vid dimensioneringen har varit tomat (0,299 % alternativ uppvärmning), jämfört med gurka (0,218 % alternativ uppvärmning).

Kapitel 5

Växthuset: Beskrivning och kostnader

I detta kapitel beskrivs det dimensionerade växthuset, dem ingående komponenterna samt dess kostnader. Priser har hämtats från såväl hemsidor som personlig kontakt med företag. En sammanställning av dessa finns i Tabell A.1 och Tabell A.2. En del kostnader har hittats i utländska valutor, euro har antagits motsvara 11,5 SEK medan en amerikansk dollar antas svara mot 10,5 SEK. En källa från *Jordbruksverket* [5] har använts regelbundet, den är skriven 2015 och därmed har en korrektionsfaktor enligt statistiska centralbyrån mellan åren 2015 och 2024 använts, denna faktor ligger på 1,3248 [92].

5.1 Ytor

I detta avsnitt redogörs de olika ytor som ingår. Det innefattar både ytor inne i växthuset, såsom odlingsytor, gångar och personalytor, samt ytor i det kringliggande området, exempelvis parkering och vattenreservoar.

5.1.1 Mark

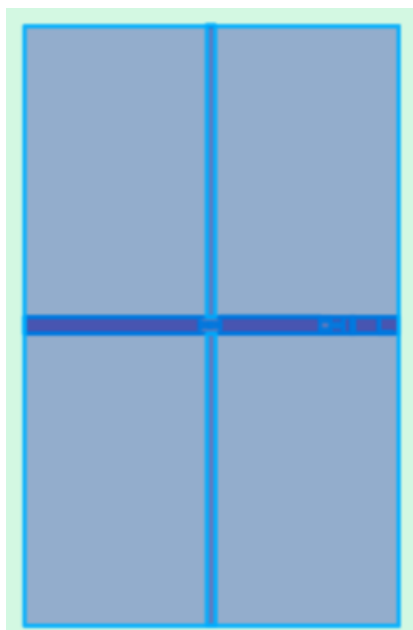
Marken som växthuset ska byggas på bör vara nära Örtoftaverket för att optimalt kunna utnyttja dess resurser. Åkermark i regionen mellan Eslöv och Lund ligger på 60 kr/m² till 70 kr/m² om avsikten är att inte bebygga marken. Då bebyggelse kommer att ske så kan inte detta pris användas rakt av. Ett prisintervall för exploateringsmark på mellan 400 kr/m² och 1 500 kr/m² har därför också angetts [93]. Det slutliga priset beror på placering, jordens gradering, vilka som konkurrerar om marken, samt vad markägaren värderar den till. Genom en bedömning med avseende på dessa prisintervall, samt *Krafttringens* tidigare investeringar, så anses ett markpris på mellan 70 kr/m² och 400 kr/m² vara rimligt [13]. Utöver detta så krävs någon form av geoteknisk markundersökning i samband med projektering innan bebyggelse kan ske [94]. Kostnad för en sådan ligger på mellan 25 000 kr och 26 000 kr [95].

5.1.2 Växthuset, odlingsareorna och gångarna

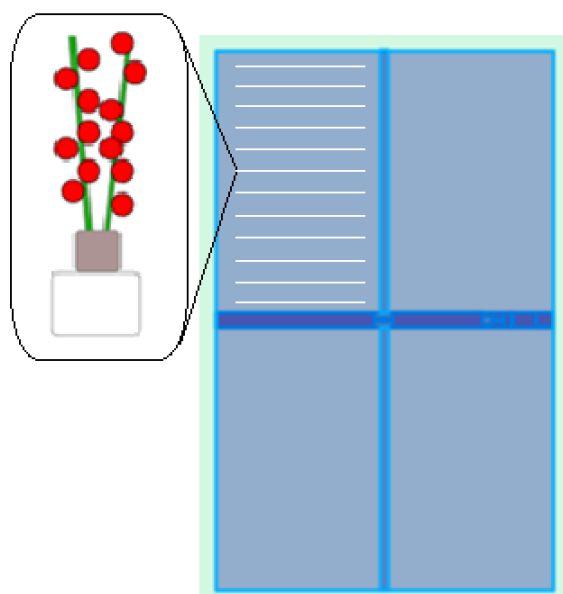
Kostnaden för att bygga stommen och väggarna till ett växthus av venlodesign ligger mellan 1 144,5 kr/m² och 2 161,11 kr/m² [96]. För den dimensionerade storleken på 81 000 m² innebär det en totalkostnad på 92,70 M.kr till 175,05 M.kr. För att kunna bygga så krävs bygglov. Med antagandet att det sker planenligt på en yta större än 25 000 m² så uppgår kostnaden till 0,36 M.kr [97]. Energiväv antas installeras över hela takytan och finns att köpa för mellan 5,145 kr/m² och 5,775 kr/m² vilket ger en totalkostnad på mellan 0,42 M.kr och 0,47 M.kr [98].

Ett växthus behöver även underhållas. Enligt en modell av *Jordbruksverket* från 2015 kostar detta 10 kr/m² [5], vilket genom korrektionsfaktorn nämnd i kapitel 5, ger en nuvarande årlig kostnad per kvadratmeter på 13,248 kr och en årlig totalkostnad på 1,07 M.kr.

Den totala ytan på 81 000 m² inkluderar gångar, personal-, sorterings- samt packningsytor, där växthusets layout syns i Figur 5.1. De mörkare delarna i figuren motsvarar gångar, två vertikala och en horisontell mittengång. De vertikala gångarna är 5 m breda och används för att transportera skörden till mittengången. Mittengången är 10 m bred och där sorteras samt packas skörden för att sedan fraktas vidare. Även personalytor och bevattningssystem är placerade där enligt kapitel 5.1.5. Med den totala växthusbredden på 225 m samt längden på 360 m så beräknas ytan för dessa gångar till 4 000 m², vilket ger en total odlingsarea på 77 000 m². Odlingsarean delas upp, av gångarna, till fyra lika stora rektangulära odlingsareor. På dessa areor placeras horisontella rader av hydroponiska system parallellt med mittengången, enligt Figur 5.2. Vid planering av radsystemets utformning måste hänsyn tas till vissa begränsningar. Då varje rad använder sig av V-cordon system sticker plantorna ut i sidled, och kan därför inte placeras för nära växthusets väggar. Därmed avsätts ett avstånd från odlingsytornas kortsidor till ytan för radsystemen. Detta avstånd är beroende på vilken gröda som odlas, vid tomatodling uppgår det till 1,8 m, motsvarande 1,65 m vid gurkanodling. Detta avstånd byggs upp av ett grundavstånd på 0,8 m, adderat med hälften av respektive grödas inbördes radavstånd, enligt kapitel 2.4.1 respektive kapitel 2.4.2, avstånd syns i Figur 5.13 och Figur 5.14. Mot dem vertikala gångarna, sett från radsystemen, finns inga begränsningar utan endast i motsatt riktning, mot växthusets väggar. För att inte hindra plantornas tillväxt, så antas ett avstånd på 0,25 m, enligt Figur 5.13, från radsystemen till väggen vilket ger en radlängd på 109,75 m. Trots dessa begränsningar antas en odlingsarea på 77 000 m², då odling inte sker direkt i marken, och plantorna sprider ut sig för att täcka den totala odlingsarean.



Figur 5.1: Växthusets layout



Figur 5.2: Radsystemets utformning i en odlingsarea

5.1.3 Antal rader och toppar

Med hjälp av informationen i kapitel 5.1.2 samt avståndet mellan raderna, beräknades antalet rader. För att förenkla internttransport utökades det inbördes radavståndet med 0,2 m för respektive gröda (totalt 2 m vid tomatodling och 1,7 m vid gurkodling), jämfört med vad som beskrivs i kapitel 2.4.1 och kapitel 2.4.2.

Med radavstånden nämnda ovan, har varje odlingsarea vid tomatodling plats för 86 rader, med en längd på 109,75 m vardera. Detta motsvarar 344 rader i hela växthuset, vilket ger en total radlängd på 37 754 m. Mattor antas vara 1,0 m långa och ligga intill varandra. Priset per matta ligger på ungefär 45 kr [45], dessa är dock 1,2 m långa och genom att skala ner kostnaden blir priset för en matta med längden 1,0 m ungefär 37,5 kr. Dessa byts årligen och ger en återkommande kostnad på 1,42 M.kr per år. Rännorna till det hydroponiska systemet kostar mellan 57,75 kr/m och 138 kr/m [99]. Investeringskostnaden för dessa uppgår då till mellan 2,18 M.kr och 5,21 M.kr.

Vid odling av tomat rymmer en matta sex toppar. Detta, tillsammans med vetskapen om antalet mattor, ger totalt 226 524 toppar. Varje topp upptar då en yta på 0,34 m², vilket ligger i mitten av intervallet angivet i kapitel 2.4.1. En tomatplanta har två toppar, alltså är antalet plantor 113 262. En tomatplanta kostar mellan 22 kr och 31 kr [100], vilket ger en årlig kostnad för plantor på 2,49 M.kr till 3,51 M.kr. Plantorna, som bygger upp ett V-cordon systemet, behöver två vajrar per rad, vilka har ett meterpris på 5,06 kr [101]. Investeringskostnaden för dessa blir således 0,38 M.kr. För att nå upp till dessa vajrar så snurras varje topp upp för tråden från en tomahook. Tomahooken är därmed fäst i plantan och i någon av vajrarna. Dessa har ett styckpris på 4,26 kr [102], vilket motsvarar en årlig kostnad på 0,97 M.kr då de måste bytas ut mellan varje omgång plantor. Genom varje rad rör sig en plockvagn på räls, som används för att samla skörden. Detta system kostar 15,90 kr/m² att köpa in, vilket ger en investeringskostnad på 1,22 M.kr [5].

Samma metodik som vid odling av tomat ger i fallet med gurkodling 102 rader per odlingsarea, motsvarande 408 rader i växthuset, och en total radlängd på 44 778 m. Investeringskostnaden för rännor ligger därmed på mellan 2,59 M.kr och 6,18 M.kr. Med samma längd och pris på mattorna uppgår dess årliga kostnad till 1,68 M.kr. Vid odling av gurka rymmer en matta istället i snitt 2,5 plantor, vilket ger totalt 111 945 plantor till lika toppar där varje sådan upptar 0,69 m². Detta ligger inom vår- och sommarintervallet för gurka, givet i kapitel 2.4.2. Då belysning samt uppvärmning används, antas det rimligt att inte använda vinterintervallet. Då gurka odlas i tre perioder om fyra månader, behövs plantor köpas i lika många omgångar. Det totala antalet uppgår därmed till 335 835 toppar per år. Kostnaden per planta ligger mellan 22 kr och 35 kr [100], vilket motsvarar 7,39 M.kr till 11,75 M.kr årligen för plantor. Kostnaden för tomahooks uppgår till 1,43 M.kr per år. Investeringskostnaden för vajrarna, uppgår till 0,45 kr. Att köpa in vagnar och räls kostar lika mycket som vid tomatodling.

Fruktproducerande plantor kan behöva någon form av pollinering för att producera frukt. Det kan ske med vind, vatten eller pollinatörer, som exempelvis humlor. De två förstnämnda alternativen kan vara svåra att återskapa i ett växthus, men att använda humlor är realistiskt. De har en pollinerande förmåga och kan bekämpa skadedjur [103].

Baserat på personlig kontakt med Thomas Lilja [19] samt information tagen från *Wexthuset* [104], så antas kostnaden per humlesamhälle ligga mellan 500 kr och 975 kr. Thomas, som odlar

tomater, köper in 24 humlesamhällen varannan vecka under en period på 30 veckor per år, vilket ungefär motsvarar antalet skördeveckor. Dessa täcker hans växthus på 60 000 m². Tillsammans med det antagna priset för humlesamhällen ger detta en årlig kostnad per kvadrat på mellan 3 kr/m² och 5,85 kr/m². För den dimensionerade odlingsarean på 77 000 m² ligger således den årliga kostnaden för humlor på mellan 0,23 M.kr och 0,45 M.kr vid tomatodling. Om samma villkor antas gälla vid gurkodling behövs istället 17 inköp per år, då gurka skördas under 33 veckor. Detta innebär istället en årlig kostnad för humlor på 0,26 M.kr till 0,51 M.kr.

5.1.4 Golv

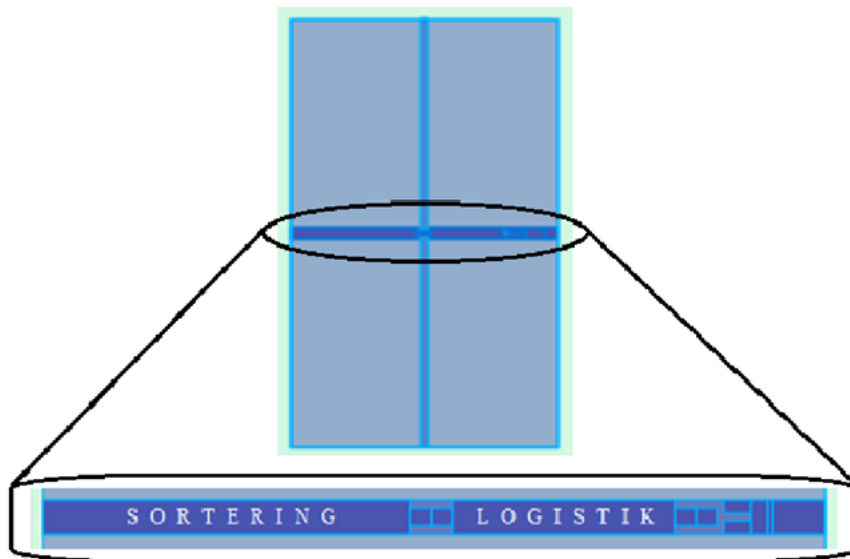
Material till växthusgolv kan vara olika dyrt samt ha olika för- och nackdelar. Kraven på golv är olika beroende på vad det ska användas till. I gångarna, nämnda i kapitel 5.1.2, måste det klara av tyngre utrustning såsom truckar, sorteringsmaskiner och personalytor, därmed används där betong. Baserat på ett flertal källor beräknas det kosta mellan 1 843,71 kr/m² och 2 243,71 kr/m² med allt inkluderat [105, 106, 107, 108, 109, 110]. Den totala ytan betong utgörs av gångarna samt en grund med bredd 0,5 m runt hela växthuset, där 25 cm går inåt och 25 cm går utåt. Detta ger en betongarea på 4 577,5 m² (motsvarande dem mörkare ytorna till höger i Figur 5.1) och motsvarar en kostnad på 9,57 M.kr till 11,40 M.kr, inklusive kantelement för betongen. Där odling sker behöver underlaget istället bara klara av lasten bestående av plantorna med frukt samt de hydroponiska systemen. Betonggolv medför ofta stora kostnader, speciellt om större ytor ska gjutas. Istället kan jorden packas och täckas med en ultramat. Ultramaten i sig kostar betydligt mindre än betong, 11 kr/m² [111]. Jorden undertill måste dock plattas till för att kunna bära lasten. Denna kostnad ligger på ungefär 7 kr/m² [13]. Där antas hyran för en vältmaskin samt kostnaden för att packa ytan tre gånger ingå, vilket ger en kostnad på 0,567 M.kr (räknat på 81 000 m²). Areal av ultramat som behövs uppgår till 76 715,25 m² (motsvarande dem ljusare ytorna till höger i Figur 5.1) och innebär en kostnad på 0,84 M.kr. Alternativet hade varit att gjuta en betongplatta under hela växthuset vilket hade kostat mellan 149,72 M.kr och 182,12 M.kr, inklusive kantelement för betongen.

Ultramaten är som tidigare nämnt slitstark, men klarar inte allt för mycket intensiv fottrafik. Plockvagnarna som rör sig på rälsen skonar därför ultramaten från detta och förlänger dess livslängd.

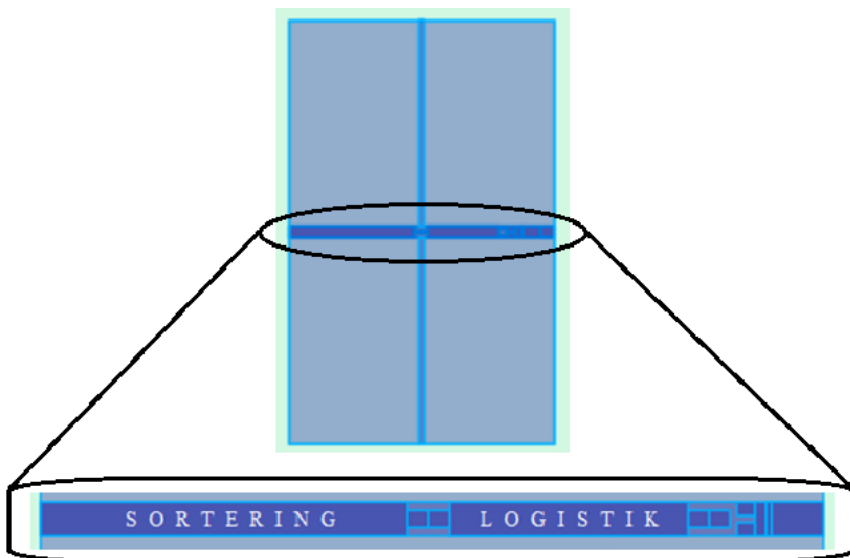
5.1.5 Mittengången

Figur 5.3 och Figur 5.4 visar en närmare inblick av hur mittengången är uppbyggd för respektive gröda. Där finns, sett från vänster: yta för sorterings- och packningsmaskiner, kontor, yta för logistik, personalutrymmen och slutligen en yta för diverse bevattningsutrustning. De mörkare delarna i figurerna motsvarar dessa ytor, placerade i samma ordning som ovan. Dessa delar

beskrivs mer ingående i kapitlet och följer samma ordning som ovan. Mittengången har, som tidigare nämnts, en bredd på 10 m vilket är den som antas om inget annat specificeras.



Figur 5.3: Layout av mittengången, tomatodling



Figur 5.4: Layout av mittengången, gurkodling

Det finns en sorteringsmaskin för tomater med kapacitet på ungefär 3 000 kg i timmen och ett pris på 0,20 M.kr. Till den behövs en inmatningstransportör vilket kostar 0,18 M.kr och ger en total kostnad på 0,38 M.kr. Maskinen i sig har en längd på 15,25 m, och med inmataren blir den ungefär 19,0 m lång, bredden är ungefär 3,0 m [112]. Maximal producerad vikt tomater på ett

år beräknas, via informationen i kapitel 2.4.1 i kombination med växthusets storlek, till 5 005 000 kg. Det antas att sorteringsmaskinerna används 12 h per dag under perioden då skörd sker, det vill säga 8 månader. Detta innebär att 1 737,8 kg tomater behöver sorteras per timme, vilket är inom maskinens kapacitet, därmed krävs bara en.

Det finns en sorteringsmaskin för gurkor med en kapacitet på 18 000 gurkor i timmen. Den kostar 0,6 M.kr, har en längd på 29,9 m, bredd på 2,45 m, och en höjd på 2,6 m [112]. Maximala mängden producerad gurka beräknas till 8 644 393 kg per år. Gurkor går att skörda under 33 veckor av året, och med en vikt per gurka på 0,300 kg samt ett antagande att sorteringsmaskiner används 12 h per dag under perioden då skörd sker, innebär det att minst 10 395 gurkor måste sorteras per timme. Därmed räcker en maskin. Gurkor behöver även plastas in innan dem transporteras vidare, alltså behövs en filmningsmaskin. Den kostar 0,6549 M.kr per maskin och har en kapacitet på 7 500 gurkor per timme, vilket gör att två behövs. Längden på maskinen är 3,6 m, bredden 1,1 m och höjden 2,1 m. Till varje filmningsmaskin behövs även en inmatare, dessa har en styckkostnad på 0,1587 M.kr vilket ger en totalkostnad för filmningsmaskinerna på 1,627 M.kr. Motsvarande mått för inmataren är en längd på 2 m och bredd på 1,9 m [112]. Kostnaden för filmning av gurka ligger på 0,596 kr/kg gurka [5], motsvarande en årlig kostnad på mellan 4,12 M.kr och 5,15 M.kr. Oavsett gröda som odlas så har en yta på 1 055 m² avsatts för maskinerna, motsvarande en längd på 105,5 m.

Därefter kommer två kontor uppbyggda av fyra moduler som tillsammans upptar en yta på totalt 58,98 m² oavsett gröda, med en total bredd och längd på 4,87 m respektive 12,11 m. Kostnaden per två moduler kombinerat uppgår till 0,395 M.kr [113]. Till inredning och elektronik har 0,10 M.kr avsatts, vilket ger en totalkostnad på 0,89 M.kr.

Efter det kommer en yta för logistik. Där ingår utrymme för truckar, lastpallar, och lagringsutrymmen. Beroende på vilken gröda som odlas i växthuset så kommer olika ytor till resterande delar som bygger upp mittengången uppta olika mycket plats, vilket då ger mer eller mindre yta för logistiken. Vid tomatodling så upptar den 641,8 m² med en längd på 64,18 m. För gurka är längden istället 68,38 m, vilket ger en yta på 683,8 m². Två truckar antas behövas i växthuset vilket ger en totalkostnad på 0,28 M.kr [114].

Vidare så behövs diverse olika personalutrymmen. Storleken på dessa beror på antalet anställda. *Jordbruksverket* har uppskattat hur många arbetstimmar som krävs per kilogram och kvadratmeter för respektive gröda [5]. Detta, tillsammans med antalet kilogram som skördas per m², samt en odlingyta på 77 000 m², ger en uppskattning av antalet arbetstimmar som krävs. Vid tomatodling beräknas mellan 66 346 timmar och 70 584 timmar per år behövas. Lönen för en växthusarbetare antas vara 144,64 kr/h [115], vilket för arbetsgivaren uppgår till en kostnad på 214,68 kr/h [116]. Detta ger en årlig lönekostnad vid tomatodling på mellan 14,24 M.kr och 15,15 M.kr. Om varje anställd arbetar 168 h/månad och odlingssäsongen vid tomatodling, som bekant, är ungefär 10 månader, så krävs totalt mellan 40 anställda och 43 anställda. Då en ojämn

könsfördelning kan uppstå så överdimensioneras personalytorna för att ge utrymme till 24 kvinnor och 24 män. Detta förenklar dimensionering och ger utrymme till fler anställda.

Genom informationen från *Jordbruksverket* så beräknas istället 39 726 timmar till 41 566 timmar krävas vid odling av gurka. Odlingssäsongen för gurka sträcker sig över hela året och kräver därmed totalt mellan 20 anställda och 21 anställda. Totala lönekostnaderna ligger därmed på 8,53 M.kr till 8,92 M.kr. Då en ojämn könsfördelning kan uppstå, överdimensioneras personalytorna, likt tomatodling, för att ha utrymme till 16 kvinnor och 16 män.

Varje arbetsplats behöver minst 1 toalett per 15 anställda. Det finns färdiga moduler med 2 toaletter, 2 duschar, 1 handfat, 2 urinoarer, 1 handtvättsränna samt en varmvattenberedare på 300 L. För att kunna ha separata duschar så krävs minst en modul vardera för kvinnor och män. Dimensioneringen för personalutrymmen vid odling av tomater uppgick till 48 anställda med jämn könsfördelning, vilket gör att en modul vardera räcker. Densamma gäller vid gurkodling, med en dimensionering för 32 anställda och jämn könsfördelning. De färdiga modulerna upptar en yta på totalt 29,49 m², där den totala bredden är 12,11 m och längden 2,435 m. Kostnaden per modul uppgår till 0,10 M.kr, vilket ger en totalkostnad på 0,20 M.kr oavsett gröda [117].

Arbetsplatser behöver även någon form av omklädningsrum, speciellt om arbetet är fysiskt ansträngande. Varje anställd antas behöva en yta på 1,3 m² [118]. Det innebär 31,2 m² för män respektive kvinnor vid tomatodling, motsvarande 20,8 m² vid gurkodling. Vardera omklädningsrum har en bredd på 4 m, medan längden är 7,8 m vid tomatodling 5,2 m gurkodling. Dessa byggs upp av moduler med betongplattan borträknad, som har en kostnad på 12 200 kr/m² [119]. Till omklädningsrum behövs skåp och bänkar. Varje skåp är utrustat med fyra dörrar och är därmed avsett att användas av fyra personer. Dessa har ett styckpris på 3 706,25 kr [120]. Bänkarna har en längd på 2 m och antas kunna användas av 8 personer, med förutsättning att alla inte byter om samtidigt. Priset är 2 618,75 kr per bänk [121]. För omklädningsrummet vid odling av tomat behövs därmed 12 skåp och 6 bänkar, vilket ger en totalkostnad, inklusive modulerna, på 0,82 M.kr. För gurkodlingen behövs istället 8 skåp och 4 bänkar vilket ger en totalkostnad 0,55 M.kr. Mellan omklädningsrummen och toalett/duschmodulerna så är avståndet 2 m i längdled.

Det behövs även en stor matsal, där varje anställd antas behöva minst 1 m². Detta ger en yta på 48 m² vid tomatodling och 32 m² vid gurkodling vilket motsvarar en längd på 4,8 m respektive 3,2 m. Även här krävs moduler, vilka har ett pris på 12 200 kr/m². Till en matplats krävs även stolar och bord, dessa har ett styckpris på 560,94 kr [122] respektive 3 600 kr [175]. Ett bord rymmer 8 personer och för att det inte ska bli för tätt mellan de anställda så är ett extra bord inräknat. Vid tomat- och gurkodling uppgår antalet bord till 7 respektive 5. Antalet stolar motsvarar antalet anställda som personalytorna är dimensionerade för, det vill säga 48 respektive 32. Detta ger en totalkostnad på 0,64 M.kr respektive 0,43 M.kr.

Till varje arbetsplats behövs ett kök med vask, ugn, kylskåp, mikrovågsugnar etc. I växthuset är tanken att köket har en längd på 1,5 m oavsett gröda och tar därmed upp 15 m². Detta ger en kostnad på totalt 0,25 M.kr [123]. Samtidigt krävs någon form av modul för att avgränsa köket med väggar. Samma moduler som för matsalen antas användas vilket ger en totalkostnad för hela köket på 0,44 M.kr.

Totalt uppgår kostnaderna för personalytor, inräknat; toalett/dusch, omklädningsrum, matplats samt kök, till en kostnad på 2,99 M.kr för tomatodling och 2,51 M.kr för gurkodlingen.

Sista ytan är avsedd för diverse bevattningsutrustning och beskrivs närmare i kapitel 5.3. Denna yta har en längd på 15 m oavsett gröda och ger en area på 150 m². Den är inte uppbyggd av moduler, avgränsningar görs istället med växthusets väggar samt väggen mot köket.

Det behövs även belysning i mittengången. Generellt bör arbetsplatsbelysning ligga på ungefär 500 lux enligt *Fagerhult* [124]. LED-lysrör med en ljusstyrka på 1 400 lumen, går att köpa till ett pris på 157 kr [125]. Då arean av mittengången är 2 250 m² och varje kvadratmeter kräver 500 lumen, uppgår det totala antalet lysrör till 804, vilket innebär en total kostnad på 0,13 M.kr.

5.1.6 Växtbelysning

Som tidigare nämnt används belysning vid gurkodling. Det antas att LED-lampor installeras då de har en låg elanvändning, håller väldigt länge, samt är vanligt förekommande i nybyggda svenska växthus. För moderna LED-lampor ligger antalet μmol per watt typiskt på mellan 2,5 $\mu\text{mol}/\text{W}$ och 3,0 $\mu\text{mol}/\text{W}$ [126], och antas det att 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ behövs, vilket motsvarar ungefär 85 W/m² till 100 W/m². Ett prisintervall på 909,09 kr/m² till 1 818,18 kr/m² har sammanställts baserat på ett flertal källor, bland annat *Trädgårdsteknik* [127] och *Hydrogarden* [128], vilket ger en investeringskostnad på mellan 70 M.kr och 140 M.kr.

5.1.7 Ventilation & fläktar

För att kunna reglera temperaturen och luftfuktigheten i ett växthus, så krävs någon typ av ventilation. Det är vanligt att ventilationsluckor i taknocken, luckor i sidan av växthuset, samt fläktar används. Kostnaden för ventilationsluckorna och dess system för öppning och stängning antas ingå i priset för växthusstommen och väggarna. Fläktarna används främst för att cirkulera luften. Värmen sprids då jämt i växthuset och sjukdomar kan undvikas. För att kunna reglera temperatur, luftfuktighet och koldioxidhalt krävs även någon form av styrsystem, ett sådant kostar mellan 2,3 M.kr och 3,45 M.kr. Där ingår någon form av klimatkontroll (för att kunna reglera temperatur, luftfuktighet samt andra miljöfaktorer), sensorer såsom mätbox, väderstationer, och bevattnings- samt PAR-sensorer (fotosyntetiska aktiva strålningssensorer). Den sistnämnda sensorn används för att övervaka ljusförhållanden och på så vis justera ifall skuggning behövs, och vid gurkodling, ifall extra belysning krävs. Även fläktar med tillhörande

luftkanaler ingår i denna kostnad [129]. Att driva fläktar innebär en elkostnad. Det antas att alla fläktar körs på full effekt under odlingssäsongen, och att de drar ungefär 122 W vardera.

5.1.8 Växthusområdet

För att anlägga ett växthus krävs inte bara en noggrann planering av själva odlingsmiljön, utan också en rad juridiska och praktiska förutsättningar. Lagar och regler är nödvändiga att följa, till exempel kring bygglov och krav på distanser. Enligt byggnadsstadgans 39 § ska byggnader placeras minst 4,5 m från gränsen mot en granntomt [130]. 5 m har därför adderats i sydlig-, östlig- samt nordlig riktning, sett från växthuset. Detta motsvarar en area på 4 500 m² och visas i Figur 5.5 och Figur 5.6.

Dessutom måste logistiska aspekter, som tillgång till parkering och goda transportmöjligheter, tas i åtanke för att verksamheten ska fungera smidigt i praktiken. I kombination med parkeringsyta för anställda och besökare behövs även en lastplats för lastbilar att kunna hämta upp grödorna, för att kunna frakta dem vidare. En lastbil får maximalt vara 34,5 m lång [131] och kräver lite utrymme för att kunna vända, därmed måste parkeringen vara minst så bred. Då vägen inte är parallell med växthuset så kommer parkeringen inte ha en rektangulär form. Den nedre kortsidan har en längd på 40 m vilket ger lastbilar en stor yta att vända på. Denna del är i linje med växthusets mittengångs nedre långsida, detta för att förenkla lastning av gods. Utöver detta finns utrymme för både anställda och besökare. Totalt anläggs en parkering på 2 960 m², enligt Figur 5.5 och Figur 5.6. För att bygga denna, med grus som underlag, så ligger priset mellan 525 kr/m² och 600 kr/m² [132, 133]. Detta ger ett totalpris mellan 1,55 M.kr och 1,78 M.kr och inkluderar schakt av befintlig yta, lite vatten- och avloppsarbeten för dagvattenhantering, el för belysning, grus, enkelt bygglov samt byggherrekostnad.

Även yta för teknikhus behövs. Där utnyttjas ytan ovanför parkeringen som upptar 2 680 m², en yta som rimligtvis inte lämnas osåld av bonden med tanke på övriga markandelar som köps, se Figur 5.5 och Figur 5.6. I teknikhuset är tanken att flera av växthusets nödvändiga komponenter placeras, däribland elutrustning, värmeväxlare och diverse pumpar. Kostnaden för elutrustning och elanslutning beror på effektbehovet. Som nämnt antas det att belysning inte används vid tomatodling och behovet utgörs då av el till fläktar, pumpar, desinficeringsystem, sorteringsmaskiner och personalytor. Denna effekt beräknas till ungefär 400 kW. En anslutning till högspänningsnätet på 600 A (413 kW) kostar ungefär 0,95 M.kr [134] och själva elutrustningen har ett pris på 1,3 M.kr. Därtill ingår HSP, LSP, transformator, transport och avlastning samt installation av produkterna [135].

Belysningen i fallet med gurkodling beräknas ha en effekt på 7 MW. 400 kW läggs till, likt fallet med tomatodling, vilket ger en maxeffekt på 7,4 MW. En anslutning på 7 MW till mottagningsstationen ORTA, som har ett avstånd på ungefär 2,1 km från växthuset, hade kostat 5,30 M.kr [134]. Genom linjär extrapolering uppskattas således en anslutningskostnad för 7,4

MW uppgå till 5,60 M.kr. Med denna maxeffekt kommer växthuset vara en högspänningskund, och anslutas till 20 kV-nätet. Därmed krävs en egen abonnentstation för att ansluta 20 kV-kablar och kunna placera en debiteringsmätare. Detta, tillsammans med övrig elutrustning, innebär en kostnad på 4,3 M.kr, där HSP, LSP, transformatorer, samt transport och avlastning ingår [135].

Mängden el som används utgör också en kostnad. Priset för el antas ligga mellan 0,7 kr och 1,3 kr, baserat på statistik från *Statistiska Centralbyrån* [136]. Elanvändningen per år vid tomatodling beräknas till 1 616,02 MWh, vilket innebär en årlig kostnad på mellan 1,13 M.kr och 2,10 M.kr. Motsvarande siffra vid odling av gurka beräknas till 17 953,79 MWh, vilket ger en årlig kostnad på mellan 12,57 M.kr och 23,34 M.kr.

Utöver detta så finns även värmeväxlare och pumpar, dessa beskrivs närmare i kapitel 5.2.1 respektive 5.2.2. Även en potentiell oljepanna med tillhörande oljelager får plats, beskrivna i kapitel 5.2.3.

En koldioxidtank krävs också, den upptar en yta på 12,25 m² och har kapacitet för 100 m³ koldioxid i flytande form. Den kostar 830 000 kr, placeras utanför teknikhuset och förser växthuset med koldioxid via ett koldioxidsystem [137]. Det antas en årlig användning på mellan 20 kg CO₂/m² och 60 kg CO₂/m² samt en kostnad på 2,10 kr/kg [138]. Därmed kostar koldioxid årligen mellan 3,23 M.kr och 9,70 M.kr, oberoende av gröda. Koldioxidsystemet består av billiga plaströr och därmed antas dess kostnad vara försumbar. Styrning och mätning ingår i det tidigare beskrivna systemet för klimatkontroll [129].

För att det ska finnas tillräckligt med yta för den beskrivna utrustningen så har teknikhuset dimensionerats till 150 m² med en längd på 15 m, bredd på 10 m och en höjd på ungefär 4 m. Att bygga liknande hus har ett pris per kvadratmeter på 25 000 kr till 36 000 kr [139], vilket ger en kostnad på mellan 3,75 M.kr och 5,40 M.kr. Utöver detta krävs även bygglov, för en nybyggnad enligt planlösning på mellan 100 m² och 499 m² kostar det 61 000 kr, enligt *Lunds kommun* [97]. *Arbetsmiljöverkets* föreskrifter samt *MSB*, *Naturvårdsverkets*, *Elsäkerhetsverket* och *Räddningstjänstens* krav för hantering av farliga ämnen och brandrisker måste även följas. För att denna utrustning ska kunna placeras i samma byggnad så finns olika krav. Transformatorer måste vara brandavskiljda med brandväggar tåliga upp minst 60 min brand, separata explosionsanpassade elrum ska även finnas. Det är också nödvändigt att ha bra ventilation, gnistsäkra installationer, samt någon form av brandsläckningssystem [140].



Figur 5.5: Layout av växthusområdet vid odling av tomat



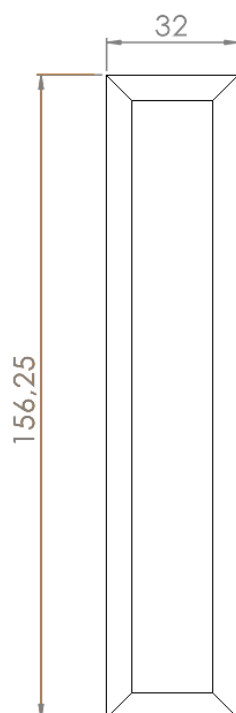
Figur 5.6: Layout av växthusområdet vid odling av gurka

5.1.9 Reservoaren

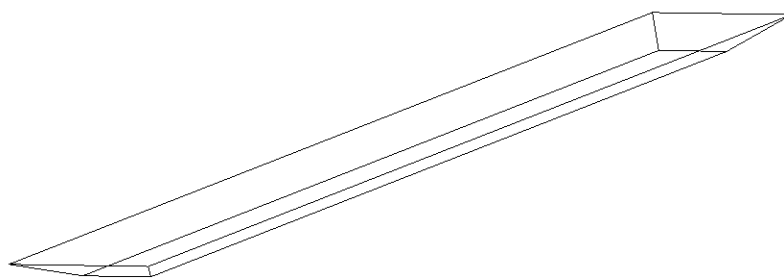
Mängden vatten som krävs för bevattning är olika beroende på om tomat eller gurka odlas, därmed behövs även olika storlekar på reservoarerna.

Formen på reservoaren vid tomatodling kan ses som en upp- och nedvänd avstympad rektangulärbaserad pyramid där toppen är avskuren, se Figur 5.8. Toppytan har mått, enligt Figur

5.7, vilket ger en total area på 5 000 m², sett ovanifrån. För att vattenlagret ska räcka för den undersökta perioden beräknas det krävas en volym på minst 14 397 m³, vilket kan tolkas ur Figur 5.28. Lutningen på väggarna motsvarar ett förhållande 1:2, vilket innebär att ett steg neråt ger två steg in, motsvarande en vinkel på 26,57° mellan horisonten och reservoarens väggar. Med denna lutning erhålls en tillräcklig volym med ett djup på 4,1 m, motsvarande 14 538,61 m³. Bottnens sidlängder blir då 15,60 m på bredden och 139,85 m på längden. Någon form av liner krävs, med en total area som utgörs av reservoarens sidor samt botten, motsvarande 5 322,66 m², där priset uppgår till 38 kr/m² [141]. Priset för utgrävning och landskapsarkitektur är 128,99 kr/m³ [142]. Detta ger en totalkostnad för reservoaren på 2,08 M.kr. Avståndet från reservoaren är 2 m till parkeringen, 3 m till växthuset och minst 5 m till närmsta tomtgräns.

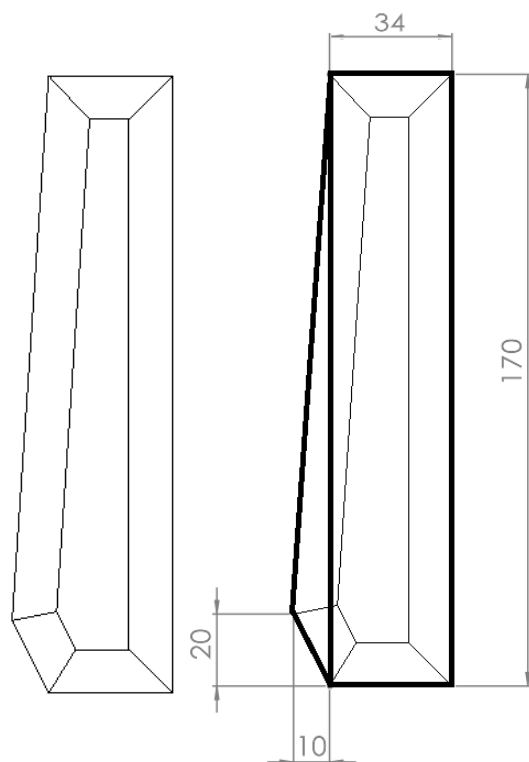


Figur 5.7: Reservoar (tomat), sedd rakt ovanifrån

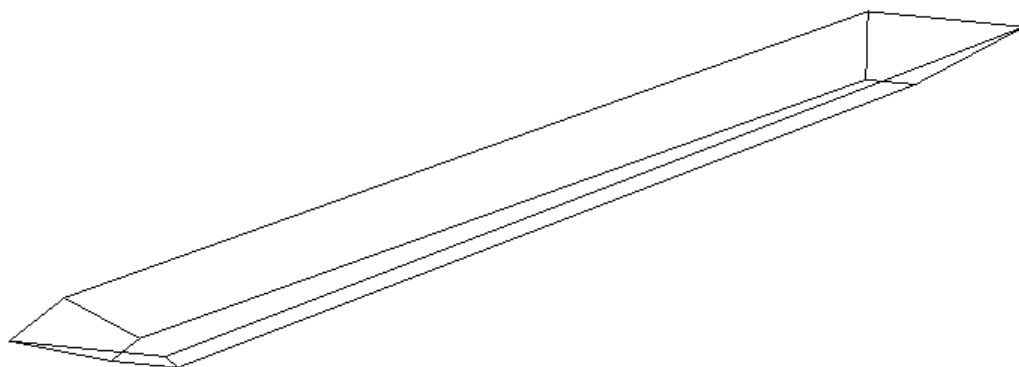


Figur 5.8: Reservoar (tomat), sedd snett ovanifrån

För gurka, som använder mycket mer vatten, beräknas det krävas ett vattenlager på minst 25 971 m³, vilket kan tolkas ur Figur 5.29. Därmed måste reservoaren ha en annorlunda utformning. Det finns utrymme att utöka reservoarens yta, se Figur 5.5. Genom att ändra formen på reservoaren till den vänstra delen av Figur 5.9, så kan en betydligt större volym erhållas. Till höger i samma figur visas att ytan är uppbyggd av en rektangel och en triangel, med tillhörande mått. Dessa ger en topparea på 6 630 m². Med kravet på minsta nödvändiga volymen, och samma lutning på hålet som för reservoaren anpassad för tomatodling, krävs ett djup på 6 m. Det ger en volym på 26 096,65 m³, enligt *SolidWorks*, utformningen syns i Figur 5.10 och ger en uppdatering av växthusområdet jämfört med vid tomatodling till Figur 5.6. Det krävs även en liner som täcker motsvarande område som för reservoaren vid tomatodling. Enligt *SolidWorks* uppgår hela mantelarean till 13 776,7 m², och via enkla beräkningar så erhålls en linerarea på 7 146,7 m² vilket ger en investeringskostnad på 3,64 M.kr. Avståndet från reservoaren till parkeringen är fortfarande 2 m, 5 m till närmsta tomtgräns, men avståndet till växthuset är 1 m istället för 3 m som vid tomatodling.



Figur 5.9: Reservoar (gurka). Till vänster: Sedd rakt ovanifrån. Till höger: Mått satt rektangel samt triangel. (*SolidWorks*)



Figur 5.10: Reservoar (gurka), sedd snett ovanifrån. (*SolidWorks*)

Totalt

Totalt behövs en yta på 99 740 m² till växthusområdet, då antas en köpt area på 10 hektar (100 000 m²). Ytor som ingår i den totala arean redovisas i Tabell 5.1. Kostnaden per kvadratmeter på mellan 40 kr/m² och 700 kr/m², ger en total kostnad på 7 M.kr till 40 M.kr för marken.

Tabell 5.1: Olika ytor och dess storlekar enligt Figur 5.5 och Figur 5.6. Fetstilta ingår i totalarean, icke-fetstilta ingår inte

Areor	Area (m²)
Växthusarea	81 000
Extra area åt resterande håll	4 500
Parkeringsarea	2 960
Extra area ovanför parkeringen/till teknikhus	2 680
Extra area runt reservoar, tomat	3 600
Reservoarsarea, tomat	5 000
Extra area runt reservoar, gurka	1 970
Reservoarsarea, gurka	6 630
Odlingsarea	77 000
Gångar i växthuset	4 000
Total area i betong (gångar och grund till växthusets väggar)	4 577,5
Teknikhus	150
Total area	99 740

5.2 Uppvärmningssystemet

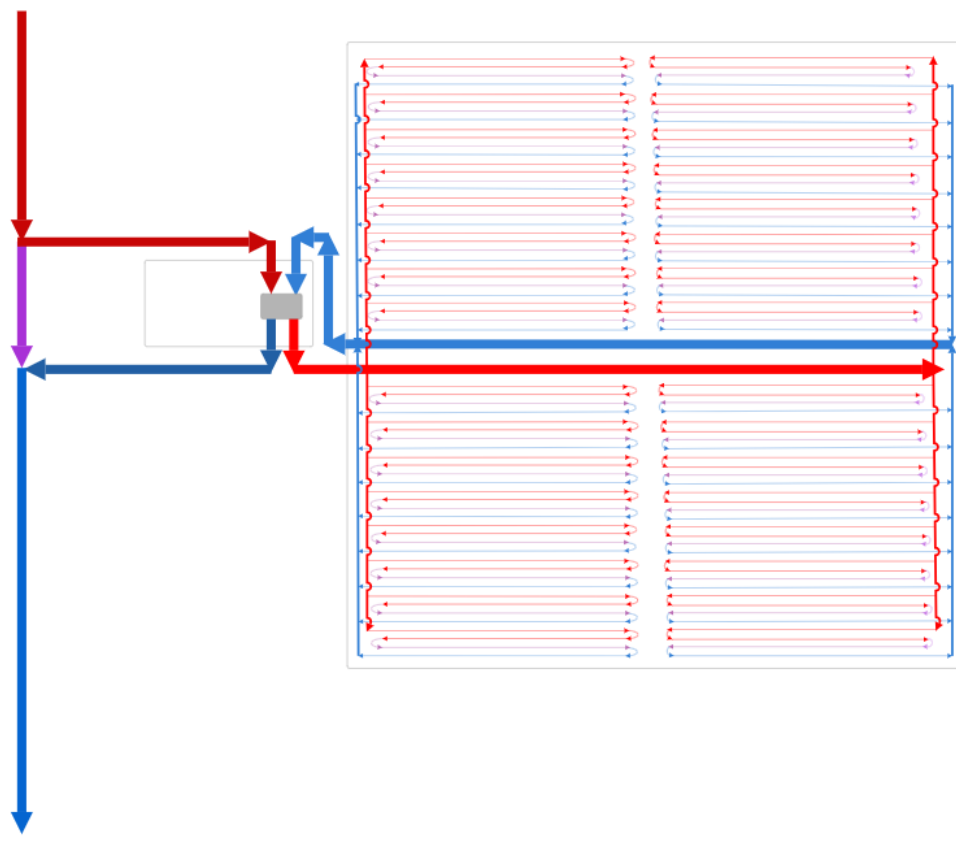
I detta avsnitt beskrivs det uppvärmningssystem som designats för att leverera värme till växthuset, samt växthusets värmebehov och hur detta varierar. Som uppvärmningssystem antas ett slutet rörsystem, likt beskrivningen i kapitel 2.5.9, användas. För att överföra effekt till detta system från fjärrvärmenätets returflöde antas plattvärmeväxlare användas.

5.2.1 Beskrivning av systemet

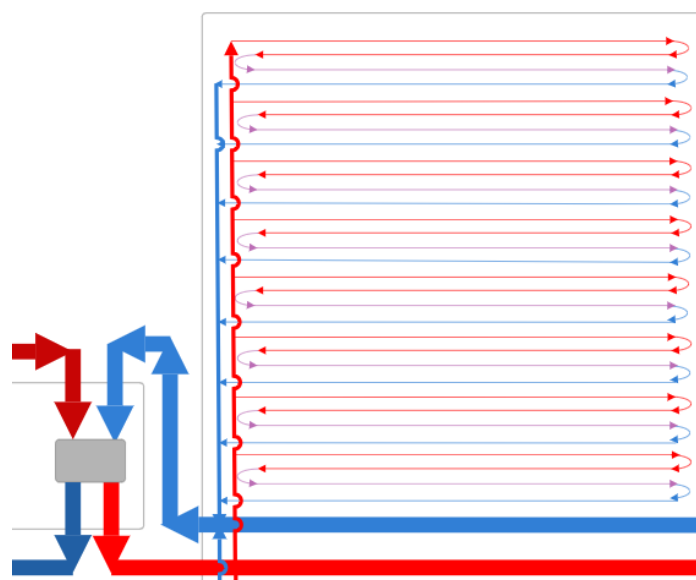
Vid dimensionering av värmeväxlare används metodiken beskriven i kapitel 3.1. Det antas att maximalt 1 200 m³/h leds från fjärrvärmereturflödet, och att maximalt 900 m³/h pumpas i växthusets slutna rörsystem. Används dessa flöden tillsammans med det beräknade värmebehovet, samt den uppskattade tillgängliga effekten, fås genom ekvation (3.9) en behövd värmeväxlararea på 614,95 m². Det finns en värmeväxlare med en area på 375 m² till ett pris på 0,64 M.kr [143]. Denna har en längd på 2,07 m, bredd på 0,92 m, och en höjd på 2,67 m. Parallellkopplas två sådana fås en total värmeväxlararea på 750 m², vilket räcker. Totala kostnaden för värmeväxlare mellan returflödet och växthusets slutna rörsystem blir således 1,28 M.kr.

Då inte all tillgänglig effekt är nödvändig kopplas ett rör från fjärrvärmereturflödet till värmeväxlarna. Kostnaden för att dra ett sådant rör ligger på 20 000 kr/m [144], och längden på röret beräknas till 35 m. Det krävs ett rör i båda riktningar, vilket ger en totalkostnad på 1,40 M.kr. Det antas att flödet justeras efter växthusets värmebehov. På andra sidan värmeväxlarna finns det slutna rörsystemet, som levererar värme till växthusluften. Ett stort rör leder uppvärmt vatten ur värmeväxlarna längs med växthusets mittengång, enligt Figur 5.11. Från detta, går medelstora rör ut längs med odlingsareornas långsidor närmst växthusväggen. Dessa förgrenar sig sedan ut i mindre rör som leds genom raderna och avger värme. Då det realistiskt sett sker ett tryckfall över det stora- samt medelstora rörets längd, antas det att strypventiler används på de mindre rören för att säkerställa att flödet är ungefär lika stort i alla rör. De mindre rören går sedan till ett medelstort returrör, vilket leder vattnet till ett större rör i mittengången, som i sin tur leder vattnet till värmeväxlaren igen. För att underlätta beräkningar antas det att flödet i det slutna rörsystemet hålls konstant, men i verkligheten skulle troligtvis detta justeras beroende på värmebehovet.

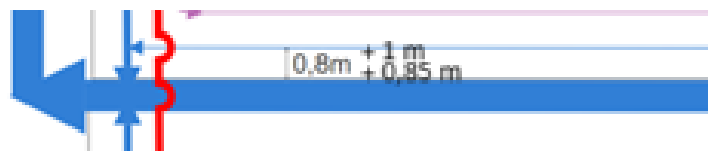
Diametern på de mindre rören har dimensionerats till 0,20 m. Rälsen till plockvagnarna, som nämnts tidigare, installeras på dessa rör. Det antas att ett rör leds längs en hel rad och tillbaka, sedan längs nästa rad och tillbaka. Varje rör leds alltså längs två rader. Längden blir således lite större än 4 gånger längden av en rad, då en del längd tillkommer när röret böjs, och beräknas med dessa antaganden till 440 m. För att förenkla beräkningar antas det att de stora- samt medelstora rören är så pass välisolerade att värmeavgivningen från dessa är försumbara. Det antas även att växthusluftens rörelser resulterar i en konvektiv värmeförlustkoefficient på 25 W/(m·K). Innerdiametern av de medelstora- samt stora rören har dimensionerats till 0,30 m respektive 0,5 m, och dess längder till 175 m respektive 225 m. Att installera rörsystem för uppvärmning i växthus kostar mellan 119,2 kr/m² och 193,7 kr/m² [96], vilket ger en investeringskostnad på mellan 9,18 M.kr och 14,91 M.kr. Uppvärmningssystemets uppbyggnad illustreras i Figur 5.11 och Figur 5.12. Rörsystemet är samma för båda grödor, men med skillnaden att finns fler rader vid gurkodling, och därmed ett större antal mindre rör. Att det är fler mindre rör gör att flödena i dessa blir lägre, då det totala flödet fortfarande är samma.



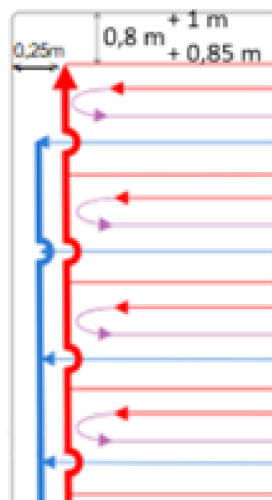
Figur 5.11: Layout uppvärmningssystemets flödesschema, ej korrekt antal rader



Figur 5.12: Inzoomning på rören i uppvärmningssystemet för en odlingsarea



Figur 5.13: Avståndet från mittengången till första raden i en odlingsarea (beroende på gröda som odlas)



Figur 5.14: Avståndet från slutet av raden, till väggen, samt sista raden till väggen (beroende på gröda som odlas)

5.2.2 Pumpdimensionering

Alla tryckfallsberäkningar utförs enligt metodiken beskriven i kapitel 3.2. I det interna uppvärmningssystemet har en snittemperatur på 25 °C antagits. Vid denna temperatur har vattnet en densitet, $\rho_{flöde}$, på 997,01 kg/m³ och en dynamisk viskositet, μ , på 0,89 mPa·s. Med angivna dimensioner uppgår hastigheten i de stora rören till 1,27 m/s, och Reynoldstalet beräknas med ekvation (3.14) till 713 526,09. Tillsammans med en relativ ytråhet på $8,33 \cdot 10^{-5}$ kan friktionsfaktorn då beräknas genom ekvation (3.13) till 0,013. Detta ger, med ekvation (3.11), en tryckförlust på 10,54 kPa över de stora rören. Genom samma metodik blir tryckfallet 6,87 kPa över de medelstora rören och 0,03 kPa över de mindre. Genom att summera dessa, erhålls ett tryckfall för systemet på 17,44 kPa, motsvarande 1,78 mVp. Vid gurkodling är ΔP över de stora- samt medelstora rören samma som vid tomatodling, men över de mindre rören är det istället 0,02 kPa, på grund av det lägre flödet i dem. Systemets tryckfall vid gurkodling blir således 17,44 kPa, motsvarande 1,78 mVp. Vattnet i det slutna systemet ska kunna pumpas upp ungefär 5 m, vilket är den statiska höjd som behöver överkommas. Det finns även en tryckförlust över denna sida av värmeväxlarna på 99,9 kPa [143], vilket motsvarar 10,21 mVp. Den totala dynamiska tryckhöjden blir, med tryckfallet i rören och över värmeväxlarna, inklusive den

statiska höjden, 17 mVp vid tomatodling och 17 mVp vid gurkodling. Det finns en pump som har kapacitet till att pumpa 900 m³/h till en höjd högre än 17 meter, som då bör funka för båda fallen. Denna pump kostar 0,424 M.kr och har en maximal effektanvändning på 76,44 kW [145].

På fjärrvärmeretursidan av värmeväxlaren behövs också en pump, och där antas en snittemperatur på ungefär 40 °C. Detta innebär att vattnets $\rho_{flöde}$ är 992,16 kg/m³ och μ är 0,6527 mPa·s. På denna sida av värmeväxlaren sker ett tryckfall på 93,8 kPa, motsvarande 9,64 mVp. Flödet på denna sida är som högst 1 200 m³/h, och rören antas ha en innerdiameter på 0,3 m. ΔP , med avseende på längderna i kapitel 5.2.1, är 31,89 kPa vilket motsvarar 3,28 mVp. Den totala dynamiska tryckhöjden på fjärrvärmeretursidan blir då 12,91 m och samma typ av pump som fungerar på växthussidan kan användas på fjärrvärmeretursidan [146]. Pumparna antas uppta en yta på 1 m² vardera.

5.2.3 Alternativ uppvärmning

Det beräknas att det i snitt behövs 62,45 MWh alternativ uppvärmning per år vid odling av tomat, vilket motsvarar 0,299 % av den totala värmeförseln. Vid gurkodling behövs i stället 54,75 MWh, vilket motsvarar 0,218 % av den totala värmeförseln.

Under sommarmånaderna är det som tidigare nämnt vid vissa tillfällen lägre tillgänglig effekt i returflödet än det som krävs för att tillgodose växthusets värmebehov. Därför är någon form av alternativ uppvärmningskälla nödvändig. *Krafttringen* har flera känsliga kunder på sitt fjärrvärmenät, exempelvis stora forskningsanläggningar i utkanten av Lund. Det är kritiskt för dessa anläggningar att ha stabil värmeleverans, vilket *Krafttringen* i princip kan garantera. Därmed görs ett antagande att risken för avbrott i fjärrvärmenätet är så pass liten att den inte behöver tas i beaktning, och att fjärrvärmenätets framledningsflöde kan användas som alternativ uppvärmning. För att implementera en sådan lösning behövs en värmeväxlare, samt rördragning från framledningsflödet till denna. Samma typ av värmeväxlare som används till returflödet kan användas här, men då temperaturerna i framledningsflödet är högre än i returflödet behövs bara en sådan värmeväxlare. Rördragningen innebär, likt den i kapitel 5.2.1, en kostnad på 1,40 M.kr. Värmeväxlaren kostar 0,64 M.kr [143], vilket innebär en total investeringskostnad på 2,04 M.kr för att använda framledningsflödet som alternativ uppvärmning.

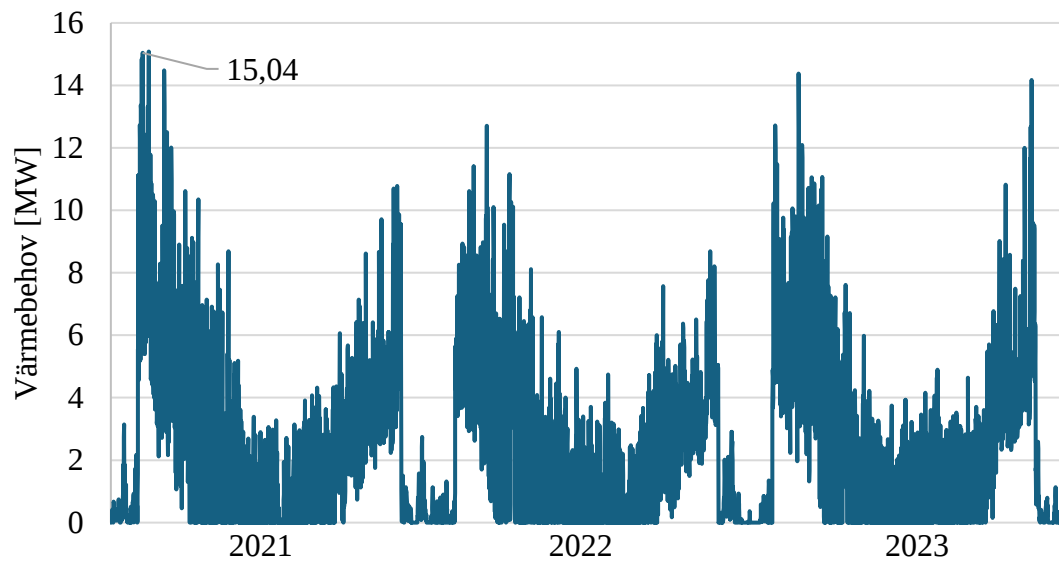
Om risken för skördebortfall inte antas vara försumbar bör en annan lösning användas. Med tanke på den låga investeringskostnaden och de snabba uppstartstiderna som oljepannor som regel har, antas det vara ett passande alternativ i detta fall. För att klara av att värma upp växthuset när effekten i returflödet inte räcker eller denna är ur drift, krävs en oljepanna på ungefär 14 MW. I kombination med ett prisförslag för en 8 MW oljepanna på 11,7 M.kr [147] och en generell ingenjörsexpraxis för att skala upp priset, så antas kostnaden för en sådan panna vara ungefär 15,48 M.kr. Till detta pris ingår kostnader för markarbete, avlopp, samt elanslutningar. Det antas att HVO100 används som bränsle. Denna bioolja har ett energiinnehåll

på 9,444 MWh/m³ samt en kostnad på 25 000 kr/m³ [13]. Mängden olja som används vid tomatodling beräknas till 6,61 m³/år, vilket ger en årlig kostnad för oljan på 0,17 M.kr. Vid gurkodling beräknas istället mängden olja som behövs till 5,8 m³/år, vilket ger en årlig kostnad på 0,14 M.kr. Det finns en oljetank med en kapacitet för 9 m³ till ett pris på 58 950 kr. Denna tank kan användas vid både tomat- och gurkodling, har en höjd på 2,95 m och en diameter på 2,45 m, vilket ger en area på 4,71 m² [148]. En oljepanna kräver även underhåll, vilket i detta fall uppskattas kosta 0,3 M.kr kr per år oberoende av gröda som odlas [149]. Att använda en oljepanna istället för framledningsflödet innebär således en 13,34 M.kr högre investeringskostnad, samt en årlig kostnad på ungefär 0,55 M.kr.

Vattnet som används till bevattning kan behöva värmas upp. För att tillföra värme har det hypotiserats att en mindre värmeväxlare hade kunnat installeras på det interna uppvärmningssystemet, och att bevattningsvattnet hade kunnat ledas genom denna innan mixtanken. Detta vatten kommer ha ett litet värmebehov jämfört med den totala mängden värmeenergi i det interna uppvärmningssystemet, då flödet av bevattningsvattnet är väldigt mycket mindre. Värmebehovet av detta vatten kommer även minskas då det värms upp under transport i rör inne i växthuset, samt i mixtanken. Det antas därför att uppvärmningen av bevattningsvattnet har en försumbar kostnad- samt effekt på uppvärmningssystemet, och även tryckförluster antas försumbara.

5.2.4 Värmebehov

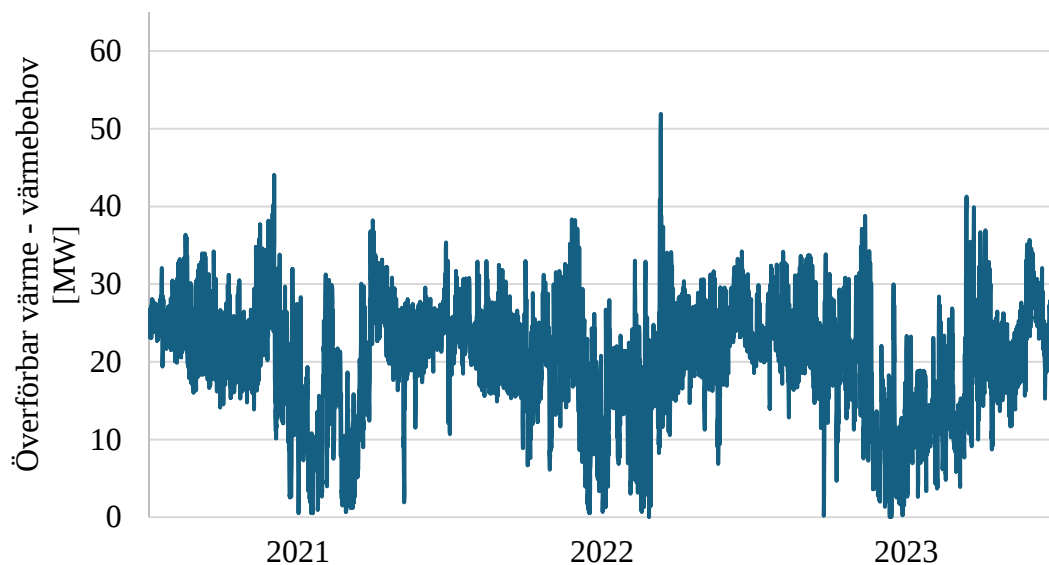
Det genomsnittliga beräknade värmebehovet för ett tomatväxthus av den dimensionerade storleken, angiven i kapitel 4.2, under perioden 2021 till 2023 redovisas i Figur 5.15.



Figur 5.15: Beräknat värmebehov för växthuset vid odling av tomat

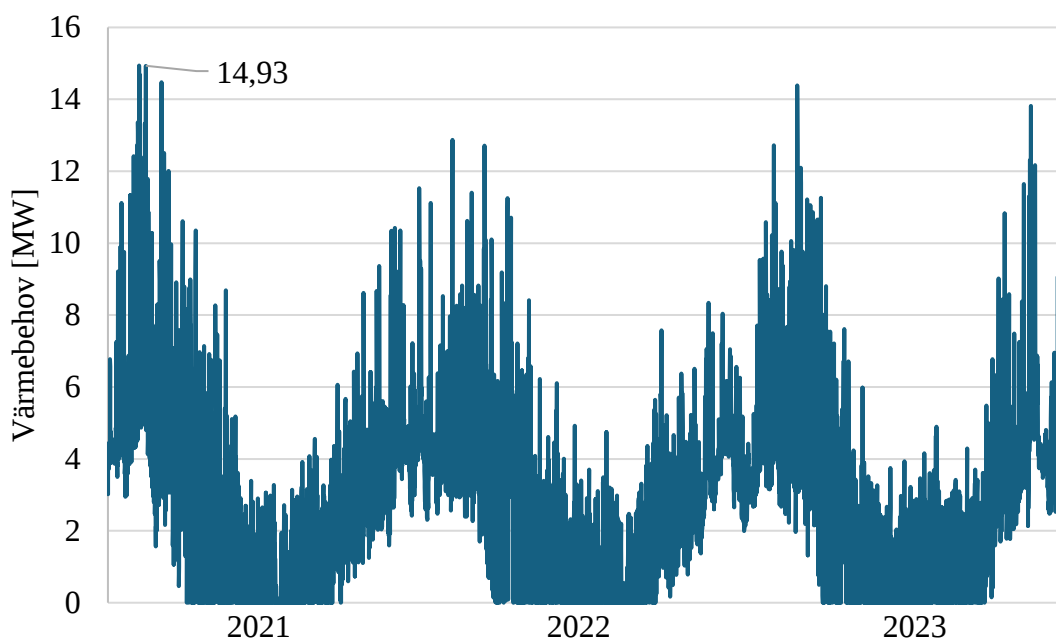
Under vinterhalvåret ligger behovet ungefär mellan 5 MW och 15 MW, och under sommarmånaderna är det lägre, mellan ungefär 0 MW och 4 MW. Behovet utanför odlingssäsong är väldigt lågt, huvudsakligen mellan 0 MW och 2 MW. Genomsnittsbehovet för den undersökta perioden är 2,39 MW, och det maximala beräknade behovet för den undersökta perioden är 15,04 MW.

Mängden värme som kan överföras från fjärrvärmenätets returflöde till växthuset syns i Figur 5.16.

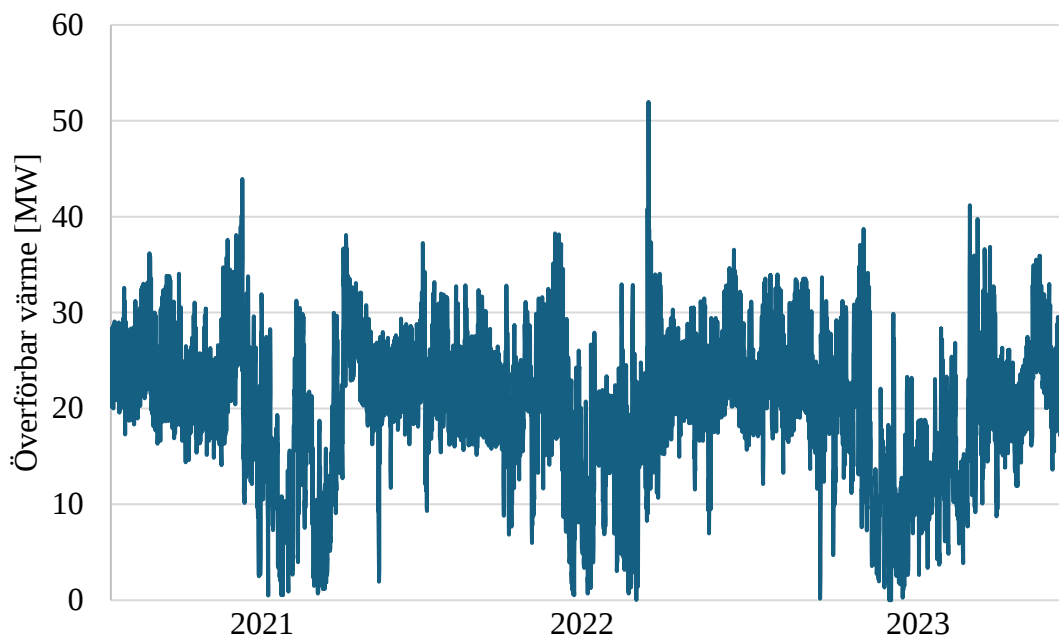


Figur 5.16: Beräknad överförbar värme till växthuset vid odling av tomat

Motsvarande värmebehov för växthuset vid odling av gurka under samma period redovisas i Figur 5.17, och den överförbara värmen till växthuset visas i Figur 5.18.



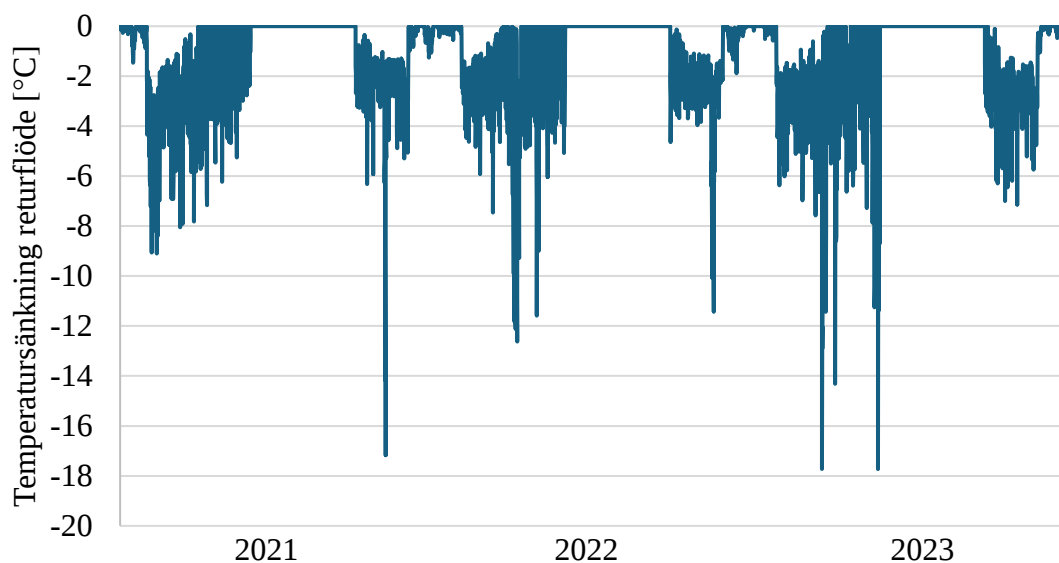
Figur 5.17: Beräknat värmebehov för växthuset vid odling av gurka



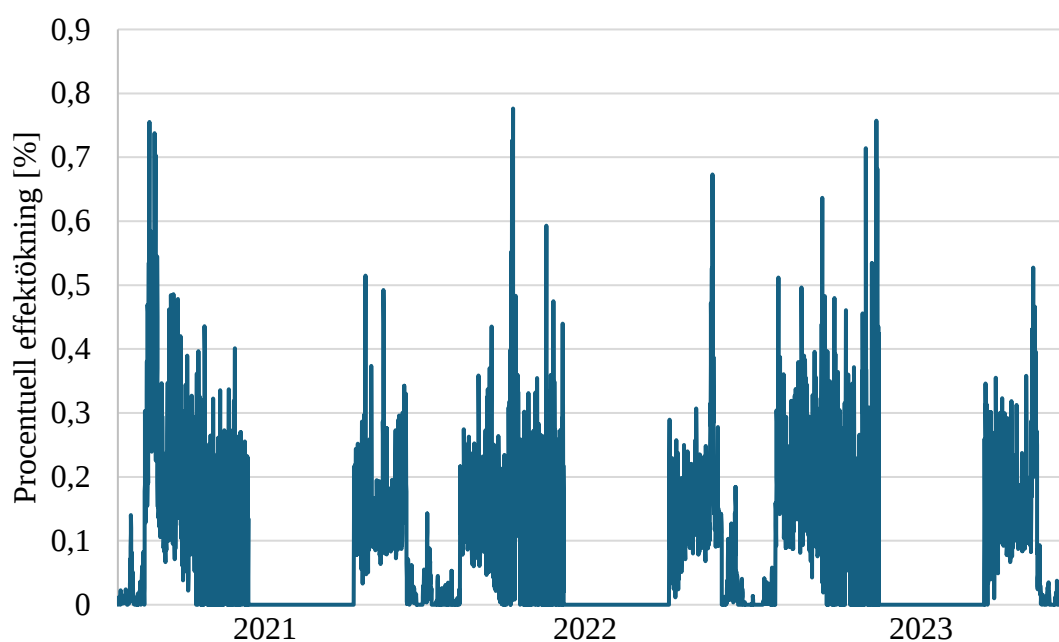
Figur 5.18: Beräknad överförbar värme till växthuset vid odling av gurka

Även här ligger behovet som högst mellan 5 MW och 15 MW under vinterhalvåret, och mellan 0 MW och 4 MW under sommaren. Det genomsnittliga värmebehovet för den undersökta perioden är 2,87 MW, för samma tidsintervall är det maximala beräknade behovet 14,93 MW.

I fallet med tomatodling beräknas returtemperaturen sänkas mellan 0 °C och 5 °C då Örtoftaverket är igång. Denna temperatursänkning hade kunnat leda till en ökad effekt i ångturbinen på ungefär 0,1 % till 1 %. Över ett år beräknas det, via ekvation (2.1), att 187,80 MWh extra elenergi kan produceras. Det monetära värdet av denna energi uppskattas till 462 075 kr. Då Örtoftaverket inte är i drift under stora delar av sommaren bidrar inte en sänkning av returtemperaturen till verkets produktion under denna period. Temperatursänkning beräknas därmed inte från juni till september. Flödets temperatursänkning för den undersökta perioden redovisas i Figur 5.19, och den beräknade procentuella effektökningen för samma period illustreras i Figur 5.20.



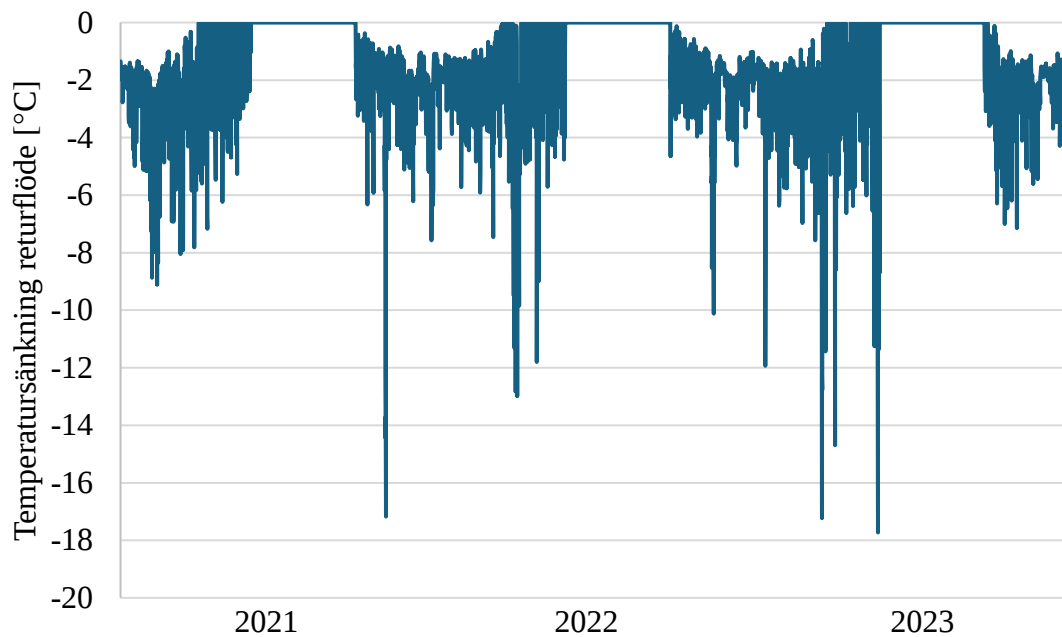
Figur 5.19: Beräknad temperatursänkning av returflödet vid tomatodling



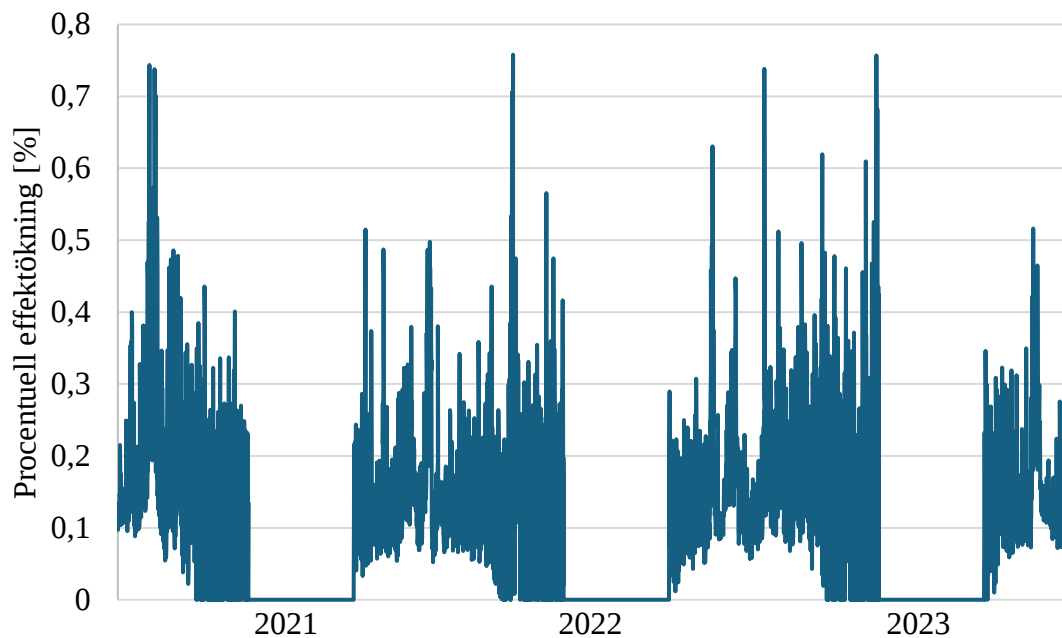
Figur 5.20: Beräknad procentuell turbineffekttökning vid tomatodling

Även vid gurkodling beräknas returtemperaturen i huvudsak sänkas mellan 0 °C och 5 °C då Örtoftaverket är i drift. Likt vid tomatodling hade detta kunnat leda till en ökad effekt i ångturbinen på ungefär 0,1 % till 1 %. Över ett år beräknas det, genom ekvation (2.1), att 226,34 MWh extra elenergi hade kunnat produceras. Det monetära värdet av denna energi uppskattas

till 609 812 kr. Temperatursänkningen i fallet med gurkodling redovisas i Figur 5.21, och den beräknade procentuella effektökningen visas i Figur 5.22.



Figur 5.21: Beräknad temperatursänkning av returflödet vid gurkodling



Figur 5.22: Beräknad procentuell turbineffektökning vid gurkodling

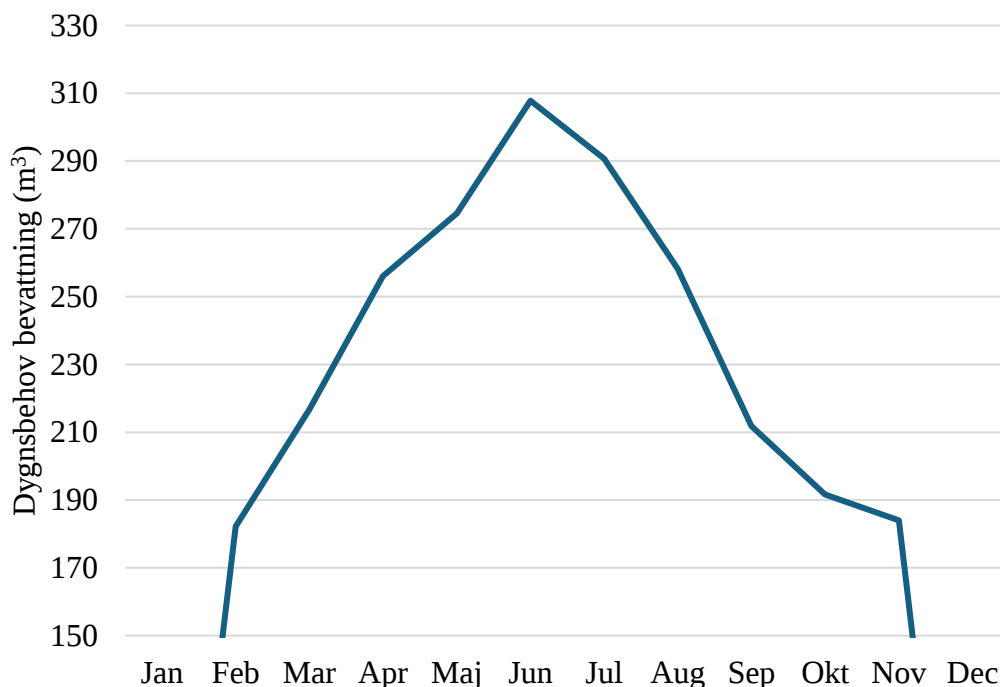
Prisbilden för att köpa värme har baserats på *Krafttringens* företagspriser för 2025 [150]. Då värme huvudsakligen ska tas från fjärrvärmensätets returflöde har endast energipriset räknats in, och inte effektaavgiften.

5.3 Vatten

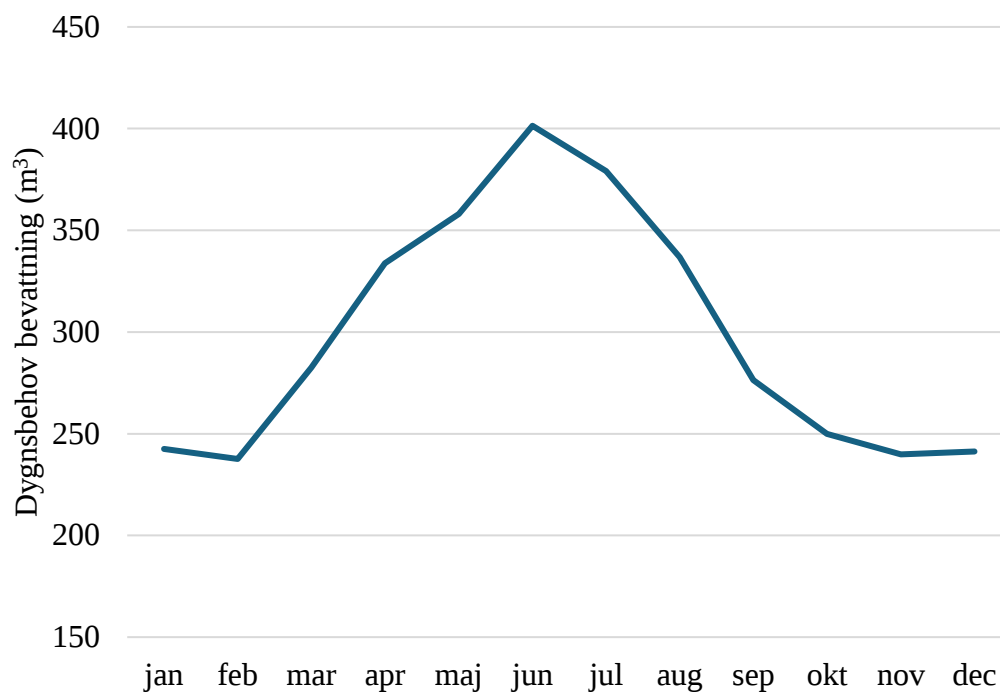
Regnvatten och rökgaskondensat används för bevattning, enligt kapitel 3.4. Kostnaden för att leda regnvatten från växthuset till reservoaren antas försumbar. Renat rökgaskondensat leds idag ut till en brunn som sedan går vidare till Kävlingeån, istället kan det likt regnvattnet ledas till reservoaren. Avståndet från rökgaskondenseringens utlopp till reservoaren uppskattas vara 650 m. Kostnaden för att gräva och lägga vattenrör ligger på 6 000 kr/m [13]. Detta ger en totalkostnad på 3,9 M.kr.

5.3.1 Vattenanvändning

Årsvariationen av mängden vatten som beräknas behövas per dygn visas för odling av tomat i Figur 5.23, och för odling av gurka i Figur 5.24. Vid odlingssäsong ligger behovet för tomatodling mellan 182,19 m³/dygn och 307,80 m³/dygn, och vid gurkanodling mellan 237,60 m³/dygn och 401,41 m³/dygn.

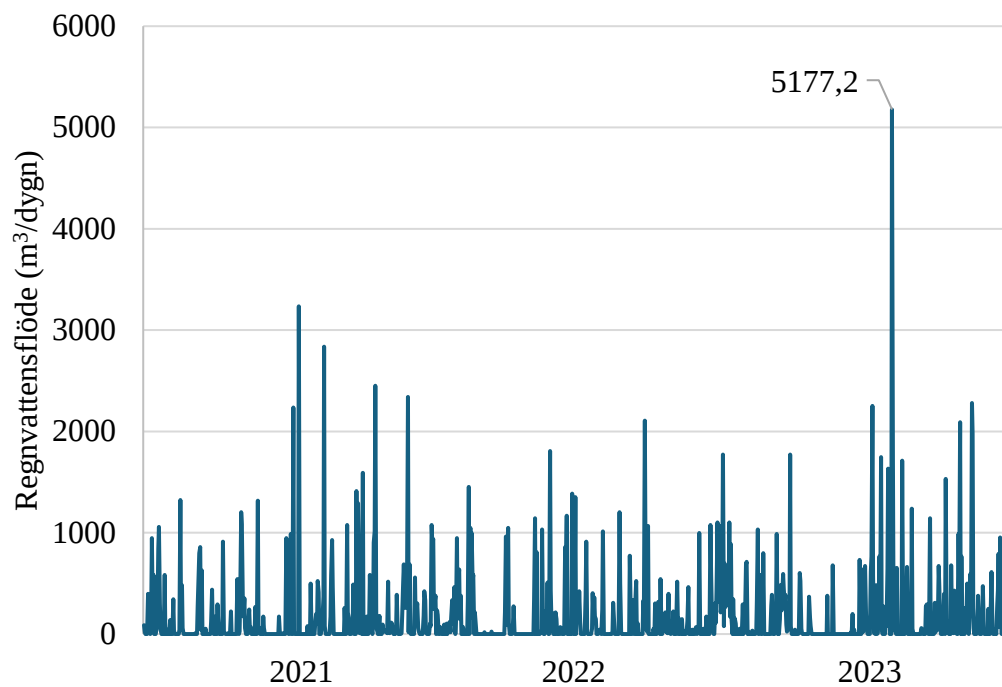


Figur 5.23: Bevattningsbehov per dygn under ett år vid tomatodling

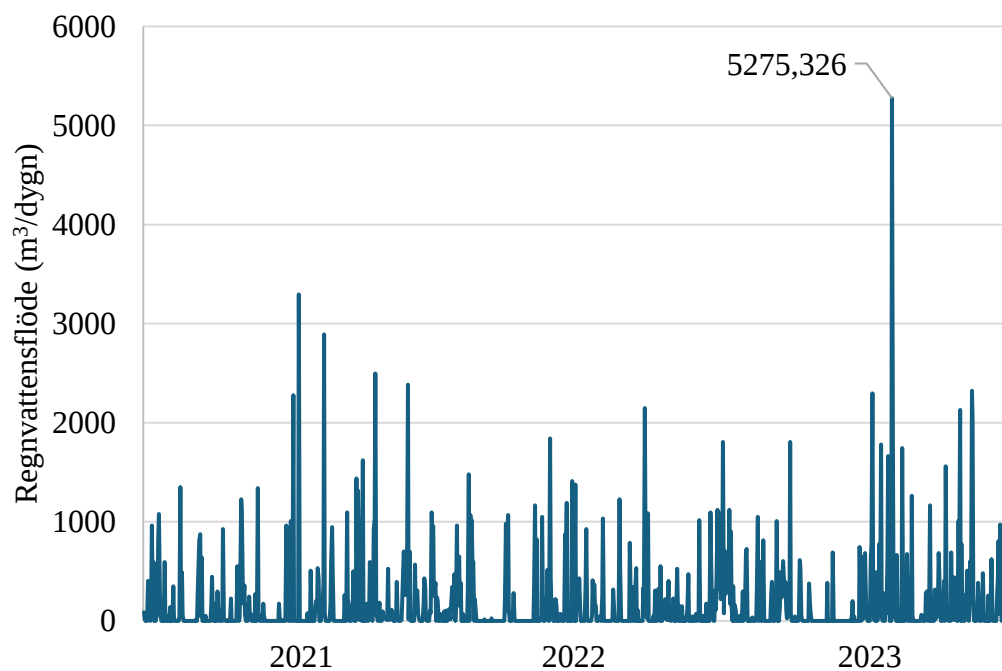


Figur 5.24: Bevattningsbehov per dygn under ett år vid gurkanläggning

Mängden regnvatten som beräknas falla på växthuset och reservoaren under 2021 till 2023 redovisas för tomatodling i Figur 5.25, och för gurkanläggning i Figur 5.26. Då växthuset har en yta på 81 000 m² motsvarar 1 mm regn på takets yta 81 m³ vatten. Då reservoaren har en större yta i fallet med gurkanläggning är även mängden regn som faller på denna större. I fallet med tomatodling faller det i snitt 179,26 m³/dygn och i fallet med gurkanläggning i snitt 182,65 m³/dygn.

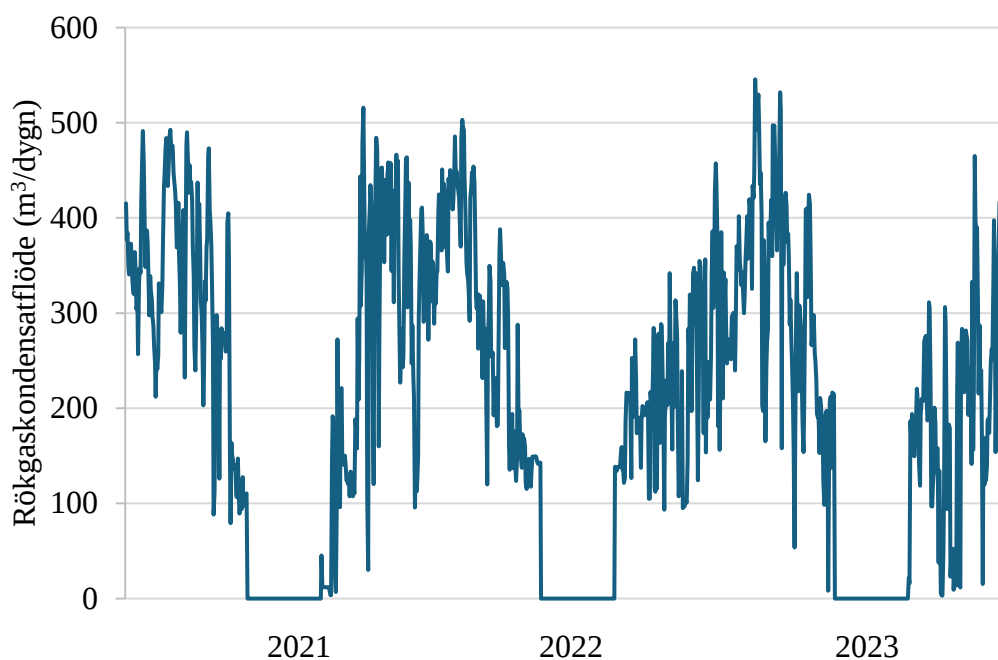


Figur 5.25: Mängden regnvatten som beräknas falla på växthuset och reservoaren vid tomatodling, under 2021–2023



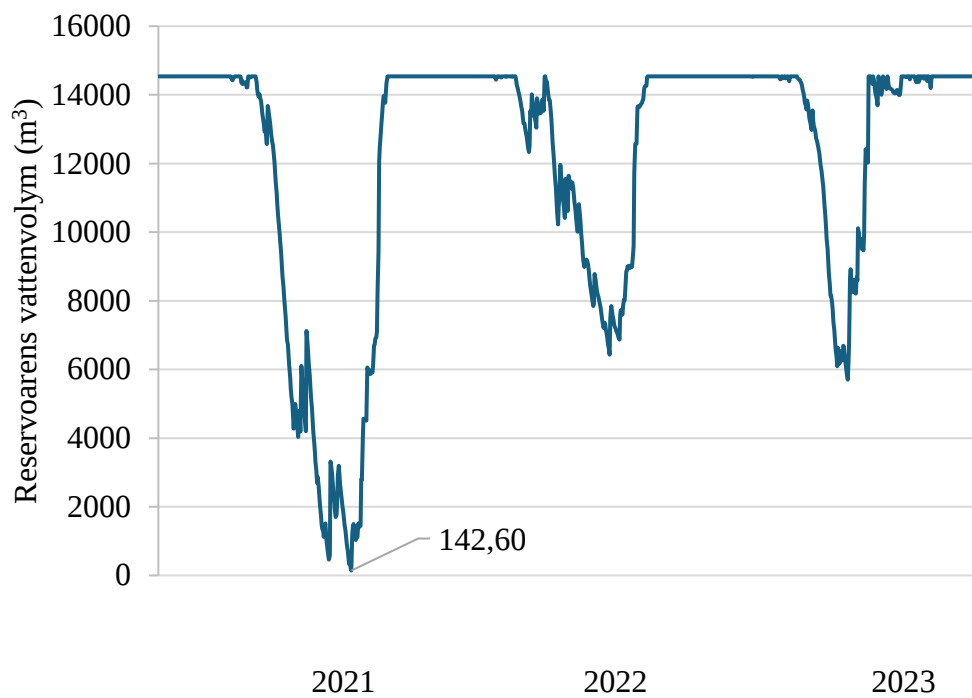
Figur 5.26: Mängden regnvatten som beräknas falla på växthuset och reservoaren vid gurkodling, under 2021–2023

Flödet av rökgaskondensat från Örtoftaverket är samma i båda fall, och flödet per dygn under 2021 till 2023 visas i Figur 5.27. Snittflödet för den undersökta perioden är 202,37 m³/dygn.

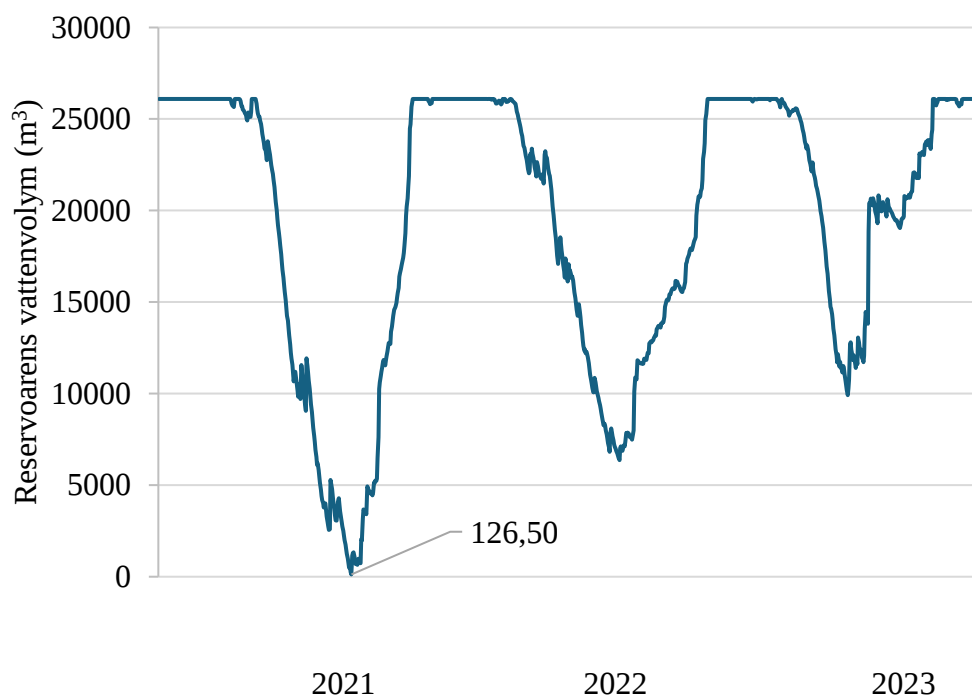


Figur 5.27: Flödet av rökgaskondensat från Örtoftaverket under 2021–2023

Vattenreservoarens simulerade volym redovisas för tomatodling i Figur 5.28, och för gurkodling i Figur 5.29.



Figur 5.28: Reservoarens vattenvolym vid tomatodling under 2021–2023



Figur 5.29: Reservoarens vattenvolym vid gurkodling under 2021–2023

5.3.2 Resultat av vattenprover

Resultatet av de vattenprover som tagits på rök-gaskondensatet visas i Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Resultat av vattenprover

Parameter	Enhet	Gräns vid bevattning	IUF	IRO	P1
Al	$\mu\text{g/L}$	100	5	5	5
As	$\mu\text{g/L}$	5	0,25	0,25	0,25
Ba	$\mu\text{g/L}$	700	0,5	0,97	0,5
Ca	mg/L	100	0,1	0,1	0,1
Cd	$\mu\text{g/L}$	0,5	0,025	0,025	0,025
Co	$\mu\text{g/L}$	Saknas	0,1	0,1	0,1
Cr	$\mu\text{g/L}$	0,5	0,45	0,45	0,45
Cu	$\mu\text{g/L}$	100	3,8	0,5	0,5
Fe	mg/L	0,3	0,0256	0,005	0,005
Hg	$\mu\text{g/L}$	Saknas	1,62	0,50555	0,150567
K	mg/L	Saknas	0,2	0,2	0,2
Mg	mg/L	100	0,1	0,1	0,1
Mn	$\mu\text{g/L}$	100	1,81	1,215	0,45
Mo	$\mu\text{g/L}$	50	0,25	0,25	0,25
Na	mg/L	30	110	89,05	38,96667
Ni	$\mu\text{g/L}$	20	10,5	0,3	0,3
Pb	$\mu\text{g/L}$	5	0,694	0,25	0,25
V	$\mu\text{g/L}$	100	0,1	0,1	0,1
Zn	$\mu\text{g/L}$	100	10,7	2	2
B	$\mu\text{g/L}$	200		646	674
Sb	$\mu\text{g/L}$	10		0,05	0,05
Se	$\mu\text{g/L}$	20		1,5	1,5
U	$\mu\text{g/L}$	30		0,069	0,023267
Odlingsbara mikroorganismer (22 °C)	CFU/mL			2 050	1 370
Långsamväxande bakterier (22 °C)	CFU/mL			2 400	2 366,667
Koliforma bakterier (37 °C)	CFU/100 ml			2,75	1,5
Escherichia coli (37 °C)	CFU/100 ml			0,5	0,5

Aktinomyceter	CFU/100 ml	0,5
Intestinala enterokocker	CFU/100 ml	0,5
Clostridium perfringens, presumtiva	CFU/100 ml	0,5
Mikrosvamp	CFU/100 ml	82,33333

Från detta resultat har tre potentiellt problematiska ämnen identifierats: kvicksilver, natrium, och bor. Halterna av bor och natrium är så pass höga vid RO1 och P1, att de riskerar att anrikas till skadliga mängder vid bevattning [151]. Det har inte testats för bor vid IUF, men det antas att halten är minst lika hög som vid RO1 och P1. Det finns få studier på kvicksilver i bevattningsvatten, men ämnet ackumuleras i växter och kan ha skadliga effekter på människor, enligt *Naturvårdsverket* [152]. Det finns ingen generell gräns i Sverige för kvicksilver i bevattningsvatten, men *Livsmedelsverkets* riktvärde för dricksvatten är 1 µg/L [153], vilket antas vara en rimlig gräns även vid bevattning. Vid IUF överstigs denna, medan vattnet vid RO1 och P1 har ett värde under gränsvärdet.

De flesta parametrar ligger dock långt under de antagna gränserna, därmed utesluts inte möjligheten att bevattna med rökgaskondensatet. För att minska mängden natrium, kvicksilver, och bor kan vattnet antingen spädas eller renas. Regnvatten har generellt låga halter av dessa ämnen [154, 155], och späds rökgaskondensatet vid P1 eller RO1 ut med en till två gånger så mycket regnvatten kan acceptabla nivåer nås. För den undersökta perioden är tillgången på regnvatten så pass hög att det räcker till att späda ut dessa flöden, men inte flödet vid IUF. Det har även tagits ett vattenprov på Örtoftaverkets spädvatten, alltså det rökgaskondensat som gått igenom alla reningssteg beskrivna i kapitel 2.2.1. Detta prov har visat på relativt låga nivåer av natrium (3,10 mg/L), kvicksilver (0,0662 µg/L), och bor (228 µg/L), och spädvattnet hade därmed också kunnat användas för att späda ut bevattningsvattnet. Dock är flödet av spädvatten inte tillräckligt stort för att helt ersätta regnvatten [10], utan en kombination av både späd- och regnvatten är i så fall nödvändig. Ifall det istället för att späda ut bevattningsvattnet investeras i ytterligare rening, är RO-filtrering en passande teknik för att ta bort både natrium och kvicksilver. Bor kan vara mer komplicerat, då det i vatten ofta bildar borsyra, som har en relativt liten molekylär volym. Detta innebär att de flesta RO-membran inte effektivt avlägsnar bor från vatten, då de är gjorda för större molekyler. Att rena vatten från bor kan därmed kräva specialiserade RO-filter [156].

Resultatet indikerar även en betydande mängd bakterier och organismer vid RO1 samt P1, och det antas att liknande halter finns vid IUF. Detta behöver inte vara skadligt i sig, men för att förhindra att växterna förorenas av farliga bakterier eller svamp bör bevattningsvattnet desinficeras innan det används till bevattning, exempelvis genom UV-filtrering.

5.3.3 Från reservoar till mixtank

Vatten i reservoaren leds till en mixtank inne i växthuset, men innan det når tanken behöver det som nämnt renas. Ett UV-desinfektionssystem antas installeras, vilket måste klara av att rena olika mängder vatten beroende på gröda. Maximalt vattenbehov för ett dygn vid tomatodling uppskattas till $307,80 \text{ m}^3$, och med 25 % överbevattning blir det $384,75 \text{ m}^3$. Det antas att 13 bevattningscykler om 4 minuter genomförs under ett dygn, och det behövs då maximalt $29,60 \text{ m}^3$ per cykel. Förutsatt att alla 13 bevattningscykler sker under en period om 8 timmar, innebär det ungefär 36 minuter mellan cyklerna (40 minuter per cykel varav bevattning sker under 4 minuter). Därav dimensioneras pumpar och desinficeringsystem för att klara mängden vatten från en bevattningscykel på en halvtimme. Vid odling av tomat krävs alltså minst en pump- och desinficeringskapacitet på $59,20 \text{ m}^3/\text{h}$.

Det finns ett desinficeringsystem som kan rena upp till $8,1 \text{ m}^3/\text{h}$ per system. Därmed krävs 8 sådana system, motsvarande en total kapacitet på $64,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Dessa kostar 12 428,05 kr per system, drar 165 W var och innehåller 3 UV-lysrör [157]. Investeringskostnaden blir därmed 99 424,40 kr, och den totala maxeffekten 1 320 W. Lysrören håller i regel 1,5 år vilket gör att nya måste köpas in med jämna mellanrum. Priset för ett lysrör ligger på 1 393,87 kr [158], med totalt 24 lysrör ger det en årlig kostnad på 22 301,92 kr.

Maximala dygnsbehovet av vatten vid gurkodling uppskattas till $401,41 \text{ m}^3$, vilket med 25 % överbevattning blir $501,76 \text{ m}^3$. Det antas att samma antal och längd på bevattningscykler genomförs som vid tomatodling, och det beräknas då att maximalt $38,60 \text{ m}^3$ behövs under en bevattningscykel. Ska denna mängd vatten renas på en halvtimme behövs en kapacitet på $77,20 \text{ m}^3/\text{h}$. Därmed behövs 10 reningssystem, motsvarande en kapacitet på $81 \text{ m}^3/\text{h}$. Detta ger en investeringskostnad på 124 280,5 kr och en total maxeffekt på 1 650 W. Antalet lysrör uppgår till 30, vilket ger en årlig kostnad på 27 877,4 kr.

Mixtanken finns placerad längst in i mittengången och kostar 344 400 kr [98]. Avståndet mellan denna och reservoaren antas vara 240 m och för att länka dem samman antas rör användas. Aluminiumrör finns tillgängliga för 180,83 kr/m [159], vilket ger en investeringskostnad på 43 400 kr. Temperaturen av detta vatten antas som lägst vara 5°C , $\rho_{\text{flöde}}$ är då $999,9 \text{ kg/m}^3$ och μ är $1,5182 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Maximalt flöde vid odling av tomat beräknas som nämnt till $59,20 \text{ m}^3/\text{h}$, röret antas ha en diameter på 0,15 m. ΔP beräknas till 13,07 kPa, vilket motsvarar 1,33 mVp. Att pumpa vattnet från botten av reservoaren till toppen av mixtanken innebär en höjökning på 8,1 m, den totala dynamiska tryckhöjden är således 9,43 mVp.

Vid gurkodling antas samma rörlängd från reservoar till mixtank, men det maximala flödet beräknas som nämnt istället till $77,20 \text{ m}^3/\text{h}$. ΔP beräknas till 21,23 kPa, vilket motsvarar 2,16 mVp. Då reservoaren är något djupare i fallet med gurkodling krävs istället en höjökning på 10 m, vilket ger en total dynamisk tryckhöjd på 12,16 mVp.

Det finns en pump som klarar att pumpa 59,20 m³/h till en höjd över 9,43 m, vilket gör att den kan användas vid tomatodling. Den har ett pris på 62 180 kr [160]. I fallet med gurkodling behövs dock en pump med högre kapacitet. En annan pump finns tillgänglig som ska klara att pumpa 77,20 m³/h till en höjd över 12,16 m, därmed funkar den. Priset för pumpen ligger istället på 88 240 kr [161].

5.3.4 Bevattning

I mixtanken tillsätts gödning till vattnet, för att leverera näring till plantorna. *Nouryon* har tillsammans med flera företag och forskare tagit fram rekommenderade näringsmängder till hydroponiska grödor, dessa har använts vid beräkning av gödningskostnader [162]. Priser på gödningsmedel har hämtats genom personlig kontakt med Mats Johansson på *SW Horto* [45], och redovisas i Tabell 5.3.

Tabell 5.3: Inköspriser för gödningssalter

Ämne	Kostnad (kr/kg)
Kalksalpeter	7,0
Kalialpeter	13
Magnesiumsulfat	5,5
Mikronäring	110
Monokaliumsulfat	22

Den färdigblandade näringslösningen pumpas sedan ut till alla plantor. Den antas ha en temperatur på 20 °C, $\rho_{flöde}$ är då 998,2 kg/m³ och μ är 1,0016 mPa·s. Rörsystemet för att leverera näringslösning till plantorna antas vara uppbyggt på ett sätt som liknar värmerörsystemet. Alltså att ett stort centralt rör leds ut i fyra medelstora rör, som sedan leds ut i mindre rör till varje rad. Det antas även här att strypventiler används för att säkerställa att flödet fördelas lika över de mindre rören. Det stora rörets diameter dimensioneras till 0,30 m, det medelstora rörens diameter till 0,20 m, och de mindre rörens diameter till 0,05 m. Längden av det stora röret är 210 m, längden av de medelstora rören är 175 m, och längden av de mindre rören är 109,75 m. Enligt kapitel 5.3.3 behövs maximalt 29,60 m³ vatten för en bevattningscykel vid tomatodling, och då en bevattningscykel är 4 minuter lång, är maximala flödet 443,94 m³/h. ΔP beräknas till 14,90 kPa över det stora röret, 6,91 kPa över de mellanstora rören, och 1,18 kPa över de mindre rören. ΔP är sammanlagt 22,99 kPa, vilket motsvarar 2,35 mVp. Det antas att bevattningsvattnet behöver pumpas upp till en höjd av 1 m, och den totala dynamiska tryckhöjden blir således 3,35 mVp. Det finns en pump som ska klara att pumpa 221,97 m³/h till en höjd högre än 3,35 m, alltså halva bevattningsbehovet. Det bör alltså gå att använda två

sådana pumpar parallellkopplade, dessa kostar 76 460 kr var och har en kombinerad maximal effektanvändning på 8,21 kW [163].

Vid gurkodling är det maximala bevattningsflödet istället 578,95 m³/h, och samma antal bevattningstillfällen antas. Även samma rördimensioner antas. ΔP blir 24,58 kPa över det stora röret, 11,36 kPa över de medelstora rören, och 1,87 kPa över de mindre rören. Sammanlagt blir det 37,76 kPa, vilket motsvarar 3,86 mVp. Den totala dynamiska tryckhöjden blir således 4,86 mVp. Samma pump går att använda vid gurkodling som vid tomatodling, men det behövs istället tre till antalet. Parallellkopplas dessa tre pumpar har de tillsammans en maximal effektanvändning på 12,32 kW [164].

5.3.5 Recirkulering av vatten

Det vatten som inte tas upp av plantorna recirkuleras. Det antas ha samma temperatur som bevattningsvattnet, $\rho_{flöde}$ är då 998,2 kg/m³ och μ är 1,0016 mPa·s. Vid tomatodling beräknas enligt kapitel 5.3.3 maximalt 29,60 m³ behöva pumpas under perioden för en bevattningscykel om 4 minuter. Överbevattningen på 25 % motsvarar 5,92 m³, och det antas att det är den mängd som behöver recirkuleras. Lagringstankar dimensioneras därför för att klara denna volym. Lagringstankar om 5 m³ finns att köpa, och det behövs två sådana tankar som totalt kostar 67 740 kr [165]. Det vatten som recirkuleras efter bevattning antas låtas flöda fram till botten av lagringstankarna med hjälp av höjdskillnaden. Tankarna har en höjd på 2 m vilket innebär att recirkuleringsvattnet behöver pumpas upp till denna höjd. Då pumpsträckan är kort, antas tryckförluster till följd av friktion vara försumbara, därmed behöver endast den statiska höjden övervinnas. Vattnet ska recirkuleras på 30 minuter, och om två pumpar används, beräknas dem behöva en pumpkapacitet på 5,92 m³/h vardera till en höjd över 2 m. En pump finns tillgänglig som klarar att pumpa detta volymflöde till specificerad höjd. Dessa har ett styckpris på 11 150 kr, motsvarande totalt 22 300 kr, och har en maximal effektanvändning på 170,3 W per pump [166].

Detta vatten ska sedan pumpas vidare till desinficeringsystem, även här en kort sträcka där tryckförluster försummas. Pumparna ska tillsammans klara 11,84 m³/h. Mixtanken är 4 m hög och om det antas att utloppet från lagringstankarna är i dess botten, blir detta också den statiska höjdskillnaden som behöver övervinnas. Det finns en pump som klarar av att pumpa 5,92 m³/h till en höjd högre än 4 m. Två sådana krävs och kostar 18 670 kr var, vilket ger en total kostnad på 37 340 kr. I detta fall drar dem maximalt 112,6 W var, motsvarande 225,2 W totalt [167]. Desinficeringen sker med samma typ av UV-desinficeringsystem som det mellan reservoaren och mixtanken, Ocena UV 150. För att vara på den säkra sidan så installeras 3 system, vilket ger en maxkapacitet på 24,3 m³/h och en totalkostnad på 37 284,15 kr. Med totalt 9 lysrör så ger det en årlig kostnad på 8 363,22 kr. Systemen sitter parallellt med varandra och drar maximalt 165 W var, motsvarande totalt 495 W.

Vid gurkodling beräknas det istället att maximalt $38,60 \text{ m}^3$ pumpas under en bevattningscykel, och med en överbevattning på 25 % behöver $7,72 \text{ m}^3$ recirkuleras per halvtimme, motsvarande $15,44 \text{ m}^3/\text{h}$. Används två pumpar krävs en pumpkapacitet på $7,72 \text{ m}^3/\text{h}$ vardera, till en höjd på 2 m. Samma pump fungerar till gurkodling som till tomatodling, med samma maximala effektanvändning [168]. Två pumpar används även för att tillsammans pumpa $15,44 \text{ m}^3/\text{h}$ från lagringstanken till mixtanken, där motsvarande pump som används vid tomatodling även fungerar vid gurkodling. På grund av högre flöde har pumparna istället en maximal effektanvändning på $156,5 \text{ W}$ vardera, motsvarande totalt 313 W [169]. Samma lagringstankar och desinficeringsystem som fungerar vid tomatodling kan användas, då kapaciteten är tillräcklig.

5.3.6 Vattenöverskott

Något som är noterbart i Figur 5.28 och Figur 5.29 är att reservoaren vid vissa tidpunkter kommer att vara full. Samtidigt kan vattentillförseln vara större än behovet i växthuset. Då måste överskottsvattnet rimligtvis ledas någonstans. Det antas att det leds ut till Kävlingeån, via samma damm som rökgaskondensatet leds till idag, och därmed utnyttjas den befintliga rördragningen mellan damm och å.

Reservoarerna kommer i dem olika fallen inte ha samma avstånd till dammen. Tanken är att vattnet ska pumpas från botten av reservoaren. Kortast möjliga sträcka från reservoarens botten till dammen vid odling av tomat beräknas till ungefär 250 m. Detta ger en total kostnad för rörläggningen på 1,5 M.kr där någon sorts styrventil för att reglera flödet antas ingå i kostnaden. Genom att placera detta utlopp i reservoarens botten, erhålls en naturlig cirkulation av flödet likt den mellan reservoar och mixtank. Detta, i kombination med det varma rökgaskondensatet, gör att vattenytan i reservoaren kan undvika att frysa vid lägre utomhustemperaturer. Till utloppet behövs en pump och i fallet med tomatodling behöver en statisk höjd på 4,1 m (reservoarens djup) övervinnas, samt tryckförlusterna på grund av friktion inne i röret. Röret antas ha en diameter på 0,3 m. För den undersökta perioden beräknas det att maximalt $5\,121,37 \text{ m}^3$ behöver pumpas bort under ett dygn, vilket i genomsnitt innebär $213,39 \text{ m}^3/\text{h}$. Men detta är just ett snitt, därför behövs en pump med något större kapacitet. Därmed dimensioneras den för ett flöde på $400 \text{ m}^3/\text{h}$. ΔP beräknas till $15,46 \text{ kPa}$ vilket motsvarar $1,58 \text{ mVp}$. Detta ger en total dynamisk tryckhöjd på $5,68 \text{ mVp}$. Det finns en pump enligt Grundfos som har en kapacitet på $400 \text{ m}^3/\text{h}$ till en höjd högre än $5,68 \text{ m}$. Den har i detta fall en maximal effektanvändning på $8,08 \text{ kW}$ och kostar 185 660 kr [170].

Vid odling av gurka så är motsvarande kortaste möjliga avståndet istället 235 m vilket ger en investeringskostnad på 1,41 M.kr. Maximala flödet som behöver pumpas bort vid gurkodling beräknas vara $5\,036,89 \text{ m}^3$ under ett dygn. Det innebär ett genomsnitt på $209,87 \text{ m}^3/\text{h}$ och med samma tankesätt som vid tomatodling så dimensioneras pumpen efter $400 \text{ m}^3/\text{h}$. Den statiska höjden som behöver övervinnas är istället 6 m, då reservoaren är något djupare. Samma

vattentemperatur och rördiameter antas som vid tomatodling. Friktionsfaktorn och tillhörande värden blir således samma vid både gurk- och tomatodling, men tryckförlusten blir istället 14,53 kPa, motsvarande 1,48 mVp. Den totala dynamiska tryckhöjden blir således 7,48 mVp, och samma pump funkar vid gurkodling som vid tomatodling. I detta fall blir den maximala pumpeffekten istället 10,36 kW [171].

De olika flödena, pumpbehoven, motsvarande pumpar samt dess kostnader redovisas i Tabell 5.4.

Tabell 5.4: Pumpbehov och motsvarande pumpar

Område	Gröda	Totalt flöde (m ³ /h)	Dynamisk tryckhöjd (m)	Pumpkostnad (kr)	Maximal pumpeffekt (kW)
Rökgas- kondensat	Tomat	400	5,68	185 660	8,08
Rökgas- kondensat	Gurka	400	7,48	185 660	10,36
Till mixtank	Tomat	59,20	9,43	62 180	3,27
Till mixtank	Gurka	77,20	12,16	88 240	3,63
Till bevattning	Tomat	443,94	3,35	76 460 (x2)	4,10 (x2)
Till bevattning	Gurka	578,95	4,86	76 460 (x3)	4,10 (x3)
Till lagringstank	Tomat	11,84	2	11 150 (x2)	0,17 (x2)
Till lagringstank	Gurka	15,44	2	11 150 (x2)	0,17 (x2)
Till desinficering	Tomat	11,84	4	18 760 (x2)	0,11 (x2)
Till desinficering	Gurka	15,44	4	18 760 (x2)	0,16 (x2)

5.3.7 Sekundär vattenkälla

Även om reservoaren är dimensionerad för att klara av relativt torra somrar kan en sekundärkälla behövas. Vattnet i Kävlingeån hade kunnat användas, men rörläggningen och att därefter pumpa upp vattnet hade kostat stora summor jämfört med andra alternativ. Rördragningen som krävs på minst 1,7 km motsvarar 10,2 M.kr med ett meterpris på 6 000 kr likt rördragningen mellan fjärrvärmereturen och värmeväxlaren. Att exempelvis köpa in vatten i större mängder kan vara mer ekonomiskt lönsamt, och kostar istället ungefär 40 kr/m³, exklusive leverans [172].

5.4 Försäljning och administration

Likt många andra växthusodlare i Sverige, antas det att försäljning sker med producentorganisationer, och att de tar en försäljningskostnad på 3 % [5] av de totala intäkterna. Det motsvarar mellan 1,98 M.kr och 2,23 M.kr för tomatodling och mellan 2,73 M.kr och 3,25 M.kr för gurkodling.

Transportkostnader står generellt odlare själv för. Många odlarlag i Skåne har centrallager vid Knut Påls väg utanför Helsingborg. Transportsträckan har beräknats från den planerade etableringsplatsen för växthuset till denna plats. Utgivna siffror för transportkostnaden av *Jordbruksverket* [173], justerade för inflation och sträcka, har använts. Denna beräknades till 0,1516 kr/kg, vilket innebär en årlig kostnad på mellan 0,64 M.kr och 0,76 M.kr för tomatodling och mellan 1,05 M.kr och 1,31 M.kr vid odling av gurka.

Emballage med 5,5 kg kapacitet antas användas, dessa kostar 2,91 kr/st [5]. Det ger en årlig kostnad på mellan 2,24 M.kr och 2,65 M.kr för tomatodling och mellan 3,66 M.kr och 4,58 M.kr för gurkodling.

Årliga administrativa kostnader antas ligga på 3,06 M.kr [5].

Kapitel 6

Ekonomiska kalkyler

I detta kapitel redovisas resultatet av den ekonomiska analysen, där ingår investeringsbudgetar, resultatkalkyler, samt känslighetsanalys.

6.1 Investering

De variabler som har inkluderats i beräkningen av investeringskostnaden för växthuset redovisas i Tabell 6.1 och Tabell 6.2, i samband med dess värde räknat pessimistiskt, optimistiskt och i medelfallet. Den förstnämnda tabellen avser ett växthus för tomatodling och den sistnämnde ett växthus för gurkodling.

Tabell 6.1: Investeringskostnader för tomatodling i växthus för tre olika fall

Parameter	Optimistiskt (M.kr)	Medel (M.kr)	Pessimistiskt (M.kr)
Växthusstomme och täckning	92,70	133,88	175,05
Belysning	0,13	0,13	0,13
Koppling värme	2,8	2,8	2,8
Koppling vatten (Rökgaskondensat)	3,9	3,9	3,9
Elanslutning	0,95	0,95	0,95
Transformator	1,3	1,3	1,3
Mark	7	23,5	40
Markarbete (platta till mark)	0,567	0,567	0,567
Grund/betong	9,57	10,49	11,40
Ultramat	0,84	0,84	0,84
Parkering	1,55	1,67	1,78
Hydroponiskt system	2,18	3,70	5,21

Uppvärmningssystem	9,18	12,05	14,91
Desinficering	0,14	0,14	0,14
Bygglov	0,42	0,42	0,42
Värmeväxlare	1,92	1,92	1,92
Reservoar	2,08	2,08	2,08
Sorteringsmaskin	0,38	0,38	0,38
Vajer (V-cordon)	0,38	0,38	0,38
Vagnar	1,22	1,22	1,22
Geoteknisk markundersökning	0,025	0,0255	0,026
Personalyta	2,99	2,99	2,99
CO ₂ -tank	0,83	0,83	0,83
Styrsystem och mätare	1,71	2,24	2,77
Mixtank	0,34	0,34	0,34
Pumpar värme	0,848	0,848	0,848
Pumpar bevattning	0,27	0,27	0,27
Pump överskottsvatten	0,19	0,19	0,19
Energiväv	0,42	0,44	0,47
Rördragning från reservoar till dammen	1,50	1,50	1,50
Rördragning från reservoar till bevattningen	0,0434	0,0434	0,0434
Fläktar	0,59	0,63	0,68
Teknikhus	3,75	4,58	5,40
Lagringstankar (för recirkulering)	0,06774	0,06774	0,06774
Truckar	0,28	0,28	0,28
Totalt	153,09	217,60	282,12

Tabell 6.2: Investeringskostnader för gurkodling i växthus för tre olika fall

Parameter	Optimistiskt (M.kr)	Medel (M.kr)	Pessimistiskt (M.kr)
Växthusstomme och täckning	92,70	133,88	175,05
Belysning	70,13	105,25	140,13
Koppling värme	2,80	2,80	2,80
Koppling vatten (rökgaskondensat)	2,40	2,40	2,40
Elanslutning	5,60	5,60	5,60

Elutrustning	4,30	4,30	4,30
Mark	7,0	23,50	40,0
Markarbete	0,567	0,567	0,567
Grund/betong	9,57	10,49	11,40
Ultramat	0,84	0,84	0,84
Parkering	1,55	1,67	1,78
Hydroponiskt system	2,59	4,38	6,18
Uppvärmningssystem	9,18	12,05	14,91
Desinficering	0,16	0,16	0,16
Bygglov	0,42	0,42	0,42
Värmeväxlare	1,92	1,92	1,92
Reservoar	3,64	3,64	3,64
Sorteringsmaskin	0,60	0,60	0,60
Vajer (V-cordon)	0,45	0,45	0,45
Vagnar	1,22	1,22	1,22
Geoteknisk markundersökning	0,025	0,0255	0,026
Personalyta	2,51	2,51	2,51
CO ₂ -tank	0,83	0,83	0,83
Styrsystem och mätare	1,71	2,24	2,77
Mixtank	0,34	0,34	0,34
Pumpar värme	0,848	0,848	0,848
Pumpar bevattning	0,38	0,38	0,38
Pump överskottsvatten	0,19	0,19	0,19
Energiväv	0,42	0,44	0,47
Rördragning från reservoar till dammen	1,41	1,41	1,41
Rördragning från reservoar till bevattning	0,0434	0,0434	0,0434
Fläktar	0,59	0,63	0,68
Teknikhus	3,75	4,58	5,40
Lagringstankar (för recirkulering)	0,06774	0,06774	0,06774
Truckar	0,28	0,28	0,28
Filmningsmaskin	1,6272	1,6272	1,6272
Totalt	232,90	332,82	432,49

6.2 Resultatkalkyl

De intäkter och kostnader som har inkluderats i resultatkalkylen för växthuset vid odling av både tomat och gurka redovisas i Tabell 6.3 och Tabell 6.5, i samband med dess värde räknat optimistiskt, pessimistiskt, och i medelfallet. Motsvarande resultatkalkyler redovisas i Tabell 6.4 och Tabell 6.6. Det bör noteras att vissa kostnader i resultatkalkylen kan vara högre för det optimistiska fallet än för det pessimistiska fallet. Detta beror bland annat på att vissa av kostnaderna är direkt kopplade till den producerade vikten, som i det optimistiska fallet är högre än i det pessimistiska fallet.

Tabell 6.3: Sammanställning av intäkter och kostnader vid tomatodling

Variabler	Enhet	Optimistiskt	Medel	Pessimistiskt
Producerad vikt	kg/m ²	65	60	55
Försäljningspris	kr/kg	15,60	15,60	15,60
Vårpris värme	kr/MWh	548	548	548
Sommarpris värme	kr/MWh	355	355	355
Höstpris värme	kr/MWh	548	548	548
Vinterpris värme	kr/MWh	738	738	738
Plantor	kr/st	22	26,5	31
Mattor	kr/st	37,5	37,5	37,5
Tomahooks	kr/st	4,26	4,26	4,26
Gödsel	kr/kg	0,448	0,448	0,448
Lönekostnad för arbetsgivare	kr/h	214,68	214,68	214,68
CO ₂	kr/kg	2,1	2,1	2,1
Humlor	kr/bo	500	737,5	975
El	kr/kWh	0,7	1	1,3
Försäljningskostnad	%	3	3	3
Emballage 5,5 kg	kr/st	2,91	2,91	2,91
Transport	kr/kg	0,1516	0,1516	0,1516
Ränta driftskapital	%	6	6	6
Lysrör	kr/st	1393,87	1393,87	1393,87
Administrativa samkostnader	kr/m ²	39,744	39,744	39,744
Underhåll växthus	kr/m ²	13,248	13,248	13,248

Tabell 6.4: Resultatkalkyl vid tomatodling

	Optimistiskt (M.kr)	Medel (M.kr)	Pessimistiskt (M.kr)
Intäkt	74,40	70,40	66,08
Värme	13,13	13,13	13,13
Plantor	2,49	3,00	3,51
Mattor och tomahooks	2,38	2,38	2,38
Gödsel	2,24	2,07	1,90
Löner	15,15	14,70	14,24
CO ₂	3,23	6,47	9,70
Humlor	0,23	0,340	0,450
El	1,12	1,60	2,08
Försäljningskostnad	2,23	2,11	1,98
Emballage 5,5 kg	2,65	2,45	2,24
Transport	0,76	0,70	0,64
Ränta driftskapital	0,69	0,75	0,81
Lysrör (desinficering)	0,031	0,031	0,031
Summa särkostnader	46,35	49,73	53,10
Täckningsbidrag	27,98	20,59	12,97
Administrativa samkostnader	3,06	3,06	3,06
Underhåll växthus	1,07	1,07	1,07
Avskrivning 20 år	5,12	7,32	9,52
Avskrivning 10 år	0,47	0,59	0,74
Summa samkostnader	9,72	12,04	14,40
Totalt	18,26	8,55	-1,42

Tabell 6.5: Sammanställning av intäkter och kostnader vid gurkodling

Variabel	Enhet	Optimistiskt	Medel	Pessimistiskt
Producerad vikt	kg/m ²	108	96,5	85
Försäljningspris	kr/kg	13,16	13,16	13,16
Vårpris värme	kr/MWh	548	548	548

Sommarpris värme	kr/MWh	355	355	355
Höstpris värme	kr/MWh	548	548	548
Vinterpris värme	kr/MWh	738	738	738
Plantor	kr/st	22	28,5	35
Mattor	kr/st	37,5	37,5	37,5
Tomahooks	kr/st	4,26	4,26	4,26
Gödsel	kr/kg	0,2898	0,2898	0,2898
Lönekostnad för arbetsgivare	kr/h	214,68	214,68	214,68
CO ₂	kr/kg	2,1	2,1	2,1
Humlor	kr/bo	500	737,5	975
El	kr/kWh	1,3	1	0,7
Försäljningskostnad	%	3	3	3
Emballage 5,5 kg	kr/st	2,91	2,91	2,91
Transport	kr/kg	0,1516	0,1516	0,1516
Ränta driftskapital	%	6	6	6
Lysrör	kr/st	1393,87	1393,87	1393,87
Filmning	kr/kg	0,596	0,596	0,596
Administrativa samkostnader	kr/m ²	39,744	39,744	39,744
Underhåll växthus	kr/m ²	13,248	13,248	13,248

Tabell 6.6: Resultatkalkyl vid gurkodling

	Optimistiskt (M.kr)	Medel (M.kr)	Pessimistiskt (M.kr)
Intäkt	113,67	102,26	90,84
Värme	16,43	16,43	16,43
Plantor	7,39	9,57	11,75
Mattor och tomahooks	3,11	3,11	3,11
Gödsel	2,51	2,25	2,00
Löner	8,92	8,73	8,53
CO ₂	3,23	6,47	9,70
Humlor	0,26	0,39	0,51
Växtbelysning	11,20	16,01	20,81
El	1,36	1,95	2,53
Försäljningskostnad	3,25	3,04	2,73

Emballage 5,5 kg	4,58	4,12	3,66
Transport	1,31	1,18	1,05
Ränta driftskapital	0,90	1,02	1,13
Filmning	5,15	4,64	4,12
Lysrör (desinficering)	0,036	0,036	0,036
Summa särkostnader	69,66	78,92	88,09
Täckningsbidrag	38,81	22,36	2,80
Administrativa samkostnader	3,06	3,06	3,06
Underhåll växthus	1,07	1,07	1,07
Avskrivning 20 år	8,62	12,58	16,53
Avskrivning 10 år	0,48	0,66	0,84
Summa samkostnader	13,24	17,38	21,50
Resultat	25,57	4,99	-18,70

6.3 Återbetalningstid

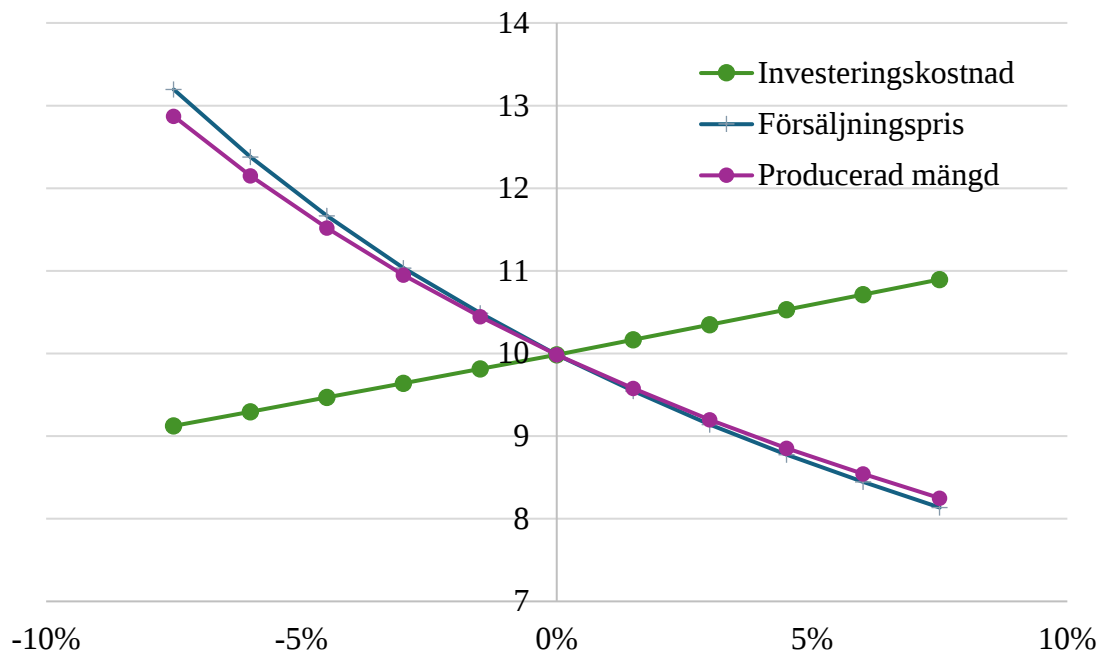
Återbetalningstiden för en investering i ett tomat- eller gurkväxthus redovisas i Tabell 6.7, och har beräknats upp till 50 år för det pessimistiska, optimistiskt, och för medelfallet. Tomatodling ter sig något mer lönsamt.

Tabell 6.7: Återbetalningstid för de olika fallen

Investering	Gröda	Återbetalningstid (år)
Optimistiskt	Tomat	9,98
Medel	Tomat	33,33
Pessimistiskt	Tomat	Ej inom 50 år
Optimistiskt	Gurka	10,38
Medel	Gurka	Ej inom 50 år
Pessimistiskt	Gurka	Ej inom 50 år

6.4 Känslighetsanalys

Resultatet av känslighetsanalysen för fallet med tomatodling är redovisat i Figur 6.1.



Figur 6.1: Återbetalningstidens känslighet beroende på investeringskostnad, försäljningspris, och producerad mängd

Ur känslighetsanalysens resultat kan det konstateras att den mest kritiska av de tre variablerna är försäljningspriset. Minskar försäljningspriset med 7,5 % ökar återbetalningstiden från 9,98 år till 13,19 år. Även den producerade mängden är kritisk för lönsamheten, men påverkar inte lika mycket som försäljningspriset. En procentuell ändring av investeringskostnaden påverkar inte återbetalningstiden lika mycket, där en ökning på 7,5 % höjer återbetalningstiden från 9,98 år till 10,89 år.

Kapitel 7

Diskussion

Denna rapport syftar huvudsakligen till att diskutera ”hårda” värden. Hårda värden klassas här som exempelvis pengar, el, och värme. ”Mjuka” värden kan också tas i beaktning. Till exempel kan det finnas ett värde i att öka Sveriges egenförsörjning i matväg. Med en ökad osäkerhet kring Sveriges säkerhetspolitiska framtid kan vår position styrkas genom att minska vårt beroende av importerade varor, i synnerhet något så väsentligt som mat. Från *Krafttringens* håll kan det också finnas ett värde i att rökgaskondensatet nyttjas istället för att skickas ut i Kävlingeån.

7.1 Ekonomisk analys

Resultaten av de ekonomiska analyserna indikerar att en tomatodling är det mest lönsamma alternativet. Det är dock endast i det optimistiska fallet som en någorlunda rimlig återbetalningstid kan nås, och även här är den hög. Analysen tyder alltså på att det är en ganska riskfylld investering, även i bästa fall. Denna slutsats stöds av att kontakt med odlare har indikerat att det har blivit mindre lönsamt att bedriva växthusodling de senaste åren, då avräkningspriser inte ökat i samma takt som kostnader [19].

Det har inte utförts några sannolikhetsbedömningar för de olika fallen, och det kan vara så att det optimistiska fallet är mer sannolikt än det pessimistiska, eller tvärtom. Då återbetalningstiden för de olika fallen skiljer sig så pass mycket hade det varit intressant att vidare utforska de underliggande faktorer som påverkar skillnaderna och därmed få skapa en bild av vilket fall som är mest troligt. Det hade även varit intressant att kartlägga hur externa faktorer såsom politiska beslut, förändringar i energimarknaden, och klimatförhållanden kan påverka lönsamheten. Detta hade kunnat ge en ökad förståelse för de risker och möjligheter en investering medför.

7.2 Värme

Värmebehovet vid tomat- och gurkodling beräknades till cirka 260 kWh/m² respektive 310 kWh/m² per år. Vid tomatodling ligger behovet relativt nära den genomsnittliga energianvändningen som *Jordbruksverket* redovisade år 2020 för tomatväxthus, medan behovet vid gurkodling är avsevärt högre än motsvarande nivå för gurkväxthus [3]. Detta kan bero på flera orsaker, men en är troligtvis att många svenska gurkväxthus inte använder belysning, vilket leder till en kortare odlingssäsong. Med en kortare odlingssäsong undviks odling under de kalla vintermånaderna vilket ger ett lägre årligt värmebehov. Det bör dock noteras att ifall ett belyst och ett icke belyst växthus har lika lång odlingssäsong, kommer det belysta växthuset ha ett lägre värmebehov, då lampor avger värme. Värmebalansen i ett växthus är generellt sett ett väldigt komplext system, och det är svårt att med säkerhet förutsäga ett växthus energibehov innan det är byggt.

Användandet av energiväv har en väldigt stor påverkan på det årliga värmebehovet. Vid vilken solstrålningsnivå energiväv appliceras har därmed också en avsevärt stor påverkan och bör nog optimeras för att sänka värmebehovet. Även energibesparingen som uppnås när energiväven är pålagd är ytterst viktig. En tioprocentig skillnad av vävens effektivitet resulterar i runt 50 kWh/m² per års skillnad i växthusets värmebehov.

För den undersökta perioden förekommer flera tillfällen där värmebehovet under enstaka timmar är betydligt högre än under närliggande timmar. Upplösningen som används vid beräkning har således en inverkan på hur ofta returflödets tillgängliga effekt är mindre än behovet. Detta påverkar i sin tur hur mycket alternativ uppvärmning som användas. Temperaturen i ett växthus sjunker relativt snabbt om värmebehovet inte förses, några timmar med effektunderskott bör dock klaras av. Skillnaden mellan värmebehovet och den tillgängliga effekten har därmed beräknats med en upplösning på fyra timmar. Med en lägre upplösning, exempelvis 12 timmar, så ser resultatet bättre ut medan det tvärtom ser sämre ut med en högre upplösning, exempelvis en timme.

Ifall alternativ uppvärmning används mer frikostigt under sommaren kan växthuset byggas betydligt större, då det finns ett ganska stort överskott av tillgänglig effekt under vintern som inte kommer till användning. Alternativt hade något sorts termiskt lager kunnat tänkas användas för att lagra värmeenergi då det finns överskott för att användas i perioder med underskott.

7.3 Vatten

Regnvatten i kombination med den mängd vatten som flödar från Örtoftaverkets rökgaskondenseringsprocess verkar, enligt kapitel 5.3, räcka för att användas till bevattning i ett

växthus av den dimensionerade storleken. Värt att notera är att detta vatten troligtvis inte hade räckt för en icke-hydroponisk odling i ett växthus av samma storlek. Under första året som analyserats (2021) rådde det till synes ett extremfall i jämförelse med efterföljande år, detta på grund av bristande vattentillgång.

Vattenproverna som tagits på rökgaskondensatet ger som tidigare nämnt en indikation på vattnets kvalité, men för att säkert värdera denna krävs troligtvis en mer utförlig analys och ett närmare samarbete med *Livsmedelsverket*. Då bevattning till stor del ska ske med regnvatten hade det även varit intressant att ta regnvattensprover.

Resultaten vid både RO1 och P1 är lovande. Vattnet vid P1 är av något bättre kvalité, i synnerhet med tanke på kvicksilver. Tas vatten vid RO1 istället för P1 kan *Krafttringen* minska sin elanvändning då de inte behöver pumpa lika mycket vatten genom RO-filtreringen. Det bör dock tas i beaktning att det redan finns ett system vid P1 för att släppa ut vatten till Kävlingeån, och att ett liknande system hade behövt installeras vid RO1 för att ta vatten därifrån.

7.4 Symbios med Krafttringen

Symbios mellan en växthusodling och Örtoftaverket verkar möjlig, och gynnsam för båda parter.

Som nämnt i kapitel 2.2.9 kan Örtoftaverkets process bli mer effektiv vid en sänkt returtemperatur, till följd av effektivare rökgaskondensering och högre verkningsgrad i ångturbinen. Detta hade inneburit en ekonomisk vinst för *Krafttringen* då de hade kunnat producera och sälja mer elektricitet.

Genom att utnyttja rökgaskondensatet och returvärmen så erhålls även en bra stämpel på företagets varumärke. Detta då verksamheten blir mer klimatsmart samtidigt som lokal matproduktion kan stödjas, något som hade kunnat förbättra företagets hållbarhetsprofil och locka fler kunder.

7.5 Klimatpåverkan

Vatten förutspås av vissa aktörer att periodvis kunna bli en bristvara i framtidens Sverige [174]. Att utnyttja existerande vattenresurser i så stor grad som möjligt blir viktigt under sådana omständigheter. Om det renade rökgaskondensatet från Örtoftaverket kan utnyttjas istället för att skickas till Kävlingeån, kan *Krafttringen* bidra till att lindra effekterna av eventuella torrperioder.

De energislag som används för att värma upp större växthus i Sverige har gått från att domineras av fossila bränslen år 2002, till att i huvudsak bestå av biobränslen, fjärrvärme och el år 2020.

Samtidigt har totala energiförbrukningen för svenska växthus minskat markant under denna period, från 1 265 GWh till 613 GWh. Mängden fossila bränslen vid odling av tomat var försvinnande liten år 2020, medan motsvarande nivå vid odling av gurka var högre. Mindre växthus använder i genomsnitt en högre andel fossila bränslen, medan större växthus använde en högre andel bibränslen samt förbrukar mer energi per kvadratmeter [3].

Klimatpåverkan till följd av svensk växthusodling utgörs till stor del av uppvärmning, och det finns således goda möjligheter att minska denna genom att sänka värmebehovet, effektivare användning av energiväx är ett exempel.

Att producera tomater i Sverige kan också leda till en sänkt klimatpåverkan, då en stor andel av tomaterna som säljs i Sverige är importerade. Genom att producera lokalt hade transportkostnader och utsläpp kunnat minska avsevärt.

7.6 Alternativa lösningar

Att sänka returtemperaturen i fjärrvärmenät och utnyttja rökgaskondensat kan ske på flera olika sätt. Det finns andra potentiella lösningar kopplade till odling, samt lösningar som inte har med odling att göra.

Akvaponik är ett sätt att bedriva fiskodling i symbios med hydroponisk odling. Det bygger på att avföring från fiskar används som näring till växter, där det finns en del aktuella projekt i Sverige [175]. Det var först planerat att tomatodlingen i Frövi skulle kombineras med odling av jätteräkor, men det beslutades istället att endast tomater skulle odlas [176].

Generellt hade returtemperaturen kunnat utnyttjas på liknande sätt för att värma upp större lokaler, exempelvis kontorshus, industrilokaler, och idrottshallar. Den hade även kunnat användas för att värma bassängvattnet i en simhall.

Om Örtoftaverkets rökgaskondensat anses vara av dricksvattenkvalitet hade det eventuellt kunnat stötta den lokala vattenförsörjningen.

Appendix A

Tabell A.1: Prislista över investeringskostnader

Variabel	Pris	Källa
Betonggolv	1843,71–2243,71 (kr/m²) (exkl. kantelement) + 324,17 (kr/m²)	
Markarbete	900–1000 (kr/m ²)	[105]
Betongen	1500 (kr/m ³) = 195 (kr/m ²) (0,13 m tjocklek)	[105]
Armering	50,66 (kr/m ²)	[106]
Isolering (Cellplast)	130,21 (kr/m ²)	[107]
Kantelement (Cellplast)	324,17 (kr/m). 300 mm hög pga att den ligger på makadamen. Total höjd att omsluta = Isolering + betongtjocklek = 100 + 130mm.	[108]
Makadam 8–16	1 118,95 (kr/m ³) = 167,84 (kr/m ²) (150 mm tjockt)	[109]
Arbetskostnad	400–700 (kr/m ²)	[110]
Jordgolv med Ultramat	18 (kr/m²). För betongytan; 1843,71–2243,71 (kr/m²) (exkl. kantelement) + 324,17 (kr/m).	
Ultramat	11 (kr/m ²)	[111]
Betong	1843,71–2243,71 (kr/m ²) (exkl. kantelement) + 324,17 (kr/m)	
Tillplattning av mark	7 (kr/m ²)	[13]
Odlingskomponenter		
Rännor	57,75–138 (kr/m)	[98]

Vajer	5,06 (kr/m)	[101]
Vagnar	15,90 (kr/m ²)	[5]
Parkering		
Parkering	525–600 (kr/m ²)	[132] [133]
Mark		
Mark	70–400 (kr/m ²)	[93]
Geoteknisk markundersökning	25 000–26 000 (kr)	[95]
Växthus		
Växthus	1 144,5–2 161,11 (kr/m ²)	[96]
Uppvärmningssystem		
Uppvärmningssystem	119,2–193,7 (kr/m ²)	[96]
Oljepanna		
Oljepanna (8 MW)	11,7 (M.kr)	[147]
Oljetank (9 m ³)	58 950 (kr)	[148]
El		
Elutrustning (Tomat)	1,3 (M.kr)	[135]
Elanslutning (Tomat)	0,95 (M.kr)	[134]
Elutrustning (Gurka)	4,3 (M.kr)	[135]
Elanslutning (Gurka)	5,6 (M.kr) extrapolerat från 5,3 (M.kr)	[134]
Koppling		
Värme	20 000 (kr/m)	[144]
Vatten	6 000 (kr/m)	[13]
Personalyta		
Köksmodul	12 200 (kr/m ²)	[119]
Kök	0,25 (M.kr)	[123]
Matplatsmodul	12 200 (kr/m ²)	[119]
Stol	560,94 (kr/stol)	[122]

Bord (240cm·80cm)	3 600 (kr/bord)	[177]
Omklädningsrumsmodul (1,3m ² per person)	12 200 (kr/m ²)	[119]
Skåp (Omklädningsrum)	3 706,25 (kr/4 skåp)	[120]
Bänk (Omklädningsrum)	2 618,75 (kr/bänk)	[121]
Toalett/Duschmodul (29,5 m ² , 6,055 m·4,87 m)	0,1 (M.kr/modul)	[117]
Kontor (29,5 m ² , 6,055 m·4,87 m)	0,395 (M.kr/modul)	[113]
Inredning kontor	0,10 (M.kr)	Uppskattad siffra

Reservoar

Utgrävning och landskapsarkitektur	128,991667 (kr/m ³)	[142]
Liner	38 (kr/m ²)	[141]
Rördragning (Från reservoar till dammen)	6 000 (kr/m)	[13]
Pump för överskottsvatten	185 660 (kr/st)	Tomat: [170] Gurka: [171]
Rördragning (Från reservoar till mixtank)	180,83 (kr/m)	[159]
Pump (Från reservoar till mixtank) – Tomatodling	62 180 (kr)	[160]
Pump (Från reservoar till mixtank) – Gurkodling	88 240 (kr)	[161]

Sorterings och filmnings-maskiner

Tomat	0,38 (M.kr/maskin)	[112]
Gurka	0,60 (M.kr/maskin)	
Filmningsmaskin	0,8136 (M.kr/maskin)	

Bevattningsystem

Mixtank	0,34 (M.kr)	[98]
Pump (Ut för bevattning)	76 460 (kr)	Tomat: [163] Gurka: [164]
Lagringstank	33 870 (kr/st)	[165]
Pump (från plantor till lagringstank)	11 150 (kr/st)	Tomat: [166] Gurka: [168]
Pump (Från lagringstank till desinficeringen)	18 670 (kr/st)	Tomat: [167] Gurka: [169]
Desinficering (kapacitet 15 m ³ /h)	12 428,05 (kr/st)	[157]

Styrssystem och mätare

Styrssystem och mätare	2,3–3,45 (M.kr)	[129]
------------------------	-----------------	-------

Koldioxidsystem

Koldioxidsystem	Försumbar	[96]
Koldioxidtank	0,83 (M.kr/st)	[137]

Fläktar

Fläktar	7,226–8,38 (kr/m ²)	[178]
---------	---------------------------------	-------

Teknikhus

Teknikhuset	25 000–36 000 (kr/m ²)	[139]
Värmeväxlare	0,64 (M.kr)	[143]
Pump för fjärrvärmereturen	0,424 (M.kr/st)	[145]
Pump för interna uppvärmningssystemet	0,424 (M.kr/st)	[146]

Energiväv

Energiväv	5,145–5,775 (kr/m ²)	[98]
-----------	----------------------------------	------

Truckar

Truckar	0,14 (M.kr/st)	[114]
---------	----------------	-------

Belysning

Belysning	157 (kr/lysrör)	[125]
Växtbelysning (Gurka)	909,09 – 1818,18 (kr/m ²)	[128] [127]

Bygglov (Planenligt)

Växthus	0,36 (M.kr)	[97]
Teknikhus	61 000 (kr)	

Tabell A.2: Prislista över O&M-kostnader

Variabel	Pris	Källa
Värme		
Värmepris	315–653 (kr/kWh)	[150]
Plantor		
Tomatplantor	22–31 (kr/st)	[100]
Gurkplantor	22–35 (kr/st)	[100]
Substrat		
Stenullsmattor	45 (kr/st)	[45]
Vajersystem		
Tomahooks	4,26 (kr/st)	[102]
Näringslösning		[45] [162]
Kalksalpeter	7 (kr/kg)	
Kalisalpeter	13 (kr/kg)	
Magnesiumsulfat	5,5 (kr/kg)	
Mikronäring	110 (kr/kg)	
Monokaliumsulfat	22 (kr/kg)	
Lönekostnad		
Löner	214,68 (kr/h)	[115] [116]
Koldioxid		
Koldioxidpris	2,1 (kr/kg)	[138]
Humlor		
Humlekoloni	500–975 (kr/koloni)	[19] [104]
El	0,7 – 1,3 (kr/kWh)	[136]
Bränsle		
HVO100, bioolja	25 000 (kr/m ³)	[13]

Försäljning		[5]
Försäljningskostnad	3 %	
Emballage 5,5 kg	2,91 (kr/st)	
Transport	0,1516 (kr/kg)	[173]
Filmning		
Filmningskostnad	0,596 (kr/kg)	[5]
Administration		
Administrativa kostnader	39,744 (kr/m ²)	[5]
Underhåll		
Växthus	13,248 (kr/m ²)	[5]
Panna	0,3 (M.kr)	[149]
Desinficering		
Lysrör	1 393,87 (kr)	[158]

Litteraturförteckning

- [1] Krafttringen, "Lokalproducerad el och fjärrvärme från hjärtat av Skåne," [Online]. Available: <https://www.krafttringen.se/foretag/varme-och-kylalosningar/fjarrvarme/ortoftaverket/>. [Använd 2025].
- [2] M. Kaija, "Vattenrening på Örtoftaverket – processvatten, rökgaskondensat och dagvattendammar," Lunds universitet, Lund, 2016.
- [3] J. Persson, "Trädgårdsproduktion 2020," Jordbruksverket, 29 Juni 2021. [Online]. Available: <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-06-29-tradgardsproduktion-2020>. [Använd 2025].
- [4] J. M. Nielsen, "Växthusteknik," i *Ekologisk odling i växthus*, Jönköping, Jordbruksverket, 2007/2008.
- [5] B. Håkansson, "Ekonomi i växthusodling," Jordbruksverket, Jönköping, 2018.
- [6] J. Petterson, "Sänkning av Returtemperatur," Höskolan i Gävle, Gävle, 2014.
- [7] E. Rydegran, "Kraftvärme," Energiföretagen, 11 Juli 2023. [Online]. Available: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/kraftvarme/>. [Använd 2025].
- [8] Vattenfall AB, "Så fungerar fjärrvärme," [Online]. Available: <https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/>. [Använd 2025].
- [9] E. Olofsson, "Lokal provtagning och analys på rökgaskondensat för driftövervakning av tungmetallrening med jonbytarmassor," Uppsala universitet, Uppsala, 2020.
- [10] M. C. Björk, *Personlig kontakt*, Krafttringen, 2025.
- [11] P. Pandey och R. Chauhan, "Membranes for gas separation," *Progress in Polymer Science*, vol. 26, nr 6, pp. 853-893, 2001.

- [12] Eurowater, "Elektrodejonisering för ultrarent vatten," [Online]. Available: <https://www.eurowater.com/se/anlaeggningar-produkter/elektrodejonisering>. [Använd 10 Januari 2025].
- [13] P. Ottosson, *Personlig kontakt*, Krafringen, 2025.
- [14] R. S. Cuadrado, "RETURN TEMPERATURE INFLUENCE OF A DISTRICT HEATING NETWORK ON THE CHP PLANT PRODUCTION COSTS," University of Gävle, Gävle, 2009.
- [15] E. Sandström, "Värdet av ökad avkylning i Örnköldsviks fjärrvärmenät," Umeå universitet, Umeå, 2013.
- [16] Hydrogarden, "Vad är hydroponisk odling?," [Online]. Available: <https://www.hydrogarden.se/odlingsguiden>. [Använd 5 Februari 2025].
- [17] H. M. Resh, *Hydroponic food production*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.
- [18] Agriculture land USA, "Greenhouse farming Guide for Beginners," 2024. [Online]. Available: <https://www.agriculturelandusa.com/2024/01/greenhouse-farming-beginners-guide%20.html>. [Använd 15 Januari 2025].
- [19] T. Lilja, Interviewee, *Studiebesök på Elleholms tomatodling*. [Intervju]. 24 Januari 2025.
- [20] P. O. Lindsten, "Billeruds bruk ger kraft åt enorm tomatodling," *Dagens industri*, 5 Mars 2024.
- [21] Irritec, "DRIP IRRIGATION HYDROPONIC TOMATO," [Online]. Available: https://www.irritec.com/Documents/Catalogues%20and%20Price%20Lists/Crop%27s%20Flyers/EN/IRRITEC_FLYER_HYDROPONIC%20TOMATO.pdf. [Använd 14 Mars 2025].
- [22] J. M. Nielsen och S. Nimmermark, *Växthusteknik*, Linköping: Jordbruksverket, 2019.
- [23] Prasada greenhouse, "Multi-Span Film Greenhouses: Expanding Your Options for Year-Round Growing," 12 Juli 2024. [Online]. Available: <https://www.prasadaa.com/Multi-Span-Film-Greenhouses-Expanding-Your-Options-for-Year-Round-Growing-id46371176.html>. [Använd 14 Januari 2025].
- [24] Industries Harnois, "The Ultimate Guide to Buying Venlo Greenhouses," [Online]. Available: <https://www.harnois.com/en/ultimate-guide-to-buying-venlo-greenhouses/>. [Använd 16 Januari 2025].

- [25] Willab Garden, "Golv till växthus," [Online]. Available: <https://www.willabgarden.se/vaxthus/bygga-vaxthus/golv-till-vaxthus>. [Använd 13 Mars 2025].
- [26] Isover AB, "Platta på mark Allmänna råd," [Online]. Available: https://www.beijerbygg.se/wcsstore/BeijerCAS/HPMAAssets/d220001/medias/docus/2/001715749_4199582_3542010000_MA1.pdf?srsId=AfmBOopj8ysm3JoUleuzKUqcJkEMcddtCUJFGN5yIcgg6dE3K3HgGNly. [Använd 2025].
- [27] PureHydroponics, "Ultramat – White Reflective Flooring," 2025. [Online]. Available: <https://purehydroponics.com/products/horticultural-textiles/white-reflective-flooring-covers/>. [Använd 2025].
- [28] Growspan, "Traditional Venlo Greenhouses," [Online]. Available: <https://www.growspan.com/structures/commercial-series/traditional-venlo-greenhouses/>. [Använd 2025].
- [29] Novagric, "Greenhouse materials and structures," [Online]. Available: <https://novagric.com/en/greenhouses/greenhouse-materials-and-structures/>. [Använd 2025].
- [30] American Society of Agricultural Engineers, "Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses," i *ASAE Standard*, St. Joseph, MI, American Society of Agricultural Engineers, 2003, pp. 699-707.
- [31] Insongreen, "Best Greenhouse Covering: A Comprehensive Guide to Choosing the Right Material," 10 Maj 2023. [Online]. Available: <https://www.insongreen.com/best-greenhouse-covering-material/>. [Använd 2025].
- [32] Elma, "CO2 - Vad är det och hur mäter man det?," [Online]. Available: <https://elma.se/kunskap-kurser/vart-att-veta/co2-vad-ar-det-och-hur-mater-man-det>. [Använd 2025].
- [33] M. Lantz, G. Larsson och T. Hansson, "Förutsättningar för förnybar energi i svensk växthusodling," Lunds tekniska högskola, Lund, 2006.
- [34] Dutch Direct, "Comprehensive Guide To Greenhouse Artificial Lighting Systems," [Online]. Available: <https://www.dutchdirect.us/comprehensive-guide-to-greenhouse-artificial-lighting-systems>. [Använd 2025].

- [35] Hydrogarden, "Växtbelysning - En komplett guide till att välja rätt ljus för din odling," [Online]. Available: <https://www.hydrogarden.se/odlingsguiden/vaxtbelysning-komplett-guide-valja-ratt-ljus-odling>. [Använd 2025].
- [36] T. Persson och M. Karlsson, "Förutsättningar för användning av restvärme för växthusodling i Borlänge," Högskolan Dalarna, Borlänge, 2020.
- [37] S. Nimmermark och J. M. Nielsen, "Klimatisering, belysning, bevattning och mekanisering i växthus - Aktuellt kunskapsläge," Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, 2014.
- [38] U. Nilsson och S. Nimmermark, "Restvärme för växthusproduktion," Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, 2013.
- [39] Polarpumpen, "Hur funkar en avfuktare," [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/ventilation-avfuktare-kunskapsbank/avfuktare-kunskapsbank/sa-fungerar-avfuktare/hur-funkar-en-avfuktare/>. [Använd 2025].
- [40] J. John W. Bartok, "Horizontal Air Flow is Best for Greenhouse Air Circulation," University of Connecticut, Maj 2005. [Online]. Available: <https://www.umass.edu/agriculture-food-environment/greenhouse-floriculture/fact-sheets/horizontal-air-flow-is-best-for-greenhouse-air-circulation>. [Använd 2025].
- [41] H. Lööv, C. Stenberg, A. W. Clarin och F. Nilsson, "Svensk växthusproduktion av tomater," Jordbruksverket, Jönköping, 2011.
- [42] Jordbruksverket, "Avräkningspriser, år fr.o.m. 2015," [Online]. Available: https://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/Jordbruksverkets%20statistikdatabas__Priser%20och%20prisindex__Priser__Avrakningspriser20/J01001L1.px/. [Använd 2025].
- [43] Hort Americas, "Growers use rockwool to produce specialty crops," Hortidaily, 30 September 2019. [Online]. Available: <https://www.hortidaily.com/article/9148646/growers-use-rockwool-to-produce-specialty-crops/>. [Använd 2025].
- [44] K. Homman och F. Länsstyrelsen, "Ympning av tomatplantor," i *Ekologisk odling i växthus*, Jönköping, Jordbruksverket, 2007/2008.
- [45] M. Johansson, *Personlig kontakt*, SW Horto, 2025.

- [46] M. Dorais, A. Gosselin och M. J. Trudel, "Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light," *Scientia Horticulturae*, vol. 45, nr 3-4, pp. 225-234, 1991.
- [47] J. Molin, "Brukets spill ger tomater året om," *Dagens arbete*, 29 Juli 2024.
- [48] K.-J. Bergstrand, "Modern växthusbelysning -ett kompendium om växthusbelysning," Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, 2015.
- [49] Agrowtonics, "Grow Hydroponic Tomatoes," [Online]. Available: <https://www.agrowtonics.com/grow-hydroponic-tomatoes-the-complete-guide/>. [Använd 2025].
- [50] IGWorks, "Growing Hydroponic Tomatoes," [Online]. Available: <https://igworks.com/blogs/growing-guides/growing-hydroponic-tomatoes-in-your-iharvest?srsId=AfmBOoq2FKTryQHOhsOxbMrXPoTwdwnYbk4eT2twgqii-IotkjL0ePBYY>. [Använd 2025].
- [51] E. Nederhoff och C. Stanghellini, "Water use efficiency of tomatoes in greenhouses and hydroponics," *Practical Hydroponics & Greenhouses*, pp. 52-59, November/December 2010.
- [52] Å.-M. Nilsson, "Mystiskt ljus över Malmö kommer från gurkodling," *Lokaltidningen*, 5 December 2020.
- [53] Atop lighting, "Atophort," [Online]. Available: <https://www.atophort.com/news/how-to-grow-well-greenhouse-cucumber.html>. [Använd 2025].
- [54] DryGair, "How to Grow Greenhouse Cucumbers, Ideal Cucumber Growing Conditions," [Online]. Available: <https://drygair.com/blog/cucumber-greenhouse/>. [Använd 2025].
- [55] O. v. Kooten, E. Heuvelink och C. Stanghellini, "New Development in Greenhouse Technology can Mitigate the Water Shortage Problem of the 21st Century," *Acta Horticulturae*, vol. 767, pp. 45-52, 2008.
- [56] IGWorks, "Growing Hydroponic Cucumbers," [Online]. Available: https://igworks.com/blogs/growing-guides/growing-hydroponic-cucumbers?srsId=AfmBOopjI1Keo9A_rHNq2DR2_T5bXvAsNt6wCtjx7wcOKmosJ4fa6I_E. [Använd 2025].
- [57] M. S. Ahamed, H. Guo och K. Tanino, "A quasi-steady state model for predicting the heating requirements of conventional greenhouses in cold regions," *Information Processing in Agriculture*, vol. 5, nr 1, pp. 33-46, 2018.

- [58] Y. A. Cengel, Heat transfer: A practical approach, New York: McGraw-Hill, 2002.
- [59] SMHI, "Avdunstning," [Online]. Available: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattenbalans-och-vattnets-kretslopp/avdunstning>. [Använd 2025].
- [60] L. Nyberg, "Energieffektivisering av växthus för skogsplanter," Karlstads universitet, Karlstad, 2019.
- [61] H. Vömel, "Saturation vapor pressure formulations," University of Colorado, 1 December 2011. [Online]. Available: https://www.eas.ualberta.ca/jdwilson/EAS372_13/Vomel_CIRES_satvpformulae.html. [Använd 2025].
- [62] The Engineering Toolbox, "Moist Air - Relative Humidity," [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/relative-humidity-air-d_687.html?utm. [Använd 2025].
- [63] E. Fitz-Rodríguez, C. Kubota, G. A. Giacomelli, M. E. Tignor, S. B. Wilson och M. McMahon, "Dynamic modeling and simulation of greenhouse environments under several scenarios: A web-based application," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 70, nr 1, pp. 105-116, 2010.
- [64] King Saud university, "Greenhouse Steady State Mass Balance Model," King Saud university, Riyadh.
- [65] M. Halling, "Greenhouse Energy Balance," Linköping university, Linköping, 2024.
- [66] E. Rydegran, "Fjärrvärmeproduktion," 11 Juli 2023. [Online]. Available: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/fjarrvarme/fjarrvarmeproduktion/>. [Använd 2025].
- [67] A.-S. Borglund, "Framtidens fjärrvärme tar form," *Tidningen Energi*, 30 Augusti 2020.
- [68] U. Nilsson, J. M. Nielsen, I. Christensen och S. Nimmermark, "Förnybar energi i svensk växthusodling," Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, 2015.
- [69] Thermex, "Shell and Tube or Plate Heat Exchangers?," [Online]. Available: <https://www.thermex.co.uk/shell-and-tube-or-plate-type/>. [Använd 2025].

- [70] Alfa Laval, "Vanliga frågor om värme och kyla," [Online]. Available: <https://www.alfalaval.se/industrier/vvsfjarrvarme-kyla/konsultportal/vanliga-fragor/>. [Använd 2025].
- [71] Stuppy greenhouse, "https://www.stuppy.com/hydronic-heat/," [Online]. Available: <https://www.stuppy.com/hydronic-heat/>. [Använd 2025].
- [72] Orange coast plumbing, "The Pros & Cons of a Hydronic Radiant Floor Heating System," 24 Januari 2023. [Online]. Available: <https://orangecoastplumbing.net/2023/01/radiant-heating-system-pros-cons/>. [Använd 2025].
- [73] Frico, "Fläktkonvektorer," [Online]. Available: <https://www.frico.net/sv/produkter/konvektorer/flaktkonvektorer>. [Använd 2025].
- [74] Polarpumpen, "Olika sorters värmesystem," [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/uppvarmning-hus/varmesystem/olika-sorters-varmesystem/>. [Använd 2025].
- [75] J. Richardson, "How do Biomass Boilers Work? A Guide for the UK," The renewable energy hub UK, 2 Oktober 2024. [Online]. Available: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/biomass-boiler-information/how-biomass-boilers-work>. [Använd 2025].
- [76] Alloljeteknik, "Vattenburen oljepanna," [Online]. Available: https://alloljeteknik.se/vattenburen-oljepanna/?srsId=AfmBOor4ZferoJnDyRJo4HP_AbXV4SHz1teeN0O-J8UJ3rS69GxGOFFB. [Använd 2025].
- [77] E. Österlin, "Förstudie, Melleruds fjärrvärme, Klackens panncentral," EOS energi, 2020.
- [78] Polarpumpen, "Hur fungerar en luft-vattenvärmepump?," [Online]. Available: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/luft-vattenvarmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-luft-vattenvarmepump/hur-fungerar-en-luft-vattenvarmepump/>. [Använd 2025].
- [79] P. Lönegård, *Personlig kontakt*, Alfa Laval Technologies AB, 2025.
- [80] Wikipedia, "Darcy–Weisbach equation," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Darcy%E2%80%93Weisbach_equation. [Använd 2025].
- [81] Pumpportalen, [Online]. [Använd 2025].

- [82] Anton Paar, "Viscosity of Water," [Online]. Available: <https://wiki.anton-paar.com/en/water/>. [Använd 2025].
- [83] Wikipedia, "Darcy friction factor formulae," 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Darcy_friction_factor_formulae. [Använd 2025].
- [84] Wikipedia, "Meter vattenpelare," 2025. [Online]. Available: https://sv.wikipedia.org/wiki/Meter_vattenpelare. [Använd 2025].
- [85] Grundfos, "Pump selection basics: Calculating Total Dynamic Head," Malmö.
- [86] T. Hansson, E. Ögren och C. Winter, "Ekologisk odling av tomat," Jordbruksverket, Uppsala, 2007.
- [87] E. T. I. Ltd, "EMISSIVITY TABLE," Electronic Temperature Instruments Ltd, Worthing.
- [88] T. K. Murtadha, "Installing clear acrylic sheet to reduce unwanted sunlight waves that photovoltaic panels receive," *Results in Engineering*, vol. 17, 2023.
- [89] Y. A. Çengel, M. A. Boles och M. Kanoğlu, Thermodynamics, An Engineering Approach ninth edition, New York: McGraw-Hill, 2019.
- [90] E. Heuvelink, M. Bakker, A. Elings, R. Kaarsemaker och Marcelis, "EFFECT OF LEAF AREA ON TOMATO YIELD," *Acta Horticulturae*, vol. 691, pp. 43-50, 2005.
- [91] S. Xiaolei och W. Zhifeng, "THE OPTIMAL LEAF AREA INDEX FOR CUCUMBER PHOTOSYNTHESIS AND PRODUCTION IN PLASTIC GREENHOUSE," *Acta Horticulturae*, vol. 633, pp. 161-165, 2004.
- [92] Statistiska Centralbyrån, "Prisomräknaren," [Online]. Available: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/prisomraknaren/>. [Använd 2025].
- [93] Johan Hoolme, *Personlig kontakt*, Sydsvensk Marknadsvärdering AB, 2025.
- [94] Boverket, "Länsstyrelsens tillsyn," 2 Maj 2024. [Online]. Available: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/>. [Använd 2025].
- [95] Bygglovskonsulter, "Geoteknisk markundersökning - viktig trygghet för husbyggare!," [Online]. Available: <https://www.bygglovskonsulter.com/post/geoteknisk-markundersokning-viktig-trygghet-for-husbyggare>. [Använd 2025].
- [96] C. Liao, *Personlig kontakt*, CF Greenhouse, 2025.

- [97] Lunds kommun, "Taxa för bygglov, nybyggnadskarta, utstakning, lägeskontroll och strandskyddsdispens," Lund, 2021.
- [98] J. Feng, *Personlig kontakt*, Xiamen Wellgain, 2025.
- [99] J. Feng, *Personlig kontakt*, Xiamen Wellgain.
- [100] S. Granrot, *Personlig kontakt*, SW Horto.
- [101] Seton, [Online]. Available: https://www.seton-sakerhet.se/fasttrad-rostfritt-stal-1.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAtYy9BhBcEiwANWQQLxoqyedGqfd_UKX2pI9QxMhfIYZ4HOAlq1PL24Jpp6FloItloFpcVhoCj8kQAvD_BwE#FINOX. [Använd 2025].
- [102] ActiveVista, "Tomahooks | 22cm with 14m twine," [Online]. Available: https://www.activevista.com.au/product/tomahook-tomato-hook-with-twine/?srsltid=AfmBOoqmCROOmW5IZqga4nJYGS7OC_-Idsw88qBF3w0y9ZjjMJgU4zY7. [Använd 2025].
- [103] Linköpings kommun, "Pollinatörer," [Online]. Available: <https://www.linkoping.se/bygga-bo-och-miljo/naturvard-och-parkskotsel/pollinatorer/>. [Använd 2025].
- [104] Wexthuset, "Biologisk bekämpning & Nyttodjur," [Online]. Available: <https://www.wexthuset.com/tradgardsskotsel-underhall/ohyra-skadegorare/biologisk-bekampning>. [Använd 2025].
- [105] Husgrunder, "Ungefärligt kvadratmeterpris gjuta en platta på mark," [Online]. Available: <https://www.husgrunder.com/ny-husgrund/ungefärligt-kvadratmeterpris-nar-man-ska-gjuta-en-platta-pa-mark/?utm>. [Använd 2025].
- [106] Velltra, "Armeringsnät 6150 150x150x6mm 5x2,3m," [Online]. Available: <https://www.velltra.se/product/armeringsnat-6150-150x150x6mm-5x23m?utm=undefined>. [Använd 2025].
- [107] Byggmax, "Cellplast S100 EPS," [Online]. Available: <https://www.byggmax.se/cellplast-s100-eps>. [Använd 2025].
- [108] Hornbach, "Kantelement EPS FINNFOAM S200 rak fibercement 300x500x1200 mm," [Online]. Available: <https://www.hornbach.se/p/kantelement-eps-finnfoam-s200-rak-fibercement-300x500x1200-mm/10717331/>. [Använd 2025].
- [109] Stenbolaget, "Makadam 8-16 Lösvikt," [Online]. Available: <https://stenbolaget.se/products/makadam-11-16-losvikt>. [Använd 2025].

- [110] Markarbeten, "Betongplatta på mark, kostnad och tips," [Online]. Available: <https://markarbeten.net/betongplatta-pa-mark-kostnad-och-tips/>. [Använd 2025].
- [111] EMPAK, "Ultra White Weed Mat," [Online]. Available: <https://empak.co.nz/shop/garden-landscaping/ultra-white-weed-mat/>. [Använd 2025].
- [112] R. Duijndam, *Personlig kontakt*, Duijndam Machines.
- [113] Containex, "2x20' Kontorsmoduler PLUS Line," [Online]. Available: <https://www.containex.com/se/sv/ny-och-begagnad?id=ang00001577>. [Använd 2025].
- [114] Jungheinrich, "EFG 113," [Online]. Available: <https://www.shop.jungheinrich.se/sv/efg-113---FN543616?q=&i=1>. [Använd 2025].
- [115] Yrkeskollen, "Lön tomatplockare 2024," [Online]. Available: <https://yrkeskollen.se/lonestatistik/tomatplockare/>. [Använd 2025].
- [116] Länsförsäkringar, "Vad kostar det att anställa?," [Online]. Available: <https://www.lansforsakringar.se/stockholm/foretag/tips-guider/driva-foretag/vad-kostar-en-anstalld/>. [Använd 2025].
- [117] Containex, "20' Dusch-/WC-moduler," [Online]. Available: <https://www.containex.com/se/sv/ny-och-begagnad?id=ang00002310>. [Använd 2025].
- [118] Arbetsmiljöverket, "Arbetsplatsens utformning," Stockholm, 2020.
- [119] Northpower, "Nyckelfärdigt," [Online]. Available: <https://www.northpower.se/stal/din-stalhall/nyckelfardigt/>. [Använd 2025].
- [120] AJ produkter, "Klädskåp CLICK," [Online]. Available: <https://www.ajprodukter.se/omkladning/skap/kladskap/kladskap-med-underrede/kladskap-975399-975406>. [Använd 2025].
- [121] AJ produkter, "Sittbänk STADIUM," [Online]. Available: <https://www.ajprodukter.se/omkladning/sittbankar-kroklist/sittbankar-utan-kroklist/sittbank-11382-11386>. [Använd 2025].
- [122] AJ produkter, "Stol NELSON," [Online]. Available: https://www.ajprodukter.se/kontor-konferens/sittmobler/konferensstolar/stol-456860-456863?VAT=1&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=p-se-shopping-push&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA2cu9BhBhEiwAft6IxN8OXELxv-GIxpEZaxJ7Jzn2Pq1aQV-ru_QMbiRcEjUaq2b_Xo. [Använd 2025].

- [123] E. B. Westergren, "Vad kostar det att bygga kök?," [Online]. Available: <https://www.byggahus.se/kok/kostnad-bygga-kk>. [Använd 2025].
- [124] Fagerhult, "Standarden EN 12464-1 i korthet," [Online]. Available: <https://www.fagerhult.com/sv/kunskap/ljusplanering/EN-12464-1/belysning-av-arbetsplatser-inomhus/standarden-EN-12464-1-i-korthet/>. [Använd 2025].
- [125] Ledmegastore, "LEDlife 2G11," [Online]. Available: <https://ledmegastore.se/2g11-led-ror/11683-ledlife-2g11-led-lysrer-12w-32cm-2g11-230v.html>. [Använd 2025].
- [126] K.-J. Bergstrand, "Modern växthusbelysning -ett kompendium om växthusbelysning," Alnarp, 2015.
- [127] Trädgårdsteknik, [Online]. Available: <https://www.ttshop.se/>. [Använd 2025].
- [128] Hydrogarden, "LED Växtbelysning," [Online]. Available: https://www.hydrogarden.se/produkter/fardiga-paket/ljuspaket/led-vaxtbelysning/?gad_source=1&gad_campaignid=20946841824&gbraid=0AAAAADSK37eGTceRZpjSeBnSUG1mEXNs&gclid=Cj0KCQjw8vvABhCcARIsAOCfwwrqXTdkMqdTBrHs3EmFyt-Lf90Qt92FZqjoxcVfBKaNfcthp0zCvx0aAkTUEAL. [Använd 2025].
- [129] S. Batenburg, *Personlig kontakt*, Priva, 2025.
- [130] T. Hofset och J. Hjelm, "Mark- och miljööverdomstolen: 4,5-metersregeln enligt byggnadsstadgan gäller inte för fastighetsgräns mot allmän platsmark," 16 Oktober 2023. [Online]. Available: <https://www.realadvokatbyra.se/newsletter/nr-4-2023/mark-och-miljooverdomstolen-45-metersregeln-enligt-byggnadsstadgan-galler-inte-for-fastighetsgrans-mot-allman-platsmark/>. [Använd 2025].
- [131] J. Wreder, "Lastbilar på 35 meter godkänns i Sverige – oro för olyckor," *Arbetet*, 25 Augusti 2023.
- [132] M. Nilsson, *Personlig kontakt*, Sinktappen.
- [133] J. Malmberg, *Personlig kontakt*, NCC.
- [134] R. Andersson, *Personlig kontakt*, Krafttringen, 2025.
- [135] M. Anundsson, *Personlig kontakt*, Harju Elekteer.
- [136] Statistiska Centralbyrån, "Priser på el för övriga kunder (ej hushåll) efter förbrukarkategori. Halvår 2014H2 - 2024H2," [Online]. Available:

https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0301__EN0301A/SSDHalvarEllckehus/. [Använd 2025].

- [137] J. Zhao, *Personlig kontakt*, CNCD TANK, 2025.
- [138] Imarc, "Liquid Carbon Dioxide Prices, Trend, Chart, Demand, Market Analysis, News, Historical and Forecast Data Report 2025 Edition," [Online]. Available: <https://www.imarcgroup.com/liquid-carbon-dioxide-pricing-report>. [Använd 2025].
- [139] Byggstart, "Vad kostar det att bygga hus? Pris i 2025," [Online]. Available: <https://www.byggstart.se/pris/bygga-hus>. [Använd 2025].
- [140] ELSÄKERHETSVERKET, "Starkströmsföreskrifterna," 1999.
- [141] Trädgårdsteknik, "Dammanläggningsprojekt," [Online]. Available: <https://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/dammanlaggningsprojekt-takduk/9379-728-11/>. [Använd 2025].
- [142] I. Sifnaios, A. R. Jensen, S. Furbo och J. Fan, "Heat losses in water pit thermal energy storage systems in the presence of groundwater," *Applied Thermal Engineering*, vol. 235, 2023.
- [143] E. Fjelkner, *Personlig kontakt*, Alfa Laval Technologies AB.
- [144] P. Steén, *Personlig kontakt*, Krafringen.
- [145] Grundfos, "NB 250-350/362 AASF1AESBQQEVW3," [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nb/nb-250-350362-98857214?pumpsystemid=2666080164&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [146] Grundfos, "NB 250-350/362 AASF1AESBQQEVW3," [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nb/nb-250-350362-98857214?pumpsystemid=2666080164&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [147] P. Lyckerius, *Personlig kommunikation*, Compab AB.
- [148] Älvestadstanken, "Oljetankar 200-9000 liter," [Online]. Available: <https://www.alvestadtanken.se/produkt-kategori/dieseltankar/oljetankar/>. [Använd 2025].
- [149] N. Berglund, *Personlig kontakt*, Krafringen, 2025.
- [150] Krafringen, "Krafringens prisändringsmodell för fjärrvärme," Lund, 2025.

- [151] C. Bohlin, "VATTNET- EN VIKTIG PRODUKTIONSFAKTOR," Skogforsk, 1988.
- [152] Kemakta Konsult AB, "Datablad för kvicksilver," Naturvårdsverket, Stockholm, 2016.
- [153] Livsmedelsverket, "Kvicksilver," [Online]. Available: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/kvicksilver>. [Använd 2025].
- [154] H. Park och W. H. Schlesinger, "Global biogeochemical cycle of boron," *Global Biochemical Cycles*, vol. 16, nr 4, pp. 1-11, 2002.
- [155] C. E. Junge och R. T. Werby, "THE CONCENTRATION OF CHLORIDE, SODIUM, POTASSIUM, CALCIUM, AND SULFATE IN RAIN WATER OVER THE UNITED STATES," *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 15, nr 5, pp. 417-425, 1958.
- [156] X. Liu, C. Xu, P. Chen, K. Li, Q. Zhou, M. Ye, L. Zhang och Y. Lu, "Advances in Technologies for Boron Removal from Water: A Comprehensive Review," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, nr 17, 2022.
- [157] Nordic Filtration, "Ocena UV 150 - 1,5" BSP 135 l/min," [Online]. Available: <https://nordicfiltration.com/se/catalog/product/view/id/20816/s/ocena-uv-150-1-5-bsp-135-l-min/category/149/>. [Använd 2025].
- [158] Nordic filtration, "UV Lamp - Ocena UV 135 l/min," [Online]. Available: <https://nordicfiltration.com/se/ocena-uv-150-lamp-150w.html>. [Använd 2025].
- [159] Trädgårdsteknik, "Aluminiumrör Wright Rain," [Online]. Available: <https://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/aluminiumror-wright-rain-lt-br-gt-long-life-100mm-pris-6meters/6101-2275-11/>. [Använd 2025].
- [160] Grundfos, "TPE 65-210/2 A-F-A-BQQE-JWB," [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/tp-tpe/tpe-series-1000-tpe2/tpe-65-2102-99113941?pumpsystemid=2666098939&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [161] Grundfos, "TPE 80-240/2 A-F-A-BQQE-LWB," [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/tp-tpe/tpe-series-1000-tpe2/tpe-80-2402-99113949?pumpsystemid=2630073548&tab=variant-sizing-results>. [Använd 2025].
- [162] G. v. d. Lugt, "NUTRIENT SOLUTIONS FOR GREENHOUSE CROPS," Eurofins Agro, 2020.

- [163] Grundfos, ”NB 150-200/224 AAF1AESBQQEKW5,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nb/nb-150-200224-98557012?pumpsystemid=2664654001&tab=variant-sizing-results>. [Använd 2025].
- [164] Grundfos, ”NB 150-200/224 AAF1AESBQQEKW5,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nb/nb-150-200224-98557012?pumpsystemid=2666101181&tab=variant-sizing-results>. [Använd 2025].
- [165] Trädgårdsteknik, ”Lagringstank 5000L med skruvlock 150 mm,” [Online]. Available: <https://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/lagringstank-5000l-med-skruvlock-150-mm/120421-0-11/>. [Använd 2025].
- [166] Grundfos, ”UPS 25-80 N 180,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/up-ups-series-100/up-ups-n/ups-25-80-n-180-95906439?pumpsystemid=2666102284&tab=variant-sizing-results>. [Använd 2025].
- [167] Grundfos, ”MAGNA3 25-120,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/magna/magna3/magna3-25-120-97924248?pumpsystemid=2643458157&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [168] Grundfos, ”UPS 25-80 N 180,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/up-ups-series-100/up-ups-n/ups-25-80-n-180-95906439?pumpsystemid=2643404073&tab=variant-sizing-results>. [Använd 2025].
- [169] Grundfos, ”MAGNA3 25-120,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/magna/magna3/magna3-25-120-97924248?pumpsystemid=2643459496&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [170] Grundfos, ”NBE 150-200/224 AASF1AESBQQEOWA,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nbe/nbe-150-200224-98762436?pumpsystemid=2643482029&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [171] Grundfos, ”NBE 150-200/224 AASF1AESBQQEOWA,” [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/nb-nbe-nbe-series-2000/nbe/nbe-150-200224-98762436?pumpsystemid=2643482834&tab=variant-curves>. [Använd 2025].
- [172] Ängelholms kommun, ”Kommunala vattentjänster och avgifter,” [Online]. Available: <https://www.engelholm.se/bo-bygga-och-miljo/vatten-och-avlopp/kommunala-vattentjanster-och-avgifter.html>. [Använd 2025].
- [173] J. Ascard, B. Håkansson och M. Söderlind, ”Ekonomi – Kalkyler för odling av grönsaker på friland,” Jordbruksverket, Jönköping, 2008.

- [174] SMHI, "Vattenbrist," [Online]. Available: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/torka/vattenbrist>. [Använd 2025].
- [175] T. Hjelm, "Akvaponi – vad kan vi lära oss av genomförda svenska projekt?," 8 December 2021. [Online]. Available: <https://www.landsbygdsnätverket.se/nyheterochartiklar/nyhetsarkiv/akvaponivadkanvilaraossavgenomfordasvenskaprojekt.5.5568aa6217d6ecc2d4ad7f0f.html>. [Använd 2025].
- [176] F. Norman, "Ingen räkodling i Frövi – satsar mer på grönsaker istället," *LindeNytt*, 2 Juni 2023.
- [177] AZ Design, "Konferensbord Steady, 140x70 cm, Bok, Svart stativ," [Online]. Available: https://www.azdesign.se/sv/articles/1.218.6343/konferensbord-steady-140x70-cm-bok-svart-stativ?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign_id=20985852888&utm_campaign=ep-SE%20-%20shopping%20-%20under%20performers%20%26%20B2C&utm_content=175985253067&utm. [Använd 2025].
- [178] Trädgårdsteknik, "Cirkulationsfläkt ACF18 85W 3.180 m³/h," [Online]. Available: <https://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/cirkulationsflakt-acf18-85w-3-180-m3-h/2616-123-11/>. [Använd 2025].