



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC STS 16043

Examensarbete 30 hp  
November 2016

# Ett matsystem med biologiska jordbruksmetoder och växthusodling

Kost, jordbruk och energibalans i växthus

---

Mikael Norlén



UPPSALA  
UNIVERSITET

**Teknisk- naturvetenskaplig fakultet  
UTH-enheten**

Besöksadress:  
Ängströmlaboratoriet  
Lägerhyddsvägen 1  
Hus 4, Plan 0

Postadress:  
Box 536  
751 21 Uppsala

Telefon:  
018 – 471 30 03

Telefax:  
018 – 471 30 00

Hemsida:  
<http://www.teknat.uu.se/student>

## Abstract

### **A food system with biological farming methods and greenhouse cultivation: Diet, farming and greenhouse energy balance**

---

*Mikael Norlén*

The project examines the possibilities to develop a local and sustainable model for food production in Uppsala with focus on diet, farming methods and different types of greenhouse installations. With the simulation software VIP energy 3.1.1 the energy balance and temperature development of greenhouses of different materials were calculated for different operating cases. The results were also compared when the greenhouse was installed stand-alone or integrated to the wall of a small standard or passive house. With a starch based diet and biological farming methods research suggests it is possible to produce food efficiently without compromising the environment or our health. The yearly food needs for a family of four that follows the suggested diet was estimated to 4 362 kg and the outdoor land required to produce it was calculated to 4 676 m<sup>2</sup> through organic yield statistics. The area could however be reduced to 2 813 m<sup>2</sup> if the only starch staple in production was potatoes. The tender growing season in a greenhouse constructed with a covering of 5 mm glass or 5-16Ar-5 mm was calculated to 85 and 148 days respectively. The energy use required for year round production of mushrooms in the respective greenhouses was calculated to 53 or 16 kWh/m<sup>2</sup>,year. Half hardy plants required 399 or 173 kWh/m<sup>2</sup>,year and tender plants 953 or 358 kWh/m<sup>2</sup>,year. When the greenhouses were connected to the wall of a small house the heating demand could be reduced by up to 22 % depending on the operating case.

Handledare: Johanna Björklund  
Ämnesgranskare: Annica Nilsson  
Examinator: Elisabet Andrésdóttir  
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 16043

# Populärvetenskaplig sammanfattning

Projektet undersöker möjligheterna att producera det fullständiga matbehovet för en familj som följer en vegansk kosthållning lokalt i Uppsala. Fokus har lagts på kost, odlingsmetoder och olika typer av växthusodling med utgångspunkt i Uppsalas klimat. Den tekniska delen undersöker temperaturer och energibalans för olika tempererade växthus med hjälp av simuleringsprogrammet VIP energy. Dessutom undersöks hur växthusens temperaturer och energikonsumtion förändras då de integreras mot söderväggen av ett standard- eller passivhus samt då småhusens respektive värmesystem används för att värma växthuset.

En plantbaserad kosthållning kan generellt vara mycket miljövänlig och hälsosam. De människor som lever längst i världen idag får till exempel majoriteten av sina kalorier från vegetariska livsmedel. Vitamin B<sub>12</sub>-behovet bör dock säkerställas med hjälp av kosttillskott om kosthållningen är helt vegansk. En familj på fyra personer som följer en stärkelsebaserad vegankost bestående av 70 % stärkelse, 20 % grönsaker och 10 % frukt beräknades behöva 4 362 kg mat per år.

Med hjälp av ett biologiskt jordbruk som utnyttjar minimal jordbearbetning och diversifierade levande marktäckningar menar forskare att det finns goda möjligheter att återuppbygga jordens organiska innehåll. Då markorganismerna återhämtar sig och jordens näringsväv och funktioner utvecklas kan en större mängd vatten, kol och näring hållas kvar i marken. Detta kan i sin tur hjälpa till att motverka kompaktion- och erosionsproblem, växtskadliga anaerobiska förhållanden, övergödning och den globala uppvärmningen. Dessutom ökar näringsomsättningen från markens mineralpartiklar som kan vara tillräckliga för att försörja kontinuerliga skördar i tiotusentals år. Behovet av kontinuerlig näringsgödsling kan således reduceras i mer utvecklade jordar där markens totala näringsinnehåll i högre grad tillgängliggörs genom biologiska processer. För att ta vara på jordbrukets organiska restprodukter i ett veganskt jordbruk kan högproduktiva svampar användas som ett alternativ till boskapen. Utifrån dessa odlingsmetoder och ekologisk skördestatistik beräknades ytan som krävs för att producera familjens matbehov till 4 676 m<sup>2</sup> för frilandsodling. Ytan kan dock variera beroende på markens biologiska utveckling och vilka stärkelser man väljer att odla. Om hela stärkelsebehovet utgjordes av potatis kunde ytbehovet till exempel reduceras till 2 813 m<sup>2</sup>.

Olika typer av tempererade växthus kan användas för att förlänga odlings- och skördesäsongen, öka kostvariationen och odla svamp under vintern. För växthus med olika täckmaterial och driftfall beräknades olika energiförbrukningar och temperaturutvecklingar. För ett växthus på 100 m<sup>2</sup> med ett 5 mm glas som täckmaterial beräknades odlingsäsongen för känsliga grödor som till exempel tomat och gurka till 85 dagar. För ett växthus med dubbla glas förlängdes säsongen till 148 dagar. Eftersom säsongerna i växthusen även möjliggjorde en fördubblad stärkelseproduktion kunde ytbehovet potentiellt halveras gentemot frilandsodling.

För att odla känsliga grödor året runt med LED-belysning och uppvärmning med en luft/vatten-värmepump beräknades växthusets specifika energianvändning till 953 eller 358 kWh/m<sup>2</sup>,år för de respektive växthusen. Ett växthus som tempereras året runt beräknades potentiellt kunna minska ytbehovet med 67 % men tycks vara en allt för

energiintensiv lösning då familjens fastighetsrelaterade energianvändning blev ca 8 till 20 gånger större för de respektive växthusen. Istället föreslogs en lösning där växthuset installerades utan växtbelysning och värmdes till svalhustemperaturer (3 °C) under vår och höst fram till mitten på december för att möjliggöra svampodling och en förlängd odlings- och skördesäsong. För ett växthus med dubbla glas på 100 m<sup>2</sup> innebar detta endast en specifik energianvändning på ca 6 kWh/m<sup>2</sup>,år eller en ökning av familjens fastighetsrelaterade energibehov med 12 %.

Om växthuset värms till svalhustemperaturer (3 °C) för att möjliggöra svampodling även under vinterns kallaste månader beräknades den specifika energianvändningen till 53 respektive 16 kWh/m<sup>2</sup>,år för växthus med enkla respektive dubbla glas. För att odla hårdiga respektive halvhårdiga grödor året runt beräknades den specifika energianvändningen med installerad LED-belysning till 101 respektive 399 kWh/m<sup>2</sup> för växthus med enkla glas och 68 respektive 173 kWh/m<sup>2</sup>,år för växthus med dubbla glas. Men även detta tycks vara något energiintensivt och kräva en stor investeringskostnad för belysningen med relativt små produktionsmässiga fördelar.

Då växthusen integrerades mot södersidan av ett småhus förändrades inte temperaturerna tillräckligt för att påverka odlingssäsongerna. Det kan dock vara möjligt att husväggen skapar ett mikroklimat där varmare temperaturer upprätthålls och förlänger säsongen något. Den specifika energianvändningen reducerades dock med upp till 22 % vid upprätthållna minimitemperaturer på 10 eller 20 °C för växthuset med enkelt respektive dubbelt glas.

Slutligen kopplades växthuset mot de olika typerna av värmesystem som var installerade i de båda småhusen. För koppling mot standardhusets frånluftsvärmesystem med en lägre verkningsgrad ökade energianvändningen för låga upprätthållna temperaturer i växthuset med upp till 26 % för växthuset med enkelt glas och 48 % för växthuset med dubbla glas. Vid högre minimitemperaturer reducerades dock den relativa energiförlusten som vid 30 °C landade på 2 % respektive 22 %. Trots att frånluftsvärmepumpen hade en lägre verkningsgrad var systemet alltså inte lika ineffektivt vid högre temperaturer jämfört mot luft/vatten-värmepumparna. Detta dels på grund av deras effektivitet avtar när skillnaden mellan inom- och utomhustemperaturerna ökar men även på grund av att luft/vatten-värmepumparnas värmeåtervinning inte kan utgöra en lika stor del av den totala uppvärmningsenergin.

Passivhusets luft/vattenvärmepump var generellt det mindre effektiva systemet trots att det hade en högre värmefaktor. Detta framförallt på grund av att det levererade en lägre effekt och hade ett kylmedium med högre temperaturgränser för förångning och kondensering vilket innebar att effekterna från värmepumpens värmeåtervinning minskade.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte . . . . .	2
1.2	Frågeställningar . . . . .	2
1.3	Avgränsningar . . . . .	2
1.4	Metod . . . . .	2
1.4.1	Definition biologiska jordbruksmetoder . . . . .	3
1.5	Data . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Kost</b>	<b>4</b>
2.1	Matens miljöpåverkan . . . . .	4
2.2	Näring i växtriket . . . . .	6
2.2.1	Kolhydrater . . . . .	6
2.2.2	Fetter . . . . .	7
2.2.3	Proteiner och aminosyror . . . . .	7
2.2.4	Vitaminer och mineraler . . . . .	8
2.3	Kosthållning och matbehov . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Jordbruksmetoder</b>	<b>11</b>
3.1	Jordens näringsväv . . . . .	11
3.1.1	Succession . . . . .	13
3.1.2	Plöjningens konsekvenser . . . . .	15
3.2	Biologiska jordbruksmetoder . . . . .	16
3.3	Svampar i jordbruket . . . . .	20
3.4	Växthus och säsongsförlängning . . . . .	21
3.4.1	Kallhus . . . . .	21
3.4.2	Svalhus . . . . .	22
3.4.3	Tempererade växthus . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Energibalans för växthus</b>	<b>23</b>
4.1	Begreppsförklaring . . . . .	23
4.2	Teori passivhus . . . . .	24
4.3	Indata . . . . .	26
4.3.1	Växthusmaterial . . . . .	26
4.3.2	Design växthus och småhus . . . . .	27
4.3.3	Belysning och driftfall . . . . .	29
4.4	Resultat . . . . .	31
4.4.1	Temperaturutveckling . . . . .	32
4.4.2	Uppvärmningsenergi fristående växthus . . . . .	35
4.4.3	Uppvärmningsenergi integrerade system . . . . .	37
4.4.4	Belysningsenergi . . . . .	44
4.4.5	Specifik energianvändning . . . . .	45
4.5	Känslighetsanalys . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Säsongsanalys och ytbehov</b>	<b>48</b>

<b>6</b>	<b>Sammanfattning och slutsats</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>Figurer och hedersomnämmande</b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>Appendix A</b>	
<b>10</b>	<b>Appendix B</b>	
<b>11</b>	<b>Appendix C</b>	

# 1 Inledning

Mat är en källa till liv, men också historiskt en av de viktigaste orsakerna till samhällets kollaps. Genom ohållbara jordbruksmetoder, fiske och jakt har människor degraderat jordar, hav och ekosystem och lagt grunden för sin egen undergång[1, s. 6]. Idag ser vi dessa problem växa globalt framförallt genom det intensiva fisket, djurhållningen och jordbruket som utarmar de biologiska resurser och ekosystemtjänster som krävs för att upprätthålla mänskligt liv[2]. Även om vi idag beräknas kunna producera tillräckligt med mat för att föda alla jordens människor, leder sociala, politiska och miljömässiga problem till att stora delar av populationen svälter och att möjligheterna för mänsklighetens långsiktiga överlevnad blir allt mer begränsade[3].

I dagens globala matsystem kan det vara svårt för konsumenten att försäkra sig om kvaliteten på inhandlade råvaror och att produktionen använder sig av miljömässigt och humanitärt försvarbara metoder. De ofta långväga transporterna innebär inte bara direkta fordonsutsläpp, utan även ytterligare miljö- och kvalitetsmässiga kompromisser för att säkerställa produktens hållbarhet och attraktivitet[4]. De olika kvalitetsstämplar som används idag har ofta invecklade specifikationer[5] och bygger på teorier om jordbruk, hälsa och ekologiska processer som människor sällan kan eller har tid att sätta sig in i. Eftersom prissättningen också skiljer sig mellan produkterna finner sig konsumenten ständigt i en komplicerad ekonomisk avvägning med otillräckligt beslutsunderlag. För att kunna ta ett hälso- och miljömedvetet beslut krävs alltså en viss förståelse för matsystemets växande komplexitet, de metoder som används och kanske också i slutändan en förenkling av matsystemet i sig. Om människor börjar odla sin egen mat lokalt får de en bättre överblick över produktionskedjan och möjlighet att minimera de transportrelaterade problemen. Utöver detta får de även en bättre relation till maten de äter och en större möjlighet att påverka matsystemets utveckling. Förhoppningsvis kan detta bidra till att vända dagens trender av ohälsa och matsystemets destruktiva påverkan på världens natur.

Detta examensarbete undersöker möjligheterna att producera en familjs årliga matbehov lokalt i Uppsalas klimat med naturvänliga metoder. Med hjälp av internationella kost- och jordbruksexperter diskuteras plantbaserad (vegansk) kost, biologiska jordbruksmetoder och olika typer av växthusodling. Utifrån diskussionen om kost beräknas sedan en familjs årliga matbehov. I den tekniska delen av rapporten undersöks energibalansen för växthus av olika material för olika installationer och driftfall. Genom simuleringar i energiberäkningsprogrammet VIP energy beräknas den årliga temperaturutvecklingen i växthuset och den specifika energianvändningen för odling av olika typer av grödor. Dessutom undersöks hur temperaturerna och uppvärmningsbehovet förändras när växthuset kopplas mot ett standard- eller passivhus och deras respektive värmesystem. Utifrån studier av olika råvarors produktionseffektivitet och klimatbehov samt de beräknade odlingssängerna för friland och växthusodling undersöks slutligen yt- och energibehov för produktion av en familjs årliga matbehov lokalt i Uppsala.

## 1.1 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka möjligheterna att producera en familjs matbehov lokalt i Uppsalas klimatzon med långsiktigt hållbara metoder. Detta genom anpassad kosthållning, biologiska jordbruksmetoder och olika typer av växthusodling. I den tekniska delen beräknas ett växthus energibalans och temperaturutveckling samt hur dessa förändras då växthuset integreras mot ett standard- eller passivhus.

## 1.2 Frågeställningar

- ◇ Hur ser det årliga matbehovet ut för en familj som följer en stärkelsebaserad vegansk kosthållning?
- ◇ Hur kan denna mat produceras utan att minska jordens organiska innehåll och bidra till övergödningen?
- ◇ Hur ser energibalansen ut för olika typer av växthus och hur förändras den specifika energianvändningen för olika driftfall?
- ◇ Hur förändras temperaturutvecklingen och den specifika energianvändningen om växthuset integreras mot ett vanligt småhus eller ett passivhus? Hur förändras den specifika energianvändningen om växthuset dessutom kopplas mot byggnadens värmesystem?
- ◇ Hur ser odlingssäsongerna ut för frilandsodling och de olika växthussystemen?
- ◇ Hur stor yta krävs för att producera familjens matbehov? Hur förändras yt- och energibehovet för olika typer av växthusodling?

## 1.3 Avgränsningar

Rapporten diskuterar inte distribution eller lagringsmetoder för den producerade maten utan fokuserar på kosthållning och jordbruksmetoder. Det läggs heller inget fokus på att definiera skillnaderna mellan dagens olika jordbruksmetoder som till exempel KRAV, ekologiskt och konventionellt jordbruk då rapporten istället fokuserar på ett alternativ till dessa. För växthuset diskuteras inte ekonomiska aspekter eller eventuell fukthantering och ventilation då fokuset lades på energianvändningen.

## 1.4 Metod

För att undersöka matbehovet för en familj som följer en vegansk kosthållning studerades material från internationella kostexperter; framförallt John McDougall som sitter i "Physicians Committee for Responsible Medicine" (PCRM):s rådgivande kommitté.

För att undersöka hur maten kan produceras med hållbara jordbruksmetoder studerades litteratur från världsledande markbiologer och naturvårdsspecialister; framförallt Elaine Ingham från "Soil Food Web Inc" (SFI). Författaren har även gått en



certifieringskurs i permakulturdessign (PDC) och läst Elaine Inghams onlinekurser om jordens näringsväv. För att beräkna ytbehovet undersöktes ekologisk skördestatistik, utvecklingstider och klimatbehov för ett hundratal grödor (datasektionen 1.5). Ingham, svenska odlare och kontaktpersoner från Jordbruksverket, "Jordbrukstekniska Institutet" (JTI) och SLU kontaktades även via forum, mail och intervju.

Beräkningar på växthusens temperaturer, energibalans och konsumtion genomfördes i simuleringsprogrammet VIP energy 3.1.1. Den grundläggande ritningen för småhusen i de integrerade växthusinstallationerna hämtades från VIP:s småhusexempel. För att sedan undersöka skillnaderna under integration mot ett passivhus förbättrades byggnadens klimatskal och relevanta system för att uppnå FEBY12:s passivhuskrav. Driftfallen för växthusen togs bland annat fram ur den insamlade datan för växternas klimatbehov och driftfallen för småhusen i de integrerade systemen anpassades efter SVEBY:s standard för energiberäkningar i byggnader. De grafer som användes för att illustrera resultaten plottades med hjälp av MatLab R2015b. Genomgående i rapporten har även en del webbaserade verktyg och hjälpmedel använts för att till exempel beräkna kaloriinnehållet i livsmedel, studera klimat och illustrera information.

### 1.4.1 Definition biologiska jordbruksmetoder

I syfte att jämföra och utvärdera olika jordbruksmetoder definierades även begreppet "biologiska jordbruksmetoder". Begreppet har tidigare använts sparsamt på engelska[6], även inom Inghams onlinekurser där det delvis fungerar som en distinktion mot de konventionella jordbruksmetoder som utnyttjar intensiv plöjning, bekämpningsmedel och icke-organiska gödningsmedel (konstgödsel). I rapporten definieras begreppet enligt nedan. En mer utförlig diskussion om biologiska jordbruksmetoder återfinns i sektion 3.2.

**Biologiska jordbruksmetoder** är de jordbruksmetoder som syftar till att återuppbygga jordens näringsväv, öka dess organiska innehåll och förbättra markens biologiska funktioner och näringsomsättning på lång sikt. Detta med hjälp av diversiva levande marktäcken och minimerat utnyttjande av jordbearbetning, bekämpningsmedel och konstgödsel.

## 1.5 Data

Insamlad data med källor för ekologisk skördestatistik, utvecklingstider och klimatbehov för ett hundratal olika växter och ett fåtal hårdiga svampar.

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1hvJ2aQmaUEz2ZBDUJuBQ8Yl\\_4qwY3pcRXDfaSzhq7Ds/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1hvJ2aQmaUEz2ZBDUJuBQ8Yl_4qwY3pcRXDfaSzhq7Ds/edit?usp=sharing)

En mer läsvänlig sammanställning av den viktigaste informationen från växtdatan.

<https://drive.google.com/file/d/0B7H6XlGSkH6WejdpWl94clQ0RUk/view?usp=sharing>

Beräkningar av kaloriinnehåll för olika livsmedelsgrupper, en familjs årliga matbehov och den yta som krävs för att producera maten.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1qdMs3eeocKiafMfYD5PYdGibkh4LDe05TMMWWvhQ22g/edit?usp=sharing>

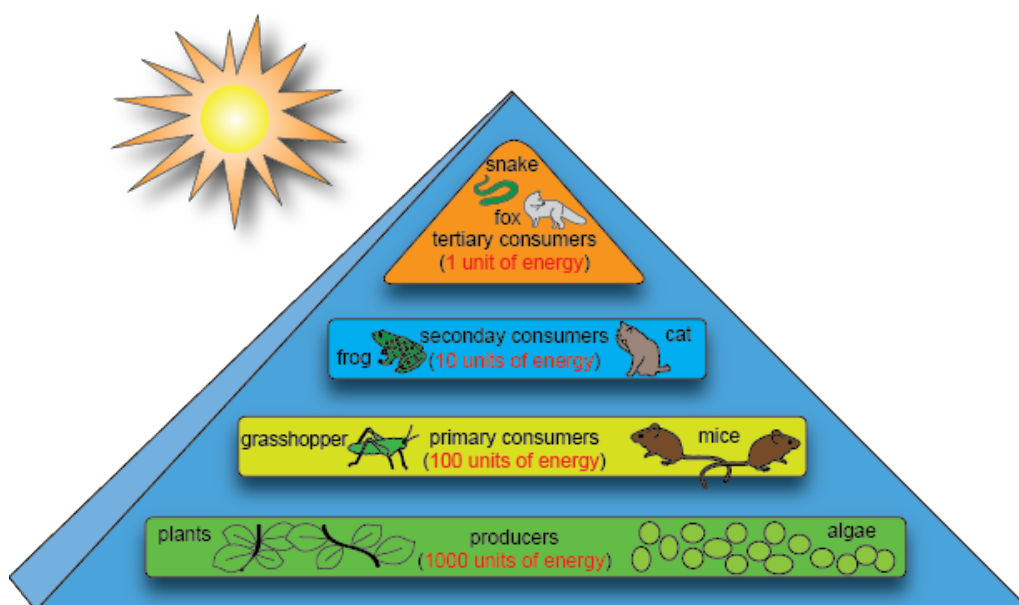
## 2 Kost

För att beräkna hur mycket mat och yta som krävs för att försörja en familj lokalt i Uppsala krävs i första hand ett beslut om vilken typ av kost som ska produceras. I denna rapport kommer undersökningen bygga på en typ av vegankost på grund av hälso- och miljömässiga aspekter som diskuteras övergripande i sektionen. En viktig anledning är att de människor som idag lever längst i världen med god hälsa följer semi-vegetariska kosthållningar och således hämtar en övervägande majoritet av sin näring ifrån växtriket. Dessa människor återfinns i de så kallade blå zonerna som uppmärksammats i bland annat Sardinien, Okinawa, Grekland och Costa Rica[7]. De gamla okinawaborna tillgodogjorde sig till exempel endast ca 3-4 % av kaloribehovet från animalier[8] och några av dem, som till exempel "The Seventh-day Adventists" i Kalifornien har helt uteslutit livsmedelsgruppen[9].

Då matindustrin är en av de största industrierna i världen har frågor om kost påverkats av olika typer av marknadsföring som sällan syftar till att förmedla tydliga svar på matens miljö- och hälsoeffekter. I själva verket har de stora matproducenterna allvarligt anklagats i den prestigefulla journalen *The Lancet*[10] för att använda marknadsstrategier liknande tobaksindustrin som under flera decennier spenderade enorma summor pengar på mytbildning, lobbyverksamhet och vinklade vetenskapsstudier för att dölja rökningens skadlighet[11]. På detta vis menar alltså artikelförfattarna att även de stora matindustrierna arbetat med att destabilisera vetenskapligt konsensus och skapa förvirring hos konsumenterna för att kunna fortsätta sälja sina hälso- och miljöfarliga produkter[10]. Den vetenskap som ligger till grund för olika rekommendationer är alltså inte fri från social påverkan vilket har inneburit att kostfrågor idag blivit mycket komplexa att besvara och att det inte finns utrymme för en fullskalig undersökning i denna rapport. Sektionen fokuserar därför framförallt på att lyfta fram olika livsmedels miljöpåverkan och de hälsoaspekter som ligger till grund för rapportens föreslagna kosthållning.

### 2.1 Matens miljöpåverkan

För att förstå ett livsmedels miljöpåverkan krävs en undersökning av produktionskedjan. I en sådan undersökning studeras framförallt de resurser som krävs och de utsläpp som är kopplade till produktionen av en specifik livsmedelsmängd; oftast mätt i massa eller energi (kalorier). Solen anses vara den primära energikällan i näringskedjan. Eftersom växter tar sin energi direkt från solen kan de ses som producenter på botten av en energipyramid som den i figur 1 (s. 5). För varje steg man sedan går uppåt i näringskedjan förloras ca 90 % av energiinnehållet[12]. Ett djur kan alltså bara tillgodogöra sig en liten del av växtens energi genom matsmältningen och mycket går dessutom åt för djuret att leva sitt eget liv. Att äta vegetariska livsmedel, producenterna i botten av pyramiden, är alltså generellt många gånger mer energi- och yteffektivt än att äta animalier.



Figur 1: Energipyramiden[13].

Utöver den förlorade energin går det även åt andra resurser för att ta hand om djuren. För att producera animalier krävs inte bara det vatten som används för att odla deras foder då de också dricker mycket själva. För att producera 1 kg spannmål går det till exempel åt ca 1 000 liter vatten[14]. Detta är lika mycket som krävs för att producera 1 liter mjölk[15]. 1 kg nötkött kräver dock ca 15 500 liter vatten[15]. Dagens storskaliga djurproduktion genererar även enorma mängder gödsel som orsakar övergödning i sjöar och hav[16, del VI]. Animalisk mat kräver generellt även en ökad användning av fossila bränslen samtidigt som kor också andas ut metangas som påfrestar atmosfären. Totalt släpper boskapsindustrin idag ut mer växthusgaser än hela transportsektorn[16, del II].

Att äta marina djur är heller inte mycket skonsammare mot naturen. Två tredjedelar av världens fiskbestånd är idag överexploaterade eller utfiskade[17]. De fiskemetoder som används kan inte skilja på olika typer av fisk vilket leder till att uppemot 40 % av den globala fångsten avfärdas varje år[18]. Detta innebär även att hela det marina livet tar massiv okontrollerad skada[18]. På grund av det hänsynslösa fisket och samhällets vattenförorenande aktiviteter är många allvarligt oroad över havens framtid[19]. Om havens hälsa tar mer skada är det heller inte bara fisken vi kommer sakna. Då havslevande organismer, framförallt planktopopulationerna idag utgör den största kolsänkan på jorden och frigör ungefär hälften av atmosfärens syre kommer vi ha svårt att överleva på planeten överhuvudtaget om dessa ekosystem kollapsar[20].

Boskapsindustrin tar idag upp nästan en tredjedel av jordens totala landyta och utnyttjar en lika stor andel av vår odlingsbara mark för produktion av foder[21]. Dessutom används en tredjedel av all fångad fisk till att mata landlevande djur[22]. På grund av produktionsineffektiviteten och skalan på miljöförstörelsen har animalieindustrin kommit att ses som ett av världens största miljöproblem[16]. Av dessa anledningar kan vegankost generellt antas vara ett bättre alternativ för miljön. Det bör dock nämnas att dagens jordbruk som det sköts idag, även om det övergår till att producera mer vegetabilier, fortfarande är en stor belastning för miljön. Möjligheterna att producera mat utan att skada jordhälsan, haven och atmosfären diskuteras därför vidare i sektion 3.

## 2.2 Näring i växtriket

För att förstå hur de plantbaserade kosthållningarna är uppbyggda krävs en viss förståelse för de grundläggande näringsämnen, vilka av dem som kan återfinnas i växtriket och om innehållet är tillräckligt för att täcka människans behov. "Physicians Committee for Responsible Medicine" (PCRM) är en ideell medlemsorganisation som förespråkar plantbaserad kost med stöd av över 12 000 läkare. John McDougall sitter i PCRM:s rådgivande kommitté och har skrivit ett flertal böcker där han med stöd från vetenskapliga studier argumenterar för en stärkelsebaserad vegankost. I den resterande delen av kostsektionen diskuteras McDougalls kostrekommendation som även ligger till grund för rapportens föreslagna matproduktion.

### 2.2.1 Kolhydrater

De flesta vegetariska kosthållningarna får majoriteten av sina kalorier från kolhydrater som bildas genom fotosyntesen. Det finns tre olika grundtyper av kolhydrater; sockerarter, cellulosa och stärkelse. Sockerarter är enkla energibärare och återfinns i flera olika former i olika livsmedel. Till exempel fruktos som finns i frukt, laktos som finns i mjölk och glukos som är den vanligaste typen. Glukos i längre kedjor bildar sedan cellulosa och stärkelse. Människan kan inte bryta ned cellulosa i matsmältningen då vi saknar de enzymer som krävs i vårt matsmältningssystem. Men andra djur som har dessa enzymer, till exempel kor och termiter, kan tillgodogöra sig energin från dessa kedjor. Stärkelse består liksom cellulosa också av långa glukoskedjor, men av en sådan typ människan kan bryta ned. De komplexa kolhydraterna ger då energi under en längre tid än de enkla sockerarterna som bryts ned snabbare. Detta leder till en upprätthållt mättnadskänsla och en jämnare energinivå. Stärkelse återfinns i bland annat spannmål, baljväxter och grövre grönsaker som potatis och morötter[23, p.6-7]. Ett livsmedels stärkelseinnehåll är även kopplat till dess glykemiska index (GI). Snabba kolhydrater har höga GI-värden och långsamma har låga. GI-systemet har framförallt använts för att hjälpa diabetiker stabilisera sina blodsockernivåer men är användbart även för de som inte drabbats av sjukdomen. Utöver stärkelseinnehåll beror GI även på andra faktorer som fiberinnehåll, form och industriell behandling. En mald eller mixad produkt har till exempel generellt högre GI än den ursprungliga råvaran[24].

Att omvandla kolhydrater till fett är en process som kallas "de novo lipogenesis". För människor är denna process mycket ineffektiv[25][26] då det går åt ca 30 % av energin i omvandlingsprocessen[27][23, s. 24-25]. Då kolhydrater konsumerades med ett dagligt kaloriöverskott på 50 % för både smala och överviktiga kvinnor, producerades till exempel mindre än 4 gram kroppsfett per dag; resten bränns i aktivitet eller kroppsvärme[28][23, s. 24-25]. Detta innebär att det skulle krävas över åtta månader av ett sådant kraftigt överskott för att bygga 1 kg kroppsfett och att det alltså är mycket svårt att bli överviktig på kolhydrater. Även så kallade LCHF-dieter med ett lågt intag av kolhydrater och ett högt fettintag kan leda till viktnedgång då kroppen i brist på lättillgängliga kolhydrater istället direkt börjar bryta ned kroppens fettlager. Men McDougall menar att detta metaboliska tillstånd (ketos) inte är långsiktigt hälsosamt[29].

### 2.2.2 Fetter

Fett är rikt på kalorier och absorberas effektivt till ett långvarigt energilagrar. Endast 3 % av energin går förlorad då fetterna transporteras via blodomloppet till fettvävnader runtom i kroppen[27]. I en fettvävnadsanalys kan man sedan tydligt se vilka livsmedelstyper personen ätit. Mcdougall säger helt enkelt att "the fat you eat is the fat you wear"[23, p. 26]. De enda fetterna som är essentiella, det vill säga de enda vi behöver men inte kan producera själva, är omega 3 och omega 6 -fetterna. De har fått sina namn från placeringen av dubbelbindningen mellan atomerna i en kolkedja; vid 3:e respektive 6:e positionen från omega- (metyl) änden. Det grundläggande Omega-3 fett kan enbart skapas av växter och kallas alfa-linolensyra (ALA). Mindre fiskar får till exempel i sig ALA genom att äta sjögräs och alger och omvandlar dem sedan till längre fettkedjor, eikosapentaensyra (EPA) och dokosahexaensyra (DHA), som de slutligen lagrar i kroppsfettet[23, s. 121-123]. Om vi sedan äter dessa fiskar överförs omega 3 och 6 -fettet enligt tidigare effektivt till våra vävnader. Det sägs att människan inte kan producera dessa kedjor i tillräcklig utsträckning, men Mcdougall hävdar att detta inte har något stöd i vetenskapliga studier[23, s. 121-123][30][31]. Om man inte svälter menar han alltså att man får i sig tillräckliga mängder av de essentiella fetterna, omega 3 och 6 genom hela livet i en plantbaserad kost. Eftersom de återfinns i höga koncentrationer i nervsystemet har det påståtts att en hög konsumtion av dessa fetter kan hjälpa att skydda hjärnan mot sjukdomar. Men människor som äter mycket fisk har samma risk för demens och alzheimers som människor som inte äter någon fisk alls[32] och studier har visat att risken att drabbas av demens för veganer är ungefär hälften så stor som för människor som äter kött[33][23, s. 121-123].

### 2.2.3 Proteiner och aminosyror

Proteiner består av aminosyror och används i kroppen bland annat för att bygga muskelvävnader, hormoner och enzymer. För att förstå människans proteinbehov hänvisar Mcdougall till studier som genomfördes av William Rose redan på 50-talet då han visade att åtta av dessa aminosyror var essentiella för människan[34]. Rose uppmärksammade även att det endast tog två dagar innan tydliga symptom på utmattning visade sig då någon av dem exkluderats från kosten. För att ta fram ett säkert rekommenderat minsta intag dubblade han sedan de mängder av aminosyrorna han fann tillräckliga i studien. I dagens näringsdebatt talas det ofta om fullvärdiga proteiner och det sägs att proteiner från växtriket inte innehåller tillräckliga mängder av alla aminosyror. Men även om en människas kost enbart består av ett sädeslag, en baljväxt eller en stärkelserik grönsak som till exempel potatis eller ris menar Mcdougall att det fullständiga protein och aminosyrabehovet Rose beräknade tillgodoses med god marginal [35][23, p.92-99].

I ett växande forum för atleter med plantbaserad kost (No Meat Athlete) förklarar kost- och träningsexperten Matthew Ruscigno att det inte finns något syfte för ens atleter att medvetet varken söka eller kombinera proteinkällor[36]. Att få proteinbrist med tillräckligt kaloriintag tycks i själva verket vara nästintill omöjligt. Under en period på nio år uppmärksammades endast 12 fall av denna bristsjukdom som kallas "kwashiorkor" i

hela USA. De drabbade var alla barn under 22 månader gamla som under misstänkt laktosallergi matats med undermåliga alternativ till amningen under de mest intensiva tillväxtmånaderna[37]. Även om det kan finnas växter som innehåller bristfälliga mängder av någon essentiell aminosyra så tycks det åtminstone vara tydligt att de flesta vanliga vegetabiliska råvarorna innehåller samtliga aminosyror med så god marginal att det inte finns något syfte att medvetet söka eller kombinera proteinkällor för att täcka behovet.

*“Contrary to general opinion, the distinction between dietary protein sources in terms of the nutritional superiority of animal over plant proteins is much more difficult to demonstrate and less relevant in human nutrition.”*

---

— Joe Millward, *Encyclopedia of Nutrition*[38].

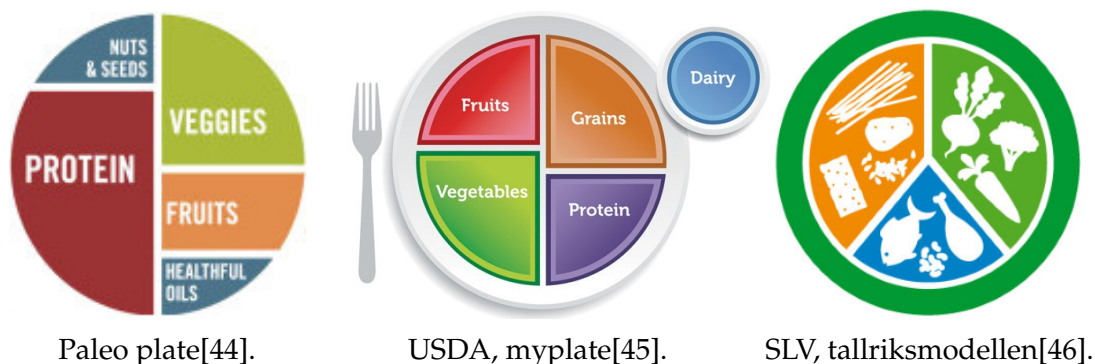
#### 2.2.4 Vitaminer och mineraler

Vitaminer är essentiella organiska föreningar kroppen behöver i små mängder. Av de 13 kända vitaminerna är det två stycken som växter inte kan skapa: Vitamin B<sub>12</sub> och vitamin D. Vitamin D är egentligen ett hormon som vår kropp producerar när huden kommer i kontakt med solljus[23, p.150]. Även djur och svampar[39, s. 12] kan producera detta hormon med en liknande process som vi sedan kan tillgodogöra oss om vi äter dem. Enligt Mcdougall är risken för en annars hälsosam vegan med rimlig kosthållning att utveckla vitamin B<sub>12</sub>-brist mycket låg. Detta för att vi är så effektiva på att hushålla med vitaminen och också har ett försvinnande litet behov; 3 µgram per dag. Utan något nytt upptag kan vi recirkulera och återanvända det lagrade näringsämnet i över 20 år. Om funktionen i kroppen av någon anledning inte fungerar beräknas vitaminlagret räcka i tre år. Trots att B<sub>12</sub> framförallt återfinns i animalier är det egentligen bakterier som producerar ämnet. De lever i djurens tarmsystem och avföring och även i jorden där plantorna växer. Om vi har mer kontakt med levande jordar och inte rengör våra grönsaker så ordentligt kan vi alltså ta upp små mängder av vitaminen, men det är inte alls säkert om dessa mängder skulle komma att vara tillräckliga. Mcdougall rekommenderar därför veganer att ta B<sub>12</sub>-tillskott eller äta B<sub>12</sub>-förstärkta livsmedel motsvarande ett intag på 5 µgram per dag[23, 166-168].

Mineraler återfinns i första hand i jorden. Växterna tar sedan upp dem i sina vävnader när de växer. Mer om hur detta går till finns att läsa i sektion 3. Om man spenderar lite tid i solen eller äter svamp för att täcka sitt behov av vitamin D, kan en plantbaserad kost vara en utmärkt källa för alla mineraler och näringsämnen man behöver förutom vitamin B<sub>12</sub>[23, s. 150][40][41]; inga ytterligare tillskott behövs alltså och det är dessutom enkelt att täcka behoven. En mängd studier har även visat att hälsoriskerna relaterade till de flesta typer av koncentrerade vitamintillskott ofta överväger de eventuella fördelarna med preparaten[23, s. 152-155][42][43].

## 2.3 Kosthållning och matbehov

För att kunna beskriva en kostrekommendation behövs ett klassificeringssystem för olika typer av råvaror. Det system som används här bygger på Mcdougalls teorier och placerar stärkelserika råvaror i en egen kategori[23, p. 7]. De flesta kostrekommendationer sätter protein som en egen kategori (figur 2). Men eftersom både animalie- och plantbaserade dieter tycks uppfylla människans proteinbehov utan medveten ansträngning kommer denna kategori strykas.



Figur 2: Tallriksmodeller från olika kostrekommendationer.

Istället kommer kategorierna definieras enligt nedan. För vissa av kategorierna listas även exempel på de råvaror som återfinns inom respektive livsmedelsgrupp. Annars följer en kort kommentar om näringsinnehållet.

**Stärkelse** Kalori- och stärkelserika basvaror.

**Spannmål** Korn, bovete, majs, hirs, havre, ris, råg, vete.

**Baljväxter** Bönor, linser, ärtor.

**Stärkelserika grönsaker** Jordärtskocka, palsternacka, potatis, rovor, svartrot, sötpotatis, vintersquash (acorn, banana, butternut, hubbard).

**Grönsaker** Gröna gula och orangea, kalori- eller stärkelsefattiga grönsaker.

Bok choy, blomkål, broccoli, brysselkol, celery, chili, eggplanta, gräslök, gröna bönor, kål, lök, morötter, okra, paprika, purjolök, rabarber, rädisor, rödbetor, sallad, sommarsquash (zucchini), spenat, vitlök.

**Frukt & bär**

Ananas, apelsin, aprikos, banan, blåbär, krusbär, körsbär, linon, mango, melon, papaya, plommon, äpple.

**Nötter & frön** Innehåller mer fett och protein.

**Oljor & fett** Består av koncentrerat fett.

**Animalier** Innehåller mindre kolhydrater och mer kaloritäta fetter och proteiner.

Fisk, kött, mejeri, ägg.

Utifrån detta klassificeringssystem beskrivs Mcdougalls stärkelsebaserade kostrekommendation[23, s. 5] enligt nedan (tabell 1). Mcdougall anser alltså att varken fetter, oljor eller ett dagligt intag av frön eller nötter är nödvändigt för att möta näringsbehoven. Det ska dock nämnas att B<sub>12</sub>-behovet inte säkerställs i denna kosthållning då det antas att familjen tillgodosgör sig vitaminen via kosttillskott.

Tabell 1: Mcdougalls kostrekommendation[23, s. 5].

Kostkategori	Rekommenderad andel [%]
<b>Stärkelse</b>	70
<b>Grönsaker</b>	20
<b>Frukt &amp; bär</b>	10
<b>Nötter &amp; frön</b>	0
<b>Oljor &amp; fett</b>	0
<b>Animalier</b>	0

En familj på fyra personer beräknas ha ett dagligt kaloribehov på 9 273 kcal[47, s. 4]. För att tillfredsställa detta behov beräknades det genomsnittliga kaloriinnehållet för de olika matgrupperna med hjälp av [www.100gram.se](http://www.100gram.se) och [www.caloriecount.com](http://www.caloriecount.com). Beräkningarna återfinns i datasektionen 1.5 och resultaten står listade i tabell 2. Värdena justerades även något för att anpassas efter vilka råvaror som är vanligast inom gruppen. Eftersom potatis är mycket produktionseffektivt och bör utgöra en något större del av stärkelsebehovet, men samtidigt innehåller något mindre kalorier än spannmål och baljväxter, sänktes även stärkelsegruppens beräknade kaloriinnehåll något (datasektionen 1.5).

Tabell 2: Det genomsnittliga kaloriinnehållet i olika matgrupper, något justerat efter antaganden om matvanor (datasektionen 1.5).

Kosttyp	Snitt kalorier [kcal/100g]		Kommentar
	Från data	Justerat	
Stärkelse	99.18	95	En större andel potatis
Grönsaker	32.21	30	Den kaloritäta vitlöken äts ej i stor mängd
Frukt	51.13	51	–
Kött	172.58	170	Äter något mer kyckling och fisk
Mjolk	56.25	56	–
Oljor & nötter	685.67	700	Konsumerar något mer olja än nötter

Utifrån Mcdougalls kostrekommendation (tabell 1) och de olika livsmedelskategoriernas kaloriinnehåll (tabell 2) beräknades slutligen familjens matbehov till 4 362 kg (datasektionen 1.5).

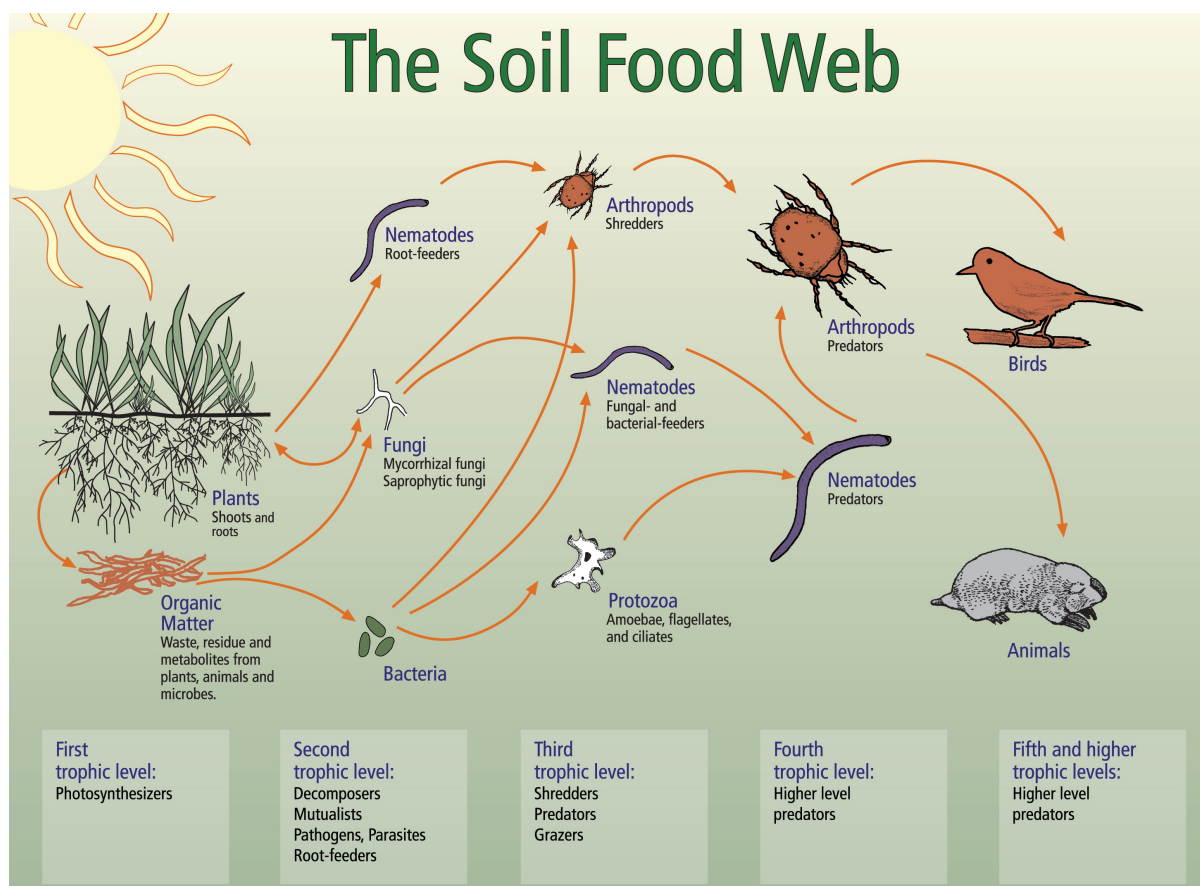


### 3 Jordbruksmetoder

Jordbruket är en av de mest miljöpåfrestande delarna av matsystemet och en viktig orsak till näringsläckaget som övergöder hav och vattendrag[48]. En viss mån av näringsläckage kan även ske i naturliga ekosystem, men denna typ av övergödning sker så långsamt att den mäts i geologiska tidsmått[49]. Under trycket från vår intensiva matproduktion har vi under de senaste 150 åren förlorat ungefär hälften av det livsupprätthållande jordlagret, bland annat på grund av erosion, näringsutlakning och försaltning[50]. I ett sökande efter ett mer hållbart jordbruk har ett flertal alternativa jordbruksmetoder utvecklats. FN:s Conservation Agriculture[51] (FAO), Permakultur[52] (arbetar inte bara med jordbruksmetoder), Natural Farming[53] och Holistic Management[54] är några exempel på detta som diskuteras vidare i sektion 3.2. Men först diskuteras de markbiologiska teorier dessa metoder grundar sig på, framförallt utifrån material från mark- och mikrobiologen Elaine Ingham. Under 80-talet var Ingham med i den studie[55] där de kartlade funktionen hos alla de organismer som ingår i jordens näringsväv ("the soil food web") som illustreras i figur 3 (s. 12). Utöver sitt omfattande vetenskapliga arbete[56] har hon även författat delar av USDA NRCS:s referegranskade "Soil Biology Primer" (2000), varit behjälplig i den markbiologiska delen av boken "Teaming with Microbes" (2010) och drivande i FN:s projekt "The International Year of the Soil" (2015). Slutligen har även Jordbruksverket, Jordbrukstekniska Institutet (JTI) och SLU kontaktats för att höra deras syn på dessa frågor och vad de anser är viktiga aspekter för att förbättra hållbarheten i svenska jordbruk.

#### 3.1 Jordens näringsväv

Jorden är fylld av levande organismer som på olika sätt samspelar med det övergripande ekosystemet. I en tesked jord kan man återfinna en miljard organismer[57][58, s. 19] från åtminstone 20 000-30 000 olika arter[58, s. 24]. Jordens näringsväv är en sammansättning av en mängd olika näringskedjor som alla påverkar miljön i marken på olika sätt. I väven ingår bland annat en mängd olika typer av mikroskopiska bakterier, svampar, nematoder och leddjur men även större maskar, fåglar och plantorna som växer i jorden. Maskar och leddjur hjälper till exempel till med att skapa gångar och struktur som syresätter jorden och skapar porer som binder vatten[57]. Vissa bakteriekulturer kan fixera kväve ur atmosfären medan andra omsätter jordens svavel i organiska sammansättningar[57][58, s. 46-48]. Ingham menar att en balans av alla dessa organismer är nödvändigt för att jorden ska kunna ge oss rent vatten, ren luft och hälsosamma växter[59][60, kap. 2]. Det möjliggör också för växterna att ta upp ett balanserat intag av alla de 42(+) essentiella näringsämnen[61, del 2, min. 7:35] som krävs för växtens utveckling vilket studier även visat påverkar deras smak och hälsovärde då vi sedan äter dem[62][63]. Allt från näringsomsättning och aggregatbildning till absorption av vatten[64], kväve och kol från atmosfären sker i ett samspel mellan organismerna i jordens näringsväv[57][59][60][65]. Plantorna som växer i jorden är alltså fullständigt beroende av de marklevande organismerna och kan därför inte studeras i isolation från det komplexa ekosystem som upprätthåller deras liv.



Figur 3: Jordens näringsväv (The Soil Food Web)[59].

Energien i jordens näringsväv kommer i första hand från solen som växter sedan omvandlar till olika typer av sockerarter, proteiner och enzymer via fotosyntesen. Därefter utsöndrar växten omkring 30-40 % av dessa organiska sammansättningar via rotexudat och delar alltså med sig av sin värdefulla energi till marklivet genom vad som kommit att kallas "the liquid carbon pathway" (direktöversatt till kolvätskans väg)[66, s. 15, 23]. Anledningen till att växterna matar marklivet med sin egen energi är för att de är beroende av de marklevande organismerna som skapar rätt klimat och struktur i jorden, skyddar växten från angrepp och omsätter näring[59][65]. Växterna kan alltså inte bryta eller ta upp näring ur jorden utan hjälp från de marklevande organismerna som omsätter dem som byggstenar i sina kroppsvävnader. Då organismen sedan dör om till exempel en predator äter den, frigörs mineralerna till markvätskan i en växtupptaglig form via avföringen. Denna process sker framförallt vid växtens rötter i den så kallade rhizosfären där markorganismerna har direkt tillgång till energin växterna bjuder på via rotexudaten[59]. Den ständiga kampen mellan organismerna i jorden leder således till en kontinuerlig tillförsel av plantupptaglig växtnäring.

Eftersom växter behöver försvinnande små mängder av de mineralämnen organismerna bryter ur jorden och framförallt består av kol och vatten kan man säga att plantor snarare växer ur luften än ur jorden[52, s. 79]. Utifrån omfattande studier av mineralinnehållet i världens jordar[67] menar Ingham att det inte finns någon jord på planeten som inte

innehåller tillräckliga mängder av dessa mineralämnen för att odla växter och att vi därför egentligen inte behöver tillföra ytterligare näring via gödsel[61, del 1, min. 4:30].

Inom jordbruket talas det ofta om ett underskott på näringsämnen som till exempel fosfor (P). Svenska jordar innehåller i genomsnitt 530 mg P/kg[68, s. 9] ( $P_{konc}$ ) och kan antas vara åtminstone 10 meter djupa[69, s. 10] ( $d_{jord}$ ), ett djup rötter från till exempel flerårigt råggräs kan nå[70, min. 61:30]. Den genomsnittliga densiteteten ( $\rho_{jord}$ ) kan antas vara ca 2 ton/m<sup>3</sup>[71] och den genomsnittliga bortförseln av fosfor via skörden i Sverige ( $B_p$ ) är idag ca 12 kg P/ha,år[68, s. 9]. Utöver detta får vi ett nedfall av fosfor från atmosfären ( $N_p$ ) som uppmätts till 0,2-1,2 kg P/ha,år[68, s. 15], vilket kan antas resultera i ett nettotillskott på ungefär 0,5 kg P/ha,år om jorden har en utvecklad näringsväv som binder näringsämnena i marken. Utifrån dessa data är det slutligen möjligt att beräkna ungefär hur länge fosforen i en genomsnittlig svensk jord kan väntas räcka för kontinuerlig skörd utan gödsling enligt

$$\underbrace{d_{jord} * A_{jord} * \rho_{jord} * P_{konc}}_{\text{Jordens totala fosforinnehåll}} + t(N_p - B_p) = 0 \iff \quad (1)$$

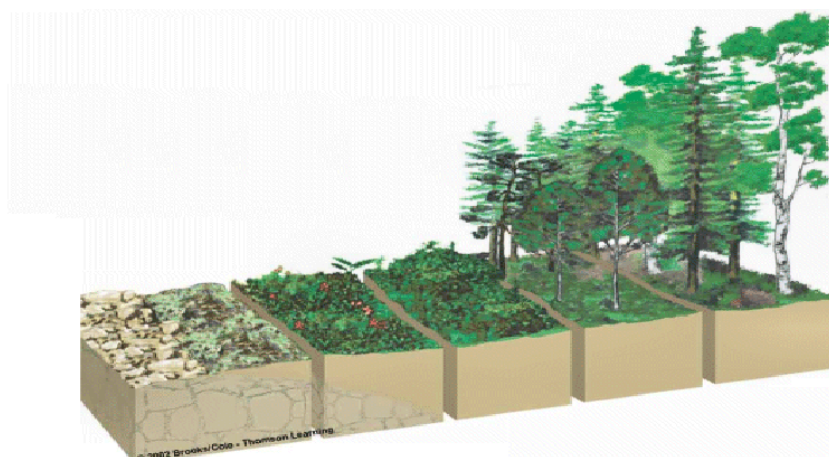
$$t = -\frac{d_{jord} * A_{jord} * \rho_{jord} * P_{konc}}{N_p - B_p} = \frac{10 * 10\,000 * 2\,000 * 0,000530}{0,5 - 12} = 9\,217 \text{ år}$$

Under dessa årtusenden kommer det dock även tillkomma näring utifrån via olika delar av näringsväven, mykorrhizanätverk, djur och vattendrag. Dessutom kan berggrundens mineralpartiklar brytas ned av mikroorganismerna vilket innebär att ytterligare näringsämnen tillförs systemet. Alltså bör fosforinnehållet i svenska jordar kunna räcka i tiotusentals år även om vi tar ut kontinuerlig skörd, själva inte tillför något och återför en relativt låg andel av skörderesterna till marken. Självklart är det viktigt att återföra den bortforslade näringen över tiden, men om Ingham och hennes kollegor har rätt tycks det idag vara en högre prioritet att återuppbygga jordens näringsväv som bryter och tillgängliggör jordens totala näringslager samt binder den näring som annars läcker ut i våra vattendrag och övergöder haven. Ju mer energi och kol växtligheten binder från atmosfären, desto mer mat får jordlivet via kolvätskans väg. Detta leder i sin tur till att livet ständigt utvecklas i en ostörd jord.

### 3.1.1 Succession

I en mark utan biologiskt liv kan det ta tusentals år för naturen att etablera sig och utveckla en växtförsörjande näringsväv[72]. Denna process kallas primär succession. Men eftersom de jordar vi odlar i idag redan har ett etablerat markliv beskrivs näringsvävens utveckling av den sekundära successionen som en återhämtning från en kraftig störning i ekosystemet[72]. I dessa situationer tar det ett hundratal år för en jord som knappt bekläts av växtlighet (t.v i figur 4 s. 14) att utvecklas mot en urskog där ekosystemet etablerat en mer stabil artsammansättning (klimaxstadium). I en tidig successionsjord saknas de rötter, biologiska slem och svampmycel som krävs för att bilda de mikro- och makroaggregat som ger marken struktur och jordstabilitet. PH:t ligger oftast över 7 då det

slem bakterierna utsöndrar för att hålla sig fast i jorden är basiskt[58, s. 110-112]. Det är i dessa utsatta situationer de hårdiga pionjärväxterna och ogräsen tar fart för att starta den sekundära successionsprocessen. I boken "Weeds, Guardians of the Soil"[73] beskriver Joseph Cocannouer hur ogräsens hårdiga rötter luckrar upp och omsätter näring ur den störda jorden. Deras snabba tillväxt täcker snabbt marken så att återhämtningen kan börja och när de sedan dör återförs deras kolrika biologiska vävnader till jorden och matar det liv som för ekosystemet vidare i successionen. Inästa steg etablerar sig de grässorter, annueller och grönsaker som också trivs i bakteriedominerade jordar[58, s. 110-112][74].



**Bacteria ...A few Fungi.....Balanced .....More Fungi..... Fungi**

<b>Bacteria:</b>	<b>10 µg</b>	<b>100 µg</b>	<b>500</b>	<b>600 µg</b>	<b>500 µg</b>	<b>700 µg</b>
<b>Fungi:</b>	<b>0 µg</b>	<b>10 µg</b>	<b>250</b>	<b>600 µg</b>	<b>800 µg</b>	<b>7000 µg</b>

Figur 4: Växtligheten utvecklas från barmark till skog genom succession och den ökande mängden svampar i jorden[75].

Då organismerna äter varandra i marken frigörs kvävet i avföringen i form av ammonium ( $\text{NH}_4$ ). I en bakteriedominerad jord oxideras eller omvandlas ammoniumet dock snabbt till nitrater ( $\text{NO}_3$ ) av nitrifierande bakteriekulturer som trivs i basiska jordar. De växter som återfinns i de tidigare successionsstadierna är således bättre på att ta upp sitt kväve i nitratform[58, s. 110-112][74]. När den organiska massan i jorden ökar i takt med att ogräsen och de tidiga grödorna binder mer kol och energi till jorden kan sedan svampsporerna börja gro. Svamparna fyller många funktioner i näringsväven och spelar en viktig roll i jordens succession. Mykorrhizasvampar kan till exempel koppla samman jordens växter i symbiotiska nätverk där näring och vattenresurser fördelas över stora områden vilket kan ha dramatiska effekter för fertiliteten[58, s. 68-69][76]. De kan till och med skydda växterna från angrepp genom att fånga in och döda nematoder med hyferna[58, s. 67]. Mykologen Paul Stamets kallar dessa nätverk för jordens naturliga internet[77]. Över 90 % av alla jordens växter kan bilda denna typ av symbiotiska relation till mykorrhizasvampar som också visat sig ha varit avgörande för växternas förmåga att ta sig upp från vattnet och börja leva på land för 450 miljoner år sedan[58, s. 68-69]. Men svampar är också utmärkta nedbrytare[58, s. 64-65]. Då deras enzymer är sura[57] leder en ökad svamppopulation till att den tidigare basiska bakteriedominerade jordens PH sjunker och hamnar under 7[58, s. 66-67]. I dessa förhållanden trivs inte längre de nitrifierande bakteriekulturerna i samma utsträckning och kvävet lämnas då kvar i ammoniumform[58, s. 66-67]. Denna kväveform

är fördelaktig för senare successionsgrödor som till exempel många perenna buskar och träd som då börjar etablera sig i ekosystemet[58, s. 110-112][74]. Perennerna ger ett flerårigt samarbete till mykorrhizasvamparna och matar dem med material rikt på lignin och cellulosa som andra organismer har svårt att bryta ned. Detta leder till att svamppopulationen fortsätter att öka i förhållande till bakteriepopulationen och att växtligheten slutligen går mot skog[58, s. 110-112] (figur 4). Genom successionen utvecklas ekosystemet alltså i ett komplext samspel mellan organismer som lever både ovan och under marken. Skadar man en del av utvecklingen, skadar man även den andra; jorden och växterna är delar av samma övergripande system.

### 3.1.2 Plöjningens konsekvenser

Livet i jorden är dock inte alltid fördelaktigt för växterna. Eftersom bakterier i första hand föder sig själva, är mer mobila och har en högre metabolism kan de konsumera markens tillgängliga näringsämnen snabbare än växterna. Till exempel kan en jord som är rik på kolhaltigt biologiskt material men har ett lågt kväveinnehåll driva en bakterietillväxt som konsumerar det kväve som finns tillgängligt i jorden så att växterna får bristsjukdomar och tillväxten hämmas[52, s. 79-81][60, kap. 4][78, s. 8]. Detta kväveunderskott kallas nettofastläggning och sker framförallt då ett överskott av kolrikt material vänds ner i jorden[79, s. 28]. Ett annat vanligt exempel är det motsatta förhållandet som sker när ett kväveöverskott tillförs via gödsel. Då börjar bakterierna istället konsumera markens organiska innehåll vilket leder till att kolet tas upp i kortlivade bakteriekulturer och sedan oxideras tillbaka till atmosfären via celandningen[52, s. 79-81]. Samtidigt frigörs stora mängder näringsämnen vilket på kort sikt kan öka tillväxten. Detta kallas nettomineralisering och anses vara positivt inom det konventionella jordbruket[79, s. 28]. Men med tiden kommer en stor mängd av jordens kolreserver försvinna vilket är en viktig anledning till att konventionella jordbruksjordar är kända för sina bristfälliga organiska innehåll och låga humushalter[52, s. 79-81][60, kap. 4, 8]. Om förhållandet mellan kol och kväve (kol-kvävekvoten) rubbas resulterar det alltså i att opportunistiska bakteriekulturer tar över i jorden. Och eftersom bakterierna i sin tur påverkar jordens biologiska funktioner och är föda för andra arter sätter störningen hela näringsväven ur balans.

Då jorden plöjs förstörs dess biologiskt uppbyggda struktur och därmed även organismernas habitat[78, s. 9]. Eftersom kolrikt biologiskt material och syre vänds ner i jorden börjar även de opportunistiska bakteriekulturerna växa explosionsartat. Detta leder till att predatorerna i högre utsträckning kan finna sina byten och att näringsomsättningen ökar. För att försörja den kraftiga bakterietillväxten konsumeras inte bara det nedplöjda organiska materialet; växtresterna, de strukturbildande biotiska slemmen, rötterna och svampmycelen; utan även det kväve som finns tillgängligt i jorden[60, kap. 4][78, s. 8]. Detta tycks vara en viktig anledning till att konventionella jordar idag har ett ständigt behov av kvävegödsling[52, s. 79-82][60, kap. 8]. Under den första säsongen i en nyplöjd jord leder detta till att ett överflöd av näringsämnen frigörs och att växtligheten tar fart. Men växterna kan inte ta upp all den frigjorda näringen som därför till stor del sköljs bort med regnet och bidrar till övergödningen. Nästa gång jorden plöjs mineraliseras ytterligare delar av den biologiska massan och med tiden förbrukas slutligen

en betydelsefull andel av jordens organiska reserver[52, s. 81-82][60][78]. Plöjningen ger alltså en ökad fertilitet på kort sikt, men den kraftiga störningen tycks samtidigt föra jorden bakåt i successionen, förstöra det utvecklade marklivet och omvandla biologin till geologi. I slutändan menar forskare att detta leder till en kraftigt hämmad näringsomsättning, jordstabilitet och infiltreringsförmåga; kompaktion, erosion och näringsläckage; en hämmad näringsväv, anaeroba förhållanden och slutligen en försämrad växthälsa[52, s. 81-82][57][60, kap. 4-8][78].

När mikroorganismerna bryter jordens organiska reserver frigörs dessutom en betydelsefull mängd kol till atmosfären via celandningen[60, kap. 7]. Rattan Lal från Carbon Management and Sequestration Centre menar att världens jordar idag förlorat omkring 50-70 % av sitt ursprungliga kolinnehåll[80]. Eftersom jorden är den näst största kolsänkan i världen efter haven menar forskare från Rodale Institute[81] att vi kan binda hela det atmosfäriska koldioxidöverkottet, motverka den globala uppvärmningen och nå de satta klimatmålen om vi övergår till mer hållbara jordbruksmetoder och återuppbygger jordens organiska reserver i global skala.

## 3.2 Biologiska jordbruksmetoder

Idag har det utvecklats många alternativ till det konventionella jordbruket som alla på något sätt försöker återuppbygga markens organiska innehåll och utveckla dess biologiska funktionalitet. I denna sektion diskuteras framförallt de metoder som används inom FN:s Conservation Agriculture (FAO), Permakultur, Natural farming och Holistic Management som tycks vara några av de mer välkända systemen. Dessa metoder kommer härnäst benämnas "biologiska jordbruksmetoder" (se definition 1.4.1) på grund av att de följer ett antal gemensamma metodologiska hållpunkter: Utövare av dessa metoder är alla eniga om plöjning och störning av jorden bör minimeras[51][52, s. 81-82][82, s. 33-34][83] av de anledningar som diskuterades i sektion 3.1.2. Dessutom anser de att jorden alltid ska vara täckt av levande växtlighet och aldrig bör lämnas bar[51][52, s. 91-95][82, s. 33-34][84]. Utan fotosyntetiserande växtlighet kan inte markorganismerna tillgodogöra sig näring från växternas rotexudat och den bara jorden utsätts dessutom för vind, regn och gasande sol. I de biologiska odlingssystemen ses alltså växterna som en källa till markens fertilitet då de föder och skyddar de mikroorganismer som driver den naturliga näringsomsättningen. En sista hållpunkt som lyfts fram i de biologiska odlingsmetoderna är diversitet[51][82, s. 33-34][83]. Inom Permakultur förespråkas till exempel ofta skogsträdgårdar som ett av de mest utvecklade och hållbara biologiska systemen som också kan producera höga och diversiva skördar med relativt låg arbetsinsats[52, kap. 10][85]. Ett sådant system kräver dock en del planering och kan ta lång tid att etablera.

Det är dock inte alltid nödvändigt att efterlikna diversiteten i så pass utvecklade ekosystem för att skapa ett produktivt biologiskt jordbruk. Enklare system som Fukuokas korn- och risodlingar sägs ha gett skördar i nivå med Japans högsta[82, s. 1] med endast ett kvävefixerande marktäcke växandes under spannmålen[82, s. 42-46]. Enkelheten i Fukuokas system är förmodligen anledningen till att många större producenter som utövar biologiska odlingsmetoder valt att odla likt Fukuoka; med diversiva marktäckare under grödorna i en miljö som mer liknar en ängsmark än skog[51][83][86]. Detta är även

den metod Ingham förespråkar för odling av annueller. Hon föreslår ett marktäcke med djupgående rötter bestående av 25 olika sorters lågväxande perenner som grödorna sedan kan växa upp igenom[87]. Ingham tillhandahåller även en lista på lämpliga arter för amerikanska förhållanden[88] som med vissa justeringar bör kunna översättas till svenskt klimat. Marktäckare är inte bara bra för jordhälsan utan fungerar också som ett skydd mot ogräs då de har svårt att etablera sig i en redan bevuxen jord. Odlar man med ett sådant typ av system är det möjligt att producera skördar som konkurrerar med konventionella nivåer helt utan eller med betydelsefullt reducerade mängder tillsatser[51, kap. 6][61, del 1, min. 4:30, del 6, min. 9:25][82, s. 1, 42-46][83][84, min. 19, 37:20][70, min. 54][89][90]. Det kan dock ta tid innan jordens biologiska funktioner och fertilitet återställs beroende på markens tidigare hälsa[90].

För att påskynda näringsvävens återhämtning och anpassa markmiljöns effektiva successionstadiet (förhållandet mellan bakterier och svampar och den dominerande kväveformen) för att passa de grödor som odlas har Ingham och hennes organisation Soil Food Web Inc. genomfört omfattande studier på effektiviteten av olika kompostlösningar[91]. Det viktigaste med dessa produkter är alltså inte vilka näringsämnen de innehåller, utan biomassan och diversiteten inom de olika organismgrupperna som ligger till grund för jordens biologiska funktionalitet. Med hjälp av dessa högkvalitativa kompostprodukter menar de att det är möjligt att skapa en så pass fördelaktig biologisk miljö för växterna att skördarna når högre än konventionella system redan under första säsongen de appliceras, utan ytterligare tillsatser[91].

Det tycks dock fortfarande kvarstå vissa utmaningar inom den biologiska jordbruksvärlden, till exempel när det kommer till skörd av rotfrukter. Konventionellt kan dessa skördas med hjälp av maskiner som helt enkelt drar upp hela matjordslagret och sorterar ut potatisen. I de biologiska systemen är denna metod av förklarliga skäl ohållbar, men det går till exempel att odla potatisen direkt på jorden under ett lager av halm istället vilket förenklar skörden[83, min. 47:30]. För alla grödor som skördas ovan jord tycks dock de biologiska systemen fungera med i stort sätt samma metoder. För att så grödorna med minimal jordbearbetning kan man försiktigt skära upp fåror i marken, placera ut fröna och täcka igen jorden; idag finns det maskiner som är anpassade för detta[86, del 4][92]. I vissa fall kan man också helt enkelt prida ut fröna direkt in under marktäcket, men då behövs ofta en större mängd frön eftersom de riskerar att ätas upp av djur eller helt enkelt inte gro.

En sista uråldrig metod för sådd som återupptäcktes av Fukuoka är användningen av så kallade fröbollar ("seed balls")[82, s. 43-44]. Genom att kapsla in fröna i en boll av lera, sand och lite strukturbildande kompost skyddar man dem från angrepp och säkerställer en viss mån av jordkontakt. För att producera jordbollar går det åt ungefär fem gånger mer jordmaterial än frön[93] vilket motsvarar 1-2 kubikmeter per hektar för de flesta spannmålen[94][95]. Då Fukuoka med mycket enkla metoder gjorde fröbollar för sådd av en dryg hektar på bara en dag[82, s. 44] bör det gå att producera dessa för sådd även i större skala med moderna hjälpmedel. Inkapslingsmaterialet kan även ersättas mot olika typer av biologiskt avfall som på så vis återförs till jorden. Denna metod gör det även enkelt att så in i växande grödor innan de skördas. I Fukuokas odlingar planterade han till exempel sitt korn in i det redan växande riset så att kornet börjat växa ett par centimeter innan riset

sedan skördades[82, s. 42]. Kornet tog sig upp utan problem trots det begränsade solljuset och att marken trampades på i samband med skörden av riset. På så vis fick kornet ett försprång mot den konkurrerande växtligheten. Det överblivna strået från risplantan spreds sedan ut på fältet igen som näring till jordens näringsväv och det växande kornet. Totalt beräknade Fukuoka att det krävdes mindre än en veckas arbetstid för en person att genomföra allt arbete som krävs för att odla två uppsättningar spannmål på 1 000 kvadratmeter, även om mycket enkla verktyg användes[82, s. 3].

I en jordbruksmark med ett utvecklat biologiskt system kan näringsväven anses sköta en betydelsefull del av bondens arbete när det kommer till näringsomsättning, jordbearbetning, ogräs- och vattenhantering. I ett sådant jordbruksystem menar Ingham således att det är möjligt för bonden att spara både tid och pengar[61, del 1, min. 3:50]. Detta tycks även ha stöd från de svenska bönder som slutat plöja sina jordar[96]. Men faktorer som till exempel näringsvävens utveckling, tidsperspektiv, metodval, klimatförhållanden, investering- och utbildningsbehov kan dock påverka den ekonomiska kalkylen vilket komplicerar frågan om vilket system som är mest vinstdrivande[97]. Så länge bondens ekonomi inte försämras kan de biologiska systemen dock väntas leda betydelsefulla miljömässiga fördelar (en sammanfattning av dessa återfinns i tabell 3, s. 19).

Slutligen menar FN att deras biologiska jordbrukssystem Conservation Agriculture som diskuterades i sektionens inledning kan appliceras i alla världens jordbrukslandskap[51] och de utövas idag över i stort sett hela världen, inklusive Finland där utvecklingen varit explosionsartad under de senaste åren[98]. Det svenska klimatet tycks alltså generellt inte vara något hinder för att implementera dessa metoder och förbättra jordhälsan.

I tabell 3 (s. 19) beskrivs de övergripande skillnaderna mellan de metoder som används inom dagens konventionella jordbruk och de biologiska odlingssystemen. Dessutom beskrivs uppmärksammade konsekvenser som följer metodernas utövande på kort och lång sikt. Då Jordbruksverket kontaktades för att höra deras syn på dessa teorier svarade de utan att ge någon mer djupgående förklaring:

*“Det finns oss veterligen inte några belägg för att odling kan ske helt utan tillförsel av näring med bibehållen skördenivå. En sådan lösning är helt enkelt för bra för att vara sann”*

---

— Jordbruksverket, *Fråga oss*[99]

I deras rapport “Ett klimatvänligt jordbruk 2050” (2012) bedöms deras föreslagna åtgärder inte kunna öka det genomsnittliga kolinnehållet i svenska jordar till 2050[100, s. 69]. De anser att det i stor utsträckning saknas kunskap om hur markens kolinlagring kan öka[100, s. 89] och beräknar endast en potentiell reduktion av utsläppen[100, s. 69]. I denna viktiga rapport, som också ligger till grund för naturvårdsverkets, trafikverkets och energimyndighetens arbete, kan man även läsa att ökad nedplöjning av organiskt material föreslås som en åtgärd för att återuppbygga markens organiska kapital[100, s. 46]. Enligt diskussionen i sektion 3.1.2 tycks dock detta inte vara en långsiktigt fungerande metod.



Tabell 3: Generell jämförelse av metoder och konsekvenser för biologiska och konventionella odlingssystem.

	Biologiska System	Konventionella System
Metod	<p><b>Plöjningsfritt</b> minimal störning av jorden.</p> <p><b>Skydda jorden</b> med (lågväxande, perenna) diversiva levande marktäckan.</p> <p><b>Utveckla näringsväven</b> med biologiskt material, kompost och rotextudat.</p> <p><b>Inga gödningsmedel</b> som realistisk målbild[60, kap. 6][82, s. 1, 42-46][89][90][91].</p> <p><b>Inga bekämpningsmedel</b> som realistisk målbild[60, kap. 6][91].</p> <p><b>Mäter liv</b> i jorden och näring i växtvävnaden.</p>	<p><b>Plöjning</b></p> <p><b>Monokultur</b> odlar oftast bara en gröda i taget.</p> <p><b>Mineralgödsel</b> som till exempel kväve för kortsiktig fertilitet.</p> <p><b>Naturgödsel</b> som till exempel avföring och urin.</p> <p><b>Justeringsprodukter</b> som till exempel kalk för att justera PH.</p> <p><b>Bekämpningsmedel</b></p> <p><b>Mäter näring</b> i jorden.</p>
Konsekvenser	<p><b>Ökad näringsomsättning</b> på lång sikt då näringsväven utvecklas [57][60, kap. 6][78].</p> <p><b>Näringsbalans</b> i jorden och växterna[57][60, kap. 2] vilket kan förbättra deras smak och hälsovärden[62].</p> <p><b>Binder och renar vatten.</b> En utvecklad näringsväv kan binda mer vatten[60, kap. 5][64] och omsätta mer näring[57][60, kap. 6][78].</p> <p><b>Binder kol</b> från atmosfären i markens växande organiska kapital [57][60, kap. 7][81].</p> <p><b>Motverkar kompaktion</b> erosion och växtskadliga anaeroba förhållanden[57][60, kap. 4].</p> <p><b>Återuppbyggande</b> av ekosystem och biodiversitet[57][60, kap. 6].</p> <p><b>Ökad resiliens</b> mot klimatförändringar och biologiska angrepp [57].</p>	<p><b>Ökad näringsomsättning</b> på kort sikt[79, s. 28]. Men näringsvävens biologiska näringsomsättning och jordens långsiktiga fertilitet hämmas [57][60][78].</p> <p><b>Föroreningar och obalans</b> i jorden, växterna[57][60, kap. 2], vattendrag (övergödning)[79, s. 32] och atmosfären (CO<sub>2</sub>)[60, kap. 7][81].</p> <p><b>Kompaktion</b> och växtskadliga anaeroba förhållanden[57][60, kap. 4].</p> <p><b>Lägre biodiversitet</b> i jord- och vattendrag[57][60, kap. 8].</p> <p><b>Låg resiliens</b> gör växterna känsliga för biologiska angrepp och klimatförändringar[57].</p> <p><b>Ökat produktberoende</b> maskiner, gödsel, bekämpningsmedel.</p>

Då mail utbyttes med kontaktpersoner på JTI för att höra deras syn på dessa frågor hänvisade de till boken "Växtnäring i kretslopp" (2000) där man kan läsa om den ökade nettomineraliseringen och näringsläckaget som sker i samband med plöjning[79, s. 32]. Men där står ingenting om plöjningens långsiktiga konsekvenser för näringsväven och jordens organiska innehåll, biologiska system eller jordbruksmetoder där man inte plöjer jorden. Även kommunikationsansvariga på SLU kontaktades via mail och intervju. Under de samtal som fördes kunde ingen hänvisa till någon forskning på jämförbara jordbrukssystem och intervjupersonen ville slutligen inte delta i rapporten. På grund av projektets tidsbegränsningar fanns det inte möjlighet att söka upp fler personer inom de svenska institutionerna. Det ska även nämnas att det finns en del forskning på plöjningsfria jordbruk och många svenska bönder som idag slutat plöja sina jordar[96][101]. Men de markbiologiska processerna och näringsvävens funktioner tycks dock inte lyftas fram i diskussionen. Detta kan vara anledningen till att de övriga delarna av den biologiska jordbruksmetoden; diversiva levande marktäcken, återuppbyggande av näringsväven och anpassning av jordens biologiska förhållanden och successionsstadie (förhållandet mellan bakterier och svampar) inte undersökts i kombination i större utsträckning. Då Ingham kontaktades för att höra hennes syn på Jordbruksverkets uttalande (s. 18) och framtida målsättningar gav hon ett uttalande som finns att läsa i Appendix A.

### 3.3 Svampar i jordbruket

En ytterligare möjlighet inom jordbruket som ofta tycks förbises är integration av svampodling. Svamparna fungerar likt djuren som nedbrytare, men kräver mindre resurser och har en extrem produktivitet. På detta vis kan bonden utnyttja olika typer av biologiskt avfall och skörderester och förlänga produktionskedjan. Mykologen och svampodlaren Tradd Cotter förklarar att det med enkla medel går att odla ungefär 2,1 kg ostronskivling på 10 liter pastöriserat strå[39, s. 105-107]. Om man odlar dem i 19-litersbehållare (5 US. gallon) tar det ungefär tre veckor för mycelet att etablera sig i substratet och börja producera svamp. Totalt tar det 15 veckor för svampen att konsumera substratet och producera tre skördar. I ett system med 15 sådana behållare är det möjligt att producera 60 kg svamp genom kontinuerliga skördar under 15 veckors tid på bara 1,5 kvadratmeter[39, s. 105-107]. Detta motsvarar 400 ton per hektar (på 15 veckor) och ca 1 900 kubikmeter pastöriserat strå vilket kan jämföras med spannmål och potatis som producerar omkring 2,3 respektive 14 ton per hektar och säsong i ekologiska jordbruk (datasektionen 1.5). Strået motsvarar ungefär 50 % av spannmålets totala vikt och har en densitet på 110 kg/m<sup>3</sup> i packade balar[102]. Detta innebär att det är möjligt att ta ut en stråvolym på ungefär 21 kubikmeter per hektar. Av detta kan man sedan producera ca 4,4 ton svamp. Restprodukten från nedbrytningen av substratet som sker under svampkultiveringen befinner sig i en typ av komposterat förstadie till jord. Det går till exempel att införa maskar i ett använt substrat, omvandla produkten till jord av hög kvalitet och börja odla växter i den[39, s. 101-104]. Det är även möjligt att återföra restprodukten direkt till åkermarken som ett uppskattat bidrag till organismerna i näringsväven.

Trots att svampar anses ha ett lågt näringsinnehåll och innehåller ungefär hälften så mycket kalorier som potatis (datasektionen 1.5) kan de fylla viktiga medicinska funktioner, stärka

kroppens immunförsvar, reducera inflammationer och bekämpa cancer[103][104][105]. Många mediciner som till exempel penicillin kommer trots allt från svampriket. Då de dessutom kan fungera i ett integrerat system och ta vara på och förädla jordbrukets restprodukter skulle de kunna ha en potential att ersätta många av boskapsdjurens funktioner, öka jordbrukets produktionseffektivitet och bidra till en hälsosam kosthållning.

## 3.4 Växthus och säsongsförlängning

Växthus kan användas för att möjliggöra kultivering av mer temperaturkänsliga grödor som till exempel majs, tomat eller bönor. För de flesta känsliga grödor (datasektionen 1.5) som till exempel gurka[106] och tomat[107] krävs att temperaturer över 10-15 °C upprätthålls även under natten innan de kan sås och börja växa ordentligt. Men beroende på hur växthusen designas kan de också användas till att förlänga odlings- och skördsäsongen för hårdigare grödor. Enligt SMHI är den frosthärdiga säsongen på friland i Uppsala i normalfall 153 dagar lång mellan 1 maj och 1 oktober. Många hårdiga grödor kan dock överleva ned till -12 °C i växthus så länge de skyddas från växtskadliga väderförhållanden[108, s. 5]. Eliot Coleman beskriver i sin bok "The Winter Harvest Handbook" (2009) att klimatet för plantor som växer under ett enkelt lager av växthusglas eller plast kan väntas öka med ungefär 1,5 USDA odlingszoner i Harborside, Maine, USA[108, s. 27]. Denna klimatförändring kan innebära en förlängning av odlings- och skördsäsongen på 6-8 veckor[109]. I den tekniska delen av rapporten (sektion 4) beräknas hur odlings- och skördsäsongen kan förlängas med olika typer av växthus.

### 3.4.1 Kallhus

Då Coleman täckte sina växter med ett ytterligare lager i form av ett genomskinligt odlingsställe inuti växthuset, ökade klimatet med ytterligare 1,5 USDA odlingszoner[108, s. 27]. Ett sådant växthus med ett extra skyddslager utan belysning eller uppvärmning kallar han kallhus. Detta på grund av att han använder kallhuset till att förlänga skördesäsongen för hårdiga grödor under låga temperaturer. På Colemans gård i Maine visade sig det extra lagret innebära ett köldskydd på ungefär 3,5 grader vid -4 °C, 15 grader vid -22 °C och 17 grader vid -26 °C. Köldskyddet blev alltså mer effektivt vid låga temperaturer och kunde möjliggöra temperaturer över -12 °C under odlingsstället inuti växthuset även när utomhustemperaturen sjönk mot -30 °C. Coleman upptäckte dock att växternas tillväxt avtog väsentligt då dagtiden gick under 10 timmar. I enlighet med gammal grekisk mytologi kallar han den delen av året med mindre än tio timmars dagsljus för persefones säsong[108, s. 44-45]. Persefones säsong i Uppsala pågår ungefär mellan 15 oktober och 25 februari enligt [www.climateemps.com](http://www.climateemps.com) (data för Stockholm). Under denna period är det alltså svårare att odla växter utan växtbelysning; men det går fortfarande bra att odla svamp. Ostronskivling behöver till exempel bara 6-8 timmar svagt ljus under vissa delar av kultiveringsprocessen[110]. Lägre ljusnivåer kan leda till att svampfoten blir längre i ett sökande efter ljus och att hatten inte utvecklas ordentligt[39, s. 11-12].

### 3.4.2 Svalhus

Ett svalhus är konstruerat på samma sätt som ett kallhus, men här hålls temperaturerna över 3 °C under vintern med hjälp av ett värmesystem. Trots att dagsljuset i Maine går ned till knappt nio timmar på vintern[111] kan de härdiga växterna fortfarande växa i ungefär halva hastigheten i ett svalhus. I ett kallhus där temperaturerna dessutom är låga växer de bara i ungefär en fjärdedel av hastigheten[108, s. 48-49]. Eftersom dagtiden i Uppsala kan bli så kort som 6 timmar under vintern[112] bör denna typ av odling utan växtbelysning framförallt ses som en förlängning av skördesäsongen för de härdiga växterna i Uppsala; odlingssäsongen kan förlängas en bit in mot vintern men sedan står plantorna utan större tillväxt och väntar på vårsolen. Det kan antas att växternas tillväxt i stort sett avstannar helt när dagsljuset går under åtta timmar. Utifrån klimatstatistik för Stockholm[112] sker detta i Uppsala ungefär den 10 november. Det finns dock många svampar som trivs i temperaturer mellan 0-16 °C som går att odla hela vintern i ett svalhus: Till exempel ostronskivling, shiitake, nameko, enoki, maitake och höstmusseron[39, s. 22].

### 3.4.3 Tempererade växthus

I ett tempererat växthus används ofta både uppvärmning och belysning för att möjliggöra odling genom hela vintern. För att mer känsliga grödor som till exempel tomat ska producera fullgoda skördar sätts växthustemperaturerna mellan 18-30 °C och belysnings-systemet anpassas för att ge växterna motsvarande 12-16 timmars dagsljus med hjälp av belysningssystem[113]. Energikonsumtionen för olika tempererade växthus beräknas i sektion 4. I en uppvärmd men obelyst vinterträdgård i STF Växthusets Vandrarhem i Söderhamn kunde de sista tomaterna skördas ända fram till jul.

## 4 Energibalans för växthus

I denna tekniska del av rapporten beräknas energikonsumtion och temperaturutveckling för olika typer av växthus och driftfall. Det undersöks även hur uppvärmningsenergierna förändras om växthusen integreras mot en södervägg på olika typer av småhus. Beräkningarna genomfördes med hjälp av simuleringsprogrammet VIP energy 3.1.1 och har utgått ifrån en växthusyta på  $100 \text{ m}^2$  då detta kan anses vara en rimlig yta för en familj. Resultaten kan dock även vara relevanta för mer storskaliga system med en något reducerad specifik energianvändning för större fristående växthus (känslighetsanalysen 4.5). För att förenkla beräkningarna har hela växthusytan betraktats som odlingsyta även om ett visst utrymme kan behövas för framkomlighet i växthuset. Det är även möjligt att i viss mån odla på höjden.

### 4.1 Begreppsförklaring

**SVEBY** "Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader" (SVEBY) är ett program som arbetar med att ta fram hjälpmedel för överenskommelser om energianvändning i byggnader. Till exempel tillhandahåller de normalvärden för drift av byggnader; tillskott från personenergi, användning av tappvarmvatten och verksamhetsenergi.

**FEBY12** "Forum för Energieffektivt Byggnade" (FEBY) har utsett en expertgrupp som i samarbete med "Sveriges Centrum för Nollenergihus" ger ut en sammanfattning av kravspecifikation för bostäder (FEBY12). I dokumentet ingår bland annat de svenska kraven som ställs på passivhus.

**Specifik energianvändning** Den specifika energianvändningen är ett mått på en byggnads energieffektivitet och mäts i  $\text{kWh}/\text{m}^2 A_{temp}, \text{år}$ . Eftersom värdet är beroende på den tempererade arean ( $A_{temp}$ ) förändras inte värdet för en byggnad med dubbelt så hög energikonsumtion om den också är dubbelt så stor.

**Fastighetsenergi** Fastighetsenergi är den del av fastighetselen som räknas in i byggnadens specifika energianvändning. De poster som ingår i fastighetselen är ofta viktiga för byggnadens funktioner såsom pumpar och fläktar.

**Verksamhetsenergi** Verksamhetsenergin är den del av fastighetselen som inte räknas in i byggnadens specifika energianvändning, till exempel disk- och tvättmaskin. Dessa poster kan dock bidra till byggnadens uppvärmning genom den värme som alstras.

**Intern energi** Detta är den del av energin som stannar kvar i systemet (byggnaden) och bidrar till uppvärmningen. Energikonsumtionen från de flesta hushållsapparaterna hör till exempel till den interna energin då värmen som produceras stannar kvar i systemet.

**Extern energi** Den externa energin är den del av energin som lämnar systemet (byggnaden), till exempel från utrustning eller belysning som används utomhus.

**COP** "Coefficient of performance" (COP) eller värmefaktorn beskriver verkningsgraden för ett värmesystem. En värmefaktor över 1 innebär att man får ut en högre uppvärmningseffekt från värmesystemet än den effekt som tillförs.

**k-värde** Värdet är ett mått på ett materials värmekonduktivitet och beskrivs med SI-enheten  $W/m\cdot K$ . Värmeflödet beror alltså på temperaturskillnaden mellan de båda sidorna av materialet och ökar då skillnaden i temperaturerna blir större. En temperaturskillnad på 1 K är lika stor som en temperaturskillnad på 1 C vilket gör att enheterna ofta är utbytbara i energiberäkningar.

**Värmekapacitet** Värmekapacitet eller termisk massa beskriver hur mycket energi som lagras eller frigörs då materialets temperatur förändras och mäts med SI-enheten  $J/kg\cdot K$ . Ett material med hög värmekapacitet kräver en större mängd energi för att öka i temperatur.

**U-värde** U-värdet är ett mått på ett materials isoleringsförmåga och beskrivs med SI-enheten  $W/m^2\cdot K$ . Det beräknas med hjälp av materialets värmekonduktivitet som delas med tjockleken på materialet. Ett lågt U-värde innebär högre isoleringsförmåga och en dubbel tjocklek leder alltså till en halvering av U-värdet.

**ST-värde** ST-värdet beskriver den direkta genomstrålningen av solenergi efter reflektion och ges som en faktor mellan 0 till 1 eller i procent. 1 eller 100% innebär full genomstrålning och 0 innebär att ingen direkt solenergi strålar igenom.

**g-värde** Värdet beskriver den totala transmissionen av solenergi genom ett givet material. Detta inkluderar även den sekundära värmestrålningen som följer absorption. g-värdet beskrivs på samma sätt som ST-värdet och är oftast något högre eftersom även den sekundära värmestrålningen inräknas. Ett glas med högt g-värde och lågt U-värde kallas energisparglas eftersom mycket solenergi strålar in i byggnaden men lite värme förloras genom transmission.

**Albedo** Albedovärdet ges som en faktor mellan 0-1 och beskriver hur stor del av solenergin som reflekteras från ett givet material.

## 4.2 Teori passivhus

För att en byggnad med en uppvärmd yta,  $A_{temp}$  på mindre än  $400 m^2$  i Uppsalas klimatzon (III) ska klara kravspecifikationen för passivhus från FEBY12[114] krävs att byggnaden uppfyller kriterierna i tabell 4 (s. 25).

Tabell 4: Kravspecifikation för passivhus med en uppvärmd yta,  $A_{temp}$  på mindre än 400 m<sup>2</sup> i Uppsalas klimatzon (III) enligt FEBY12[114, s. 4, 5].

Värmeförlusttal ( $VFT_{DVUT}$ )	< 17
Specifik energianvändning [kWh/m <sup>2</sup> ,år]	< 27

Värmeförlusttalet ( $VFT_{DVUT}$ ) beräknas enligt

$$VFT_{DVUT} = H_T * (21 - DVUT) / A_{temp} [W/m^2, A_{temp}], \text{ där} \quad (2)$$

$H_T$  [W/K] är byggnadens värmeförlustkoefficient.  $H_T$  beräknas enligt

$$H_T = \underbrace{U_m * A_{omsl}}_{\text{Transmissionsförluster}} + \underbrace{\rho * c * q_{läck}}_{\text{Luftläckningsförluster}} + \underbrace{\rho * c * d * q_{vent} * (1 - v)}_{\text{Ventilationsförluster}} [W/K], \text{ där}$$

$U_m$  = Byggnadens genomsnittliga U-värde.

$A_{omsl}$  = Byggnadens omslutningsarea mätt invändigt.

$\rho$  = Luftens densitet.

$c$  = Luftens värmekapacitet.

$d$  = Ventilationssystemets relativa drifttid.

$q_{vent}$  = Ventilationsflödet. (3)

$v$  = Ventilationssystemets verkningsgrad.

$$q_{läck} = q_{50} * A_{omsl} * e / (1 + f / e ((q_{sup} - q_{ex}) / q_{50} * A_{omsl})^2) \text{ där,}$$

$q_{sup} - q_{ex}$  = Luftöverskottet mellan tilluft,  $q_{sup}$  och frånluft,  $q_{ex}$ .

$q_{50}$  = Läckflödet vid 50 Pa tryckskillnad mellan inne och ute.

$e$  och  $f$  = Vindskyddskoefficienter enligt tabell 5.

Tabell 5: Vindskyddskoefficienter  $e$  och  $f$  enligt EN ISO 13789:2008[114, s. 13].

Vindskyddskoefficienter $e$ och $f$	Flera sidor exponerade	En sida exponerad
Koefficient $e$ för avskärmningsklass		
Ingen avskärmning. Öppet landskap eller höga byggnader i staden	0,10	0,03
Måttlig avskärmning. Förortsmiljö, landskap med träd och andra byggnader	0,07	0,02
Kraftig avskärmning. Byggnad i skog eller med genomsnittshöjd i city	0,04	0,01
Koefficient $f$	15	20

För bestämning av  $VFT$  väljs den dimensionerande vinterutetemperaturen  $DVUT$  [°C] för en tidskonstant på högst 12 dygn. I projekteringsskede är det möjligt att använda nedanstående schablon (tabell 6) för att bestämma tidskonstanten.

Tabell 6: Schablon för att bestämma tidskonstanten [dygn] för  $DVUT$  i projekteringsskede[114, s. 14].

<b>Lätt byggnad</b>	3 dygn	Lätt konstruktion och krypgrund.
<b>Halvlätt byggnad</b>	6 dygn	Lätt konstruktion, betongplatta på mark.
<b>Halvtung byggnad</b>	12 dygn	Tung konstruktion, bjälklag av betong, lätta utfackningsväggar.
<b>Tung byggnad</b>	12 dygn	Max 12 dygn väljs vid beräkning av $VFT$ .

I Uppsala bestäms  $DVUT$  enligt tabell 7:

Tabell 7: Dimensionerande vinterutetemperaturer,  $DVUT$  [°C] för Uppsala[114, s. 15].

Dygn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$DVUT$ [°C]	-18,9	-18,3	-17,5	-16,6	-16,3	-15,9	-15,4	-15,3	-15	-14,8	-14,6	-14,4

## 4.3 Indata

För att köra simuleringarna i VIP krävdes data om bland annat byggnadernas material, installerade värme- och ventilationssystem, drift och klimat. Eftersom rapporten syftar till att undersöka matproduktion i Uppsala sattes byggnadernas position till det närliggande Stockholm där VIP hade tillgänglig normaliserad klimatdata.

### 4.3.1 Växthusmaterial

Två olika glastyper från Pilkington och en plastprodukt (HDPE) från Solexx[115] undersöktes som material till växthusens väggar och tak (se tabell 8, s. 27). Även om det kan uppstå problem med tätningen då dubbla glas används i växthussammanhang[116] har dessa material generellt hög hållbarhet jämfört med andra produkter. Glas kan väntas hålla i över 30 år[117] och Solexxs täckmaterial i ca 12-15 år[115]. Glasen har något högre solgenomstrålning men Solexx har andra fördelar; är lätt att frakta och installera, har ett lågt U-värde och skapar en diffus ljusbild med ett högt UV-skydd som kan skydda växterna från intensiv solstrålning och öka tillväxten[115]. Glastjockleken valdes till 5 mm för att ge en viss stöttålighet och samtidigt kunna jämföras mot Solexx material med samma tjocklek. Någon millimeter skillnad i tjockleken har dock mindre betydelse för de termiska egenskaperna då det framförallt är luftspalten mellan glasen som förbättrar isoleringsförmågan.



Tabell 8: Solgenomstrålningen, den satta glasandelen och U-värdet hos de material som användes till de olika växthusens väggar och tak.

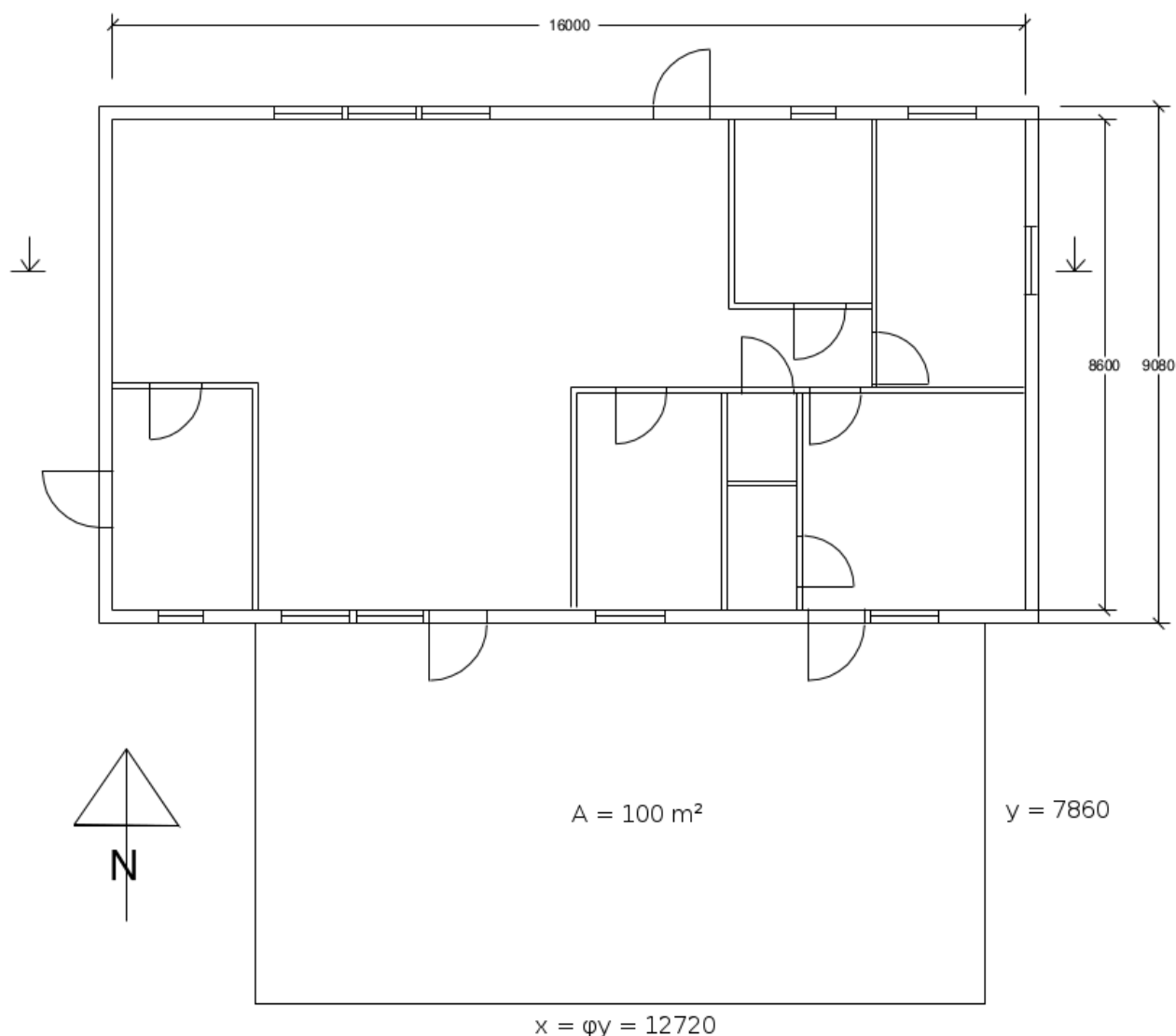
Material	Glasandel [%]	U [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	ST [%]	g [%]
Pilkington Optifloat 5 mm	95	5,7	85	87
Pilkington Optifloat 5-16Ar-5 mm	95	2,7	74	78
Solexx 5 mm täckmaterial	95	2,44	61,5	66,5

### 4.3.2 Design växthus och småhus

För att undersöka hur uppvärmningsenergierna förändras i ett tempererat växthus om det integreras mot en husvägg designades växthuset för att passa in mot ett småhus som hämtades från VIP:s exempelhus. Eftersom husväggens höjd var satt till 2,5 m och växthuset gärna bör ha en viss lutning för att ta upp mer solljus sattes växthusets södra vägg till 2 m vilket gav en takvinkel på 3,6 %. De understa 10 cm av växthusväggarna fick bestå av lecablock för att ge konstruktionen en något tätare och stabilare grund. Takvinkeln och lecablocken hade dock ingen väsentlig effekt på energibalansen i simuleringarna (känslighetsanalysen 4.5). Som golvmaterial sattes en jord med k-värde  $1 \text{ W}/\text{mK}$  [118], densitet  $1300 \text{ kg}/\text{m}^3$  [119], värmekapacitet  $1200 \text{ J}/\text{kgK}$  [120] och ett jorddjup på 0,1 m för att nå upp till kanten på lecablocken. Egenskaperna för marken under detta jordlager sattes till "icke dränerad sand, grus morän vlt 2,3". Den uppvärmda växthusytan sattes till  $100 \text{ m}^2$  och sidorna designades med gyllene proportioner (gyllene snittet,  $\phi = 1,618$ ); dels av estetiska skäl men också för att måtten passade bra för integrationen med småhuset. Detta resulterade i sidlängder på ca 12,7 respektive 7,9 meter. De fristående och integrerade växthusen designades på samma sätt, förutom att den norra väggen i det integrerade fallet togs bort då växthuset istället kopplades direkt mot husets södervägg. Växthusklimatet kan dock vara skadligt för vissa typer av husväggar, men detta togs ingen hänsyn till i rapporten.

Förutom det mer vanliga småhuset (hädanefters småhus "standard") som togs fram med hjälp av VIP:s exempelhus undersöktes ett passivhus för att jämföra skillnaderna i uppvärmningsenergi under integration med olika byggnadstyper. Denna byggnad (hädanefters småhus "passiv") konstruerades för att klara de krav som ställs på elvärmda passivhus i Uppsala enligt FEBY12:s kravspecifikation (sektion 4.2). I båda småhusen togs källaren från exempelhuset bort för att efterlikna en mer allmän konstruktion vilket resulterade i den design som illustreras i figur 5 (s. 28) och en uppvärmd yta på  $137,6 \text{ m}^2$ . Det totala integrerade systemet fick således en uppvärmd yta på  $237,6 \text{ m}^2$ .

I standardhuset lämnades väggarnas tjocklek på 27,3 cm, takets på 43,3 cm och golvet på 57 cm. I passivhuset ökades tjockleken på dessa byggnadskomponenter till 47,3 (+ 20) cm, 65,8 (+ 22,5) cm och 67 (+ 10) cm. De ingående materialen för väggar och tak ersattes med högisolerande material enligt konstruktionsexempel från ISOVER [121]. Golvet lämnades däremot i samma materialsammansättning men med ett expanderat cellplastlager. Glaset i dörrar och fönster byttes mot energisparglas 4S(3)-18Ar-4-18Ar-S(3)4 från Pilkington [123] med ett U-värde på  $0,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  som även sattes för dörrar utan glas.



Figur 5: Ritning av växthuset och småhuset under integration [mm].

Utöver dessa materialförändringar förbättrades även lufttätheten i samtliga byggnads-komponenter.

I standardhuset lämnades den installerade frånluftsvärmepumpen (NIBE F750) medan passivhuset utrustades med ett luft/vatten-system (NIBE F2030-7), FTX-ventilation med en verkningsgrad på 85 % och varmvattenåtervinning med en verkningsgrad på 40 % baserat på de produkter som finns tillgängliga på marknaden[122]. Med dessa förändringar beräknades passivhusets värmeförlusttal till 16,87 (Appendix B) och hamnade således precis under det satta kravet på 17 från FEBY12 (sektion 4.2). För vissa av de integrerade systemen användes det värmesystem som var installerat i småhusen även till att värma upp växthuset. I övriga fall användes luft/vatten-systemet SEMTIC ECO-THERMA 8kW. De påstår att denna typ av värmesystem är mycket miljövänlig och fungerar bra i växthus med god livslängd och effektivitet[124]. De genomsnittliga U-värdena för byggnadernas klimatskal och de installerade värmesystemen listas i tabell 9 (s. 29). Ytterligare information om växthuset och byggnadernas konstruktion återfinns i Appendix C.

Tabell 9: Det genomsnittliga U-värdet och installerade värmesystem för de respektive byggnaderna och växthusen.

Byggnad	U [W/m <sup>2</sup> ,K]	Värmesystem	Effekt [kW]	COP	Köldmedium
Småhus standard	0,183	NIBE F750	3 726	2,36	R407C
Småhus passiv	0,108	NIBE F2030-7	7 450*	4,05*	R407C
Växthus Optifloat 5 mm	3,983	SEMTIC 8kW	8 670*	3,26*	R410A
Växthus Optifloat 5-16Ar-5 mm	1,916	"	"	"	"
Växthus Solexx 5 mm	1,813	"	"	"	"

\* Provning enligt EN-14511 (7/45).

För att genomföra zonberäkningarna för de integrerade systemen där växthusen kopplats mot ett småhus krävdes även att en zonavskiljande vägg definierades. Eftersom denna inte kunde bestå av transparenta material beräknades istället den ersatta väggens genomsnittliga U-värde. De fönster som var placerade på väggen placerades utanför den avskiljande väggens område för att möjliggöra solinstrålning men gavs samma U-värde som den vägg de ersatte. Detta ledde till att söderväggens totala termiska massa i de integrerade systemen blev något lägre och att solinstrålningen i de fönster som istället hamnade utanför växthuset blev marginellt högre. Detta hade dock ingen betydelsefull effekt för simuleringarna (känslighetsanalysen 4.5). De resulterande U-värdena för de zonavskiljande väggarna beräknades till 0,420 W/m<sup>2</sup>,K för standardhuset och 0,224 W/m<sup>2</sup>,K för passivhuset.

### 4.3.3 Belysning och driftfall

För de tempererade växthusen med belysning användes ett LED-system (light-emitting diode) från LumiGrow (LumiGrow Pro 650, figur 6 s. 30) som hävdas vara upp till 40 % mer effektivt än motsvarande HID-system (high intensity discharge) och kan dessutom hålla upp till tio gånger längre[125]. Då deras belysningspersonal kontaktades rekommenderade de en belysningsyta på ca 6 m<sup>2</sup> per armatur för tomatodling vilket innebär att det krävs 17 armaturer för att belysa en odlingsyta på 100 m<sup>2</sup>. Eftersom varje armatur har en effekt på 565 W resulterar detta i en total effekt på ca 9,6 kW vid fullt påslag. För att förenkla beräkningarna antogs samma effekt krävas för alla typer av odling; endast belysningstimmar ändrades mellan de olika driftfallen.

Gräs har ett albedo på ca 0,15-0,25[126]. Högväxande plantor i ett växthus kan antas fånga upp något mer solljus i växtligheten och en viss del reflekteras dessutom tillbaka från växthusmaterialet eller i de integrerade fallen även från småhusets väggar. Därför antogs 10 % av belysningsenergin lämna växthuset. Eftersom belysningen kan anses vara nödvändig för växthusdriften och bör inräknas i den specifika energianvändningen sattes den som fastighetsenergi. Då armaturen levererar ungefär 93,5 % av tillförd effekt i form av belysning, sattes slutligen den interna effekten till 87 W/m<sup>2</sup> och den externa till 9 W/m<sup>2</sup>.



Figur 6: LumiGrow Pro 650.

Med hjälp av klimatbehoven som hämtades ur datasektionen 1.5 och statistik för genomsnittligt solljus för Stockholm[112] anpassades olika driftfall för odling av olika typer av grödor; hårdiga, halvhårdiga och känsliga. Skillnaden mellan det genomsnittliga solljuset för månaden och växternas solljusbehov avrundades sedan uppåt och en timme lades till för att ge en viss marginal. Resultaten för antalet belysningstimmar per månad för de olika växttyperna listas i tabell 10. Eftersom solljuset kan vara svagt och opålitligt framförallt på vintern skulle dock något fler belysningstimmar kunna behövas för att säkerställa fullgod tillväxt. För att förenkla beräkningarna sattes belysningen som påslagen under den senare delen av dagen fram till klockan 22 beroende på hur många timmar extra solljus som behövdes för varje månad. De lägsta och högsta temperaturerna som sattes för drift under dag och natt listas i tabell 11. För kylning i byggnaderna användes passiv kyla, det vill säga vädring utan energiförlust från ventilationsdrift.

Tabell 10: Antal timmar påslagen belysning per månad för olika växttyper.

Växttyp   Månad	Jan	Feb	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
Hårdiga växter	4	3	1	0	0	0	0	0	0	2	4	5
Halvhårdiga växter	6	5	3	1	0	0	0	0	2	4	6	7
Känsliga växter	8	7	5	3	0	0	0	1	4	6	8	9

Tabell 11: Lägsta och högsta temperatur i växthuset för olika växttyper.

Klockslag	Hårdiga växter Temperatur [°C]	Halvhårdiga växter Temperatur [°C]	Känsliga växter Temperatur [°C]
06-22	3-22	15-22	25-30
22-06	3-22	10-22	20-30

För småhusen anpassades driftfallen efter SVEBY:s standard (begreppsförklaring 4.1) för normal drift för ett hushåll på fyra personer. Mellan klockan 07-18 antogs verksamhetsenergin vara hälften så stor och mellan klockan 00-06 en tredjedel så stor som under den resterande delen av dagen då de boende är mer aktiva i hemmet. Tappvarmvattnet antogs endast användas på morgonen och kvällen. För att förenkla beräkningarna antogs driftfallen vara desamma för alla veckans dagar. Fukttillskottet för samtliga byggnader sattes till  $1 \text{ mg/s, m}^2$  vilket kan vara något lågt för växthusen. Men detta värde hade ingen märkbar effekt på resultaten (känslighetsanalysen 4.5). Detta resulterade i de driftfall som listas i tabell 12. Då småhusen med den angivna indatan simulerades i Stockholms klimatzon beräknades den specifika energianvändningen till  $36,2 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$  för standardhuset och  $22,5 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$  för passivhuset. Passivhuset klarade alltså kraven på den specifika energianvändningen från FEBY12 ( $27 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ ) med relativt god marginal. Det bör även nämnas att standardhuset är mer energieffektivt än vad som kan förväntas av en genomsnittsbyggnad som kan antas ha en energianvändning på ca  $100\text{-}150 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$  [127]. Men småhusen kan även jämföras mot mer moderna elvärmda nybyggen som enligt kraven från BBR [128, s. 141] inte får ha en högre specifik energianvändning än  $55 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$  i Uppsalas klimatzon (III).

Tabell 12: Driftfall för småhusen anpassade efter SVEBY:s standard för normal drift.

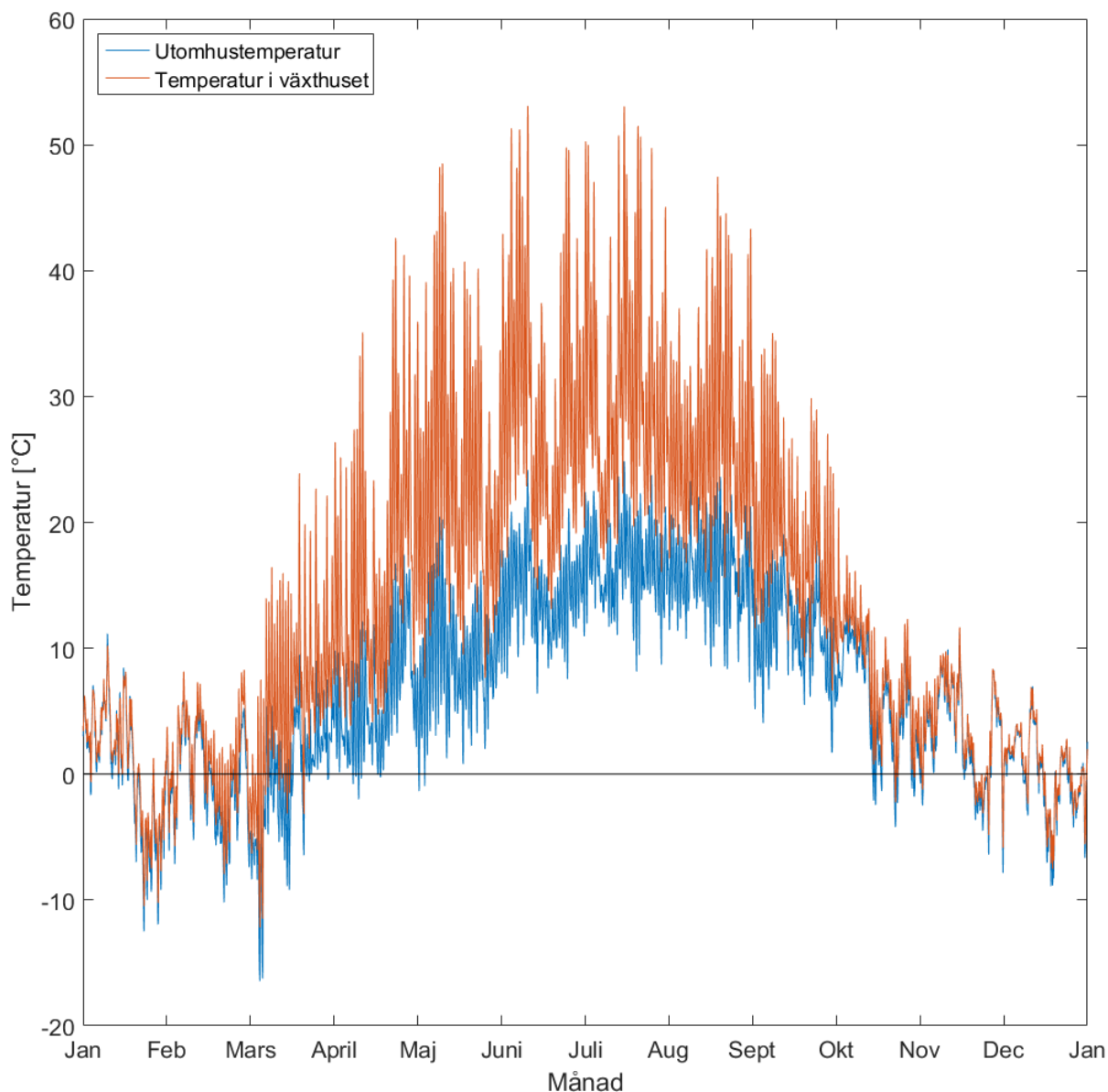
Energi   Klockslag	00-06	06-07	07-17	17-18	18-24
Intern verksamhetsenergi [ $\text{W/m}^2$ ]	1.02	3.06	1.53	1.53	3.06
Extern verksamhetsenergi [ $\text{W/m}^2$ ]	0.44	1.32	0.66	0.66	1.32
Personvärme [ $\text{W/m}^2$ ]	2.31	2.31	0	2.31	2.31
Fukttillskott till rumsluft [ $\text{mg/s, m}^2$ ]	1	1	1	1	1
Tappvarmvatten [ $\text{W/m}^2$ ]	0	10.45	0	10.45	10.45
Högsta rumstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27	27	27	27	27
Lägsta rumstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	21	21	21	21	21

## 4.4 Resultat

I denna sektion presenteras simuleringsresultaten från VIP för de olika fristående växthusen och de integrerade systemen under olika driftfall. Eftersom växthuset med Solexxs täckmaterial gav liknande resultat som växthuset med dubbla glas har fokus lagts på att jämföra växthusen med enkelt (5 mm) och dubbelt (5-16Ar-5 mm) glas. Solexxs täckmaterial diskuteras dock i känslighetsanalysen 4.5.

### 4.4.1 Temperaturutveckling

I figur 7 visas temperaturutvecklingen för ett fristående växthus med enkelt glas utan vädring, ventilation eller installerat värmesystem. Ur grafen kan det utläsas att sista frosten i växthuset tycks inträffa omkring 20 mars och tidigareläggs således med ungefär sex veckor (sektion 3.4). Därefter håller sig de lägsta temperaturerna i växthuset ungefär tio grader över de lägsta utomhustemperaturerna under vår och sommar. Mot vintern när solinstrålningen är låg faller temperaturskillnaden ner mot ett par grader. Första frosten tycks inträffa omkring 15 oktober och senareläggs alltså med ca 14 dagar (sektion 3.4). De högsta temperaturerna i växthuset når upp över 50 grader och tycks generellt ligga ca 20-30 grader över de högsta utomhustemperaturerna under de tidigare delarna av odlingssäsongen. Detta bör innebära att man kan börja odla mer hårdiga grödor i växthuset efter de sista låga temperaturerna ungefär den 10 mars. Känsliga grödor som till exempel tomat och gurka bör generellt sås när temperaturerna under natten ligger över ca 10-15 °C

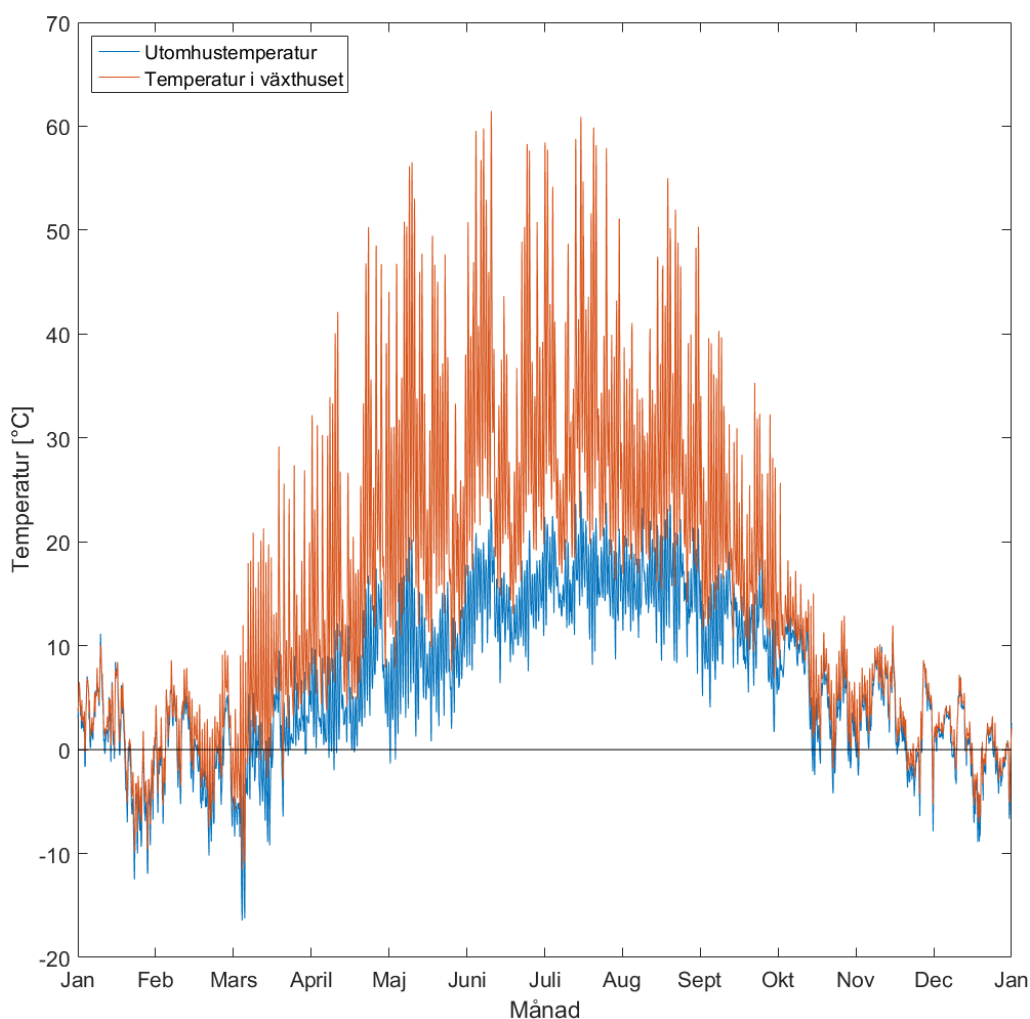


Figur 7: Temperaturutveckling för växthuset med enkelt glas.

(sektion 3.4). Dessa kan alltså odlas i växthuset ungefär mellan 1 juni och 25 augusti. Därefter bör en utvecklad tomatplanta kunna stå utan större tillväxt och invänta skörd i växthuset tills början av oktober då den frostfria säsongen tar slut.

Den frostfria perioden i växthuset kan alltså förlängas från 153 till ca 209 dagar gentemot frilandsodling vilket stämmer väl överens med de 6-8 veckor som nämndes i sektion 3.4. Odlingssäsongen för känsliga grödor som kräver minimitemperaturer över 10-15 °C kan beräknas vara ungefär 85 dagar lång. Persefones säsong i Uppsala, då dagtiden är mindre än tio timmar, pågår mellan 15 oktober till 25 februari. Men växterna kan fortfarande antas upprätthålla en viss tillväxt fram till 10 november då dagtiden går under åtta timmar och tillväxten i stort sett kan väntas avstanna helt (sektion 3.4). Utifrån detta beräknades den händiga odlingssäsongen i växthuset med enkelt glas till 245 dagar.

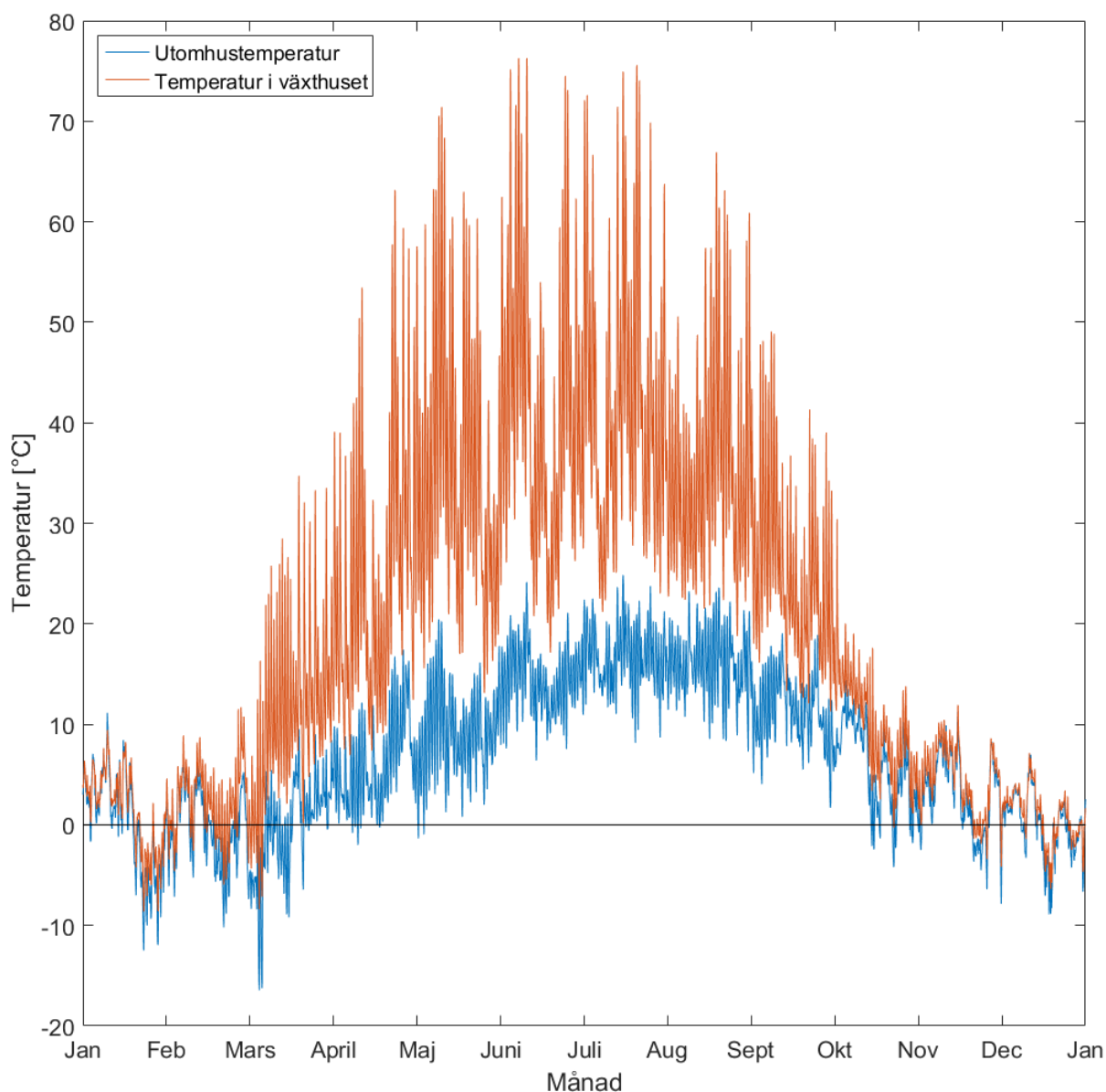
Då växthuset med enkelt glas sedan integrerades mot standardhuset (figur 8); fortfarande utan vädring, ventilation eller installerat värmesystem; skedde ingen betydelsefull förändring för odlingssäsongen. Ur grafen utläses att det framförallt bara var högstatemperaturerna som ökade något under sommaren. Detsamma gällde även för integration mot passivhuset. Det bör dock kunna skapas ett mikroklimat längs småhusets vägg där



Figur 8: Temperaturutveckling för det integrerade växthuset med enkelt glas (Växthus+Standardhus).

högre temperaturer upprätthålls under en större del av året på grund av den termiska massan och småhusets transmissionsförluster genom den zonavskiljande väggen. Eftersom husväggen kan lagra värme under dagen och stabilisera temperaturerna under natten skulle detta kunna förlänga odlingssäsongen något för både känsliga och hårdiga grödor.

För växthuset med dubbla glas (figur 9) var fortfarande datumen för första och sista frosten och således även den hårdiga odlingssäsongen ungefär desamma. Det är dock möjligt att vissa växter klarar sig genom de låga temperaturerna i växthuset i början av mars och de kan således börja odlas med låg tillväxt redan i början på persefones säsong den 25 februari. För de känsliga grödorna ger det extra glaset dock en avsevärd förlängning av säsongen. De lägsta temperaturerna i växthuset tycks ligga över 10-15 grader redan den 25 april och säsongen förlängs även på hösten till ca 20 september. Detta ger en odlingssäsong för känsliga grödor på ca 148 dagar vilket är en ungefär lika lång period som den 153 dagar



Figur 9: Temperaturutveckling för växthuset med dubbla glas.



långa frostfria säsongen på friland.

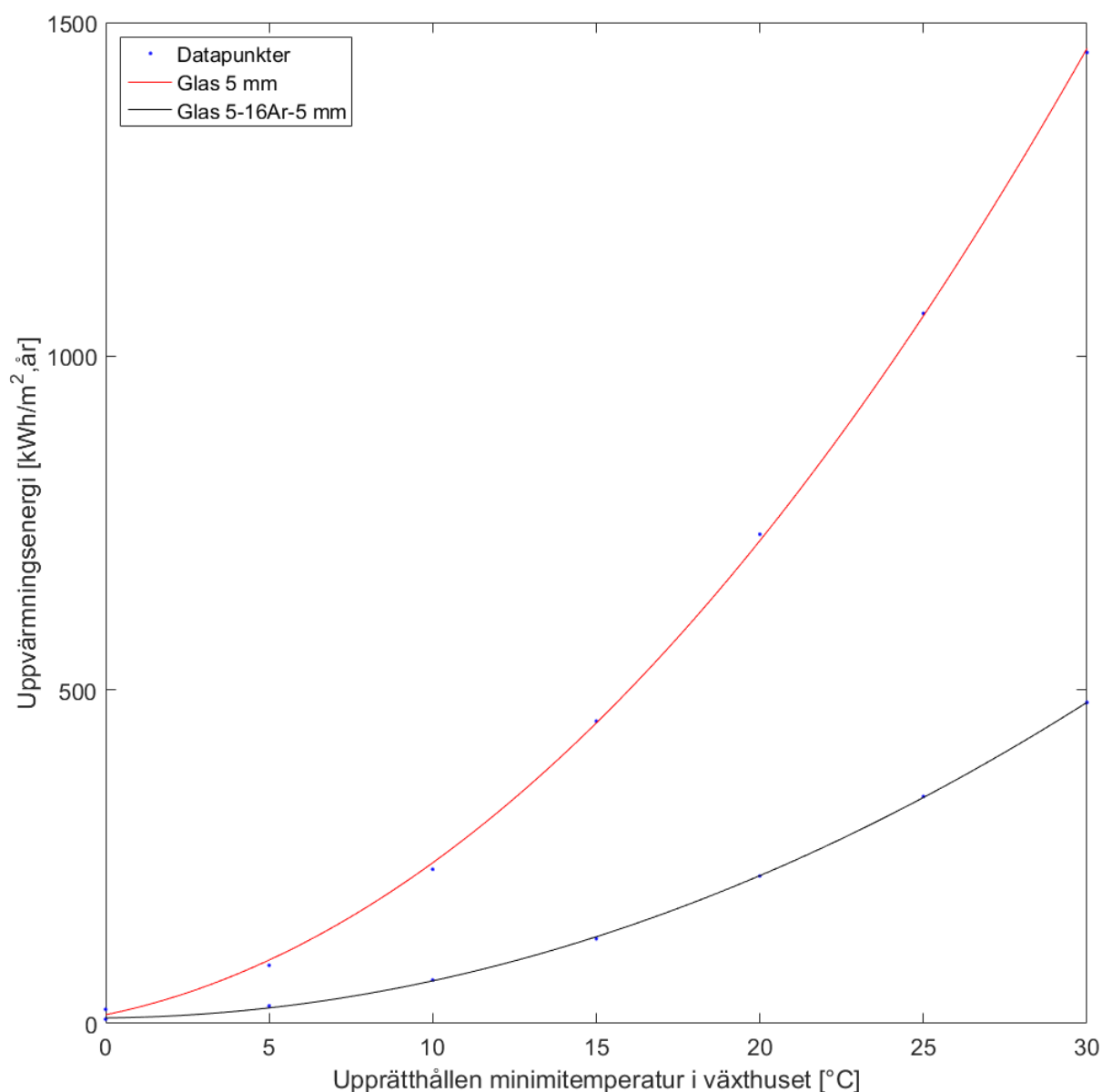
Eftersom temperaturerna i växthuset med dubbla glas ofta ligger under tio grader i mitten av april kunde inte integration mot ett småhus bidra med en tillräckligt stor temperaturförändring för att förlänga odlingssäsongerna även i de fall där mer isolerande växthusmaterial användes. Köldskyddet på 15 grader vid utomhustemperaturer på  $-22^{\circ}\text{C}$  som nämndes för kallhus i sektion 3.4.1 tycks även stämma relativt väl överens med det beräknade köldskyddet på 10 grader som det dubbla glaset ger vid  $-17^{\circ}\text{C}$  i mars. Växthuset med dubbla glas tycks därför kunna ha en liknande temperaturutveckling som Colemans kallhuslösning där det extra lagret glas istället var ersatt med ett extra täcklager ovanför växterna inuti växthuset. Men eftersom växthuset endast kan bevara solenergin och minska värmeflödet genom klimatskalet kommer växthustemperaturen närma sig utomhustemperaturen om solinstrålningen är låg och kylan är tillräckligt varaktig. Till exempel är temperaturerna i växthuset lägre i februrari än mars trots att utomhustemperaturerna inte är lika låga. De beräknade odlingssäsongerna illustreras och diskuteras ytterligare i sektion 5.

#### 4.4.2 Uppvärmningsenergi fristående växthus

För att jämföra uppvärmningsenergin som krävs för olika växthus har enklare driftfall använts där minimitemperaturen satts till densamma för både dag och natt över hela året. Ingen belysning har heller använts i dessa simulationer.

För de olika växthusen kunde en exponentiell utveckling av uppvärmningsenergin anpassas relativt väl mot datapunkterna för det givna temperaturintervallet (figur 10 s. 36). Dock tycks lutningen avta något för högre temperaturer. Uppvärmningsenergens utveckling kan delvis förklaras med att förlusterna genom klimatskalet ökar i takt med skillnaden mellan inom- och utomhustemperaturerna. Men eftersom högre minimitemperaturer dessutom kräver att värmesystemet är påslaget under större delar av året då utomhustemperaturerna oftare ligger under den satta rumstemperaturen ökar uppvärmningsbehovet alltså exponentiellt. På grund av att den installerade värmepumpen i växthusen dessutom är ett luft/vatten-system (sektion 4.3) vars verkningsgrad sjunker då skillnaden mellan inom- och utomhustemperaturen ökar kräver värmepumpen en högre tillförd effekt för att uppnå samma uppvärmningseffekt vid högre minimitemperaturer. Vid högre temperaturer ökar dock inte skillnaden i tiden värmesystemet behöver vara påslaget i samma utsträckning vilket kan antas vara anledningen till att utvecklingen trots allt blir något mer linjär.

Generellt krävdes endast 28-33 % av energin för att upprätthålla samma temperatur i ett växthus med dubbla gentemot enkla glas. Den relativa energibesparingen för växthuset med dubbla glas var som störst vid minimitemperaturer omkring  $10-15^{\circ}\text{C}$ . Detta kan dels antas bero på att värmesystemets relativa drifttid vid dessa temperaturer var lägre än för växthuset med enkelt glas. Dessutom utgjorde värmepumpens värmeåtervinning från ventilationsluft, berg, mark eller uteluft i växthuset med dubbla glas en avsevärt större andel av den totala uppvärmningsenergin vid det nämnda temperaturintervallet. För uppvärmning till en minimitemperatur på  $15^{\circ}\text{C}$  utgjorde till exempel värmeåter-



Figur 10: Uppvärmningsenergi beroende på upprätthållen minimitemperatur i ett fristående växthus på 100 m<sup>2</sup>.

vinningen 51,6 % av det totala uppvärmningsbehovet för växthuset med dubbla glas. För växthuset med enkelt glas vid samma minimitemperatur kunde endast 29,8 % av uppvärmningsbehovet täckas av värmeåtervinningen.

För svalhusen med en minimitemperatur på 3 °C som diskuterades i sektion 3.4.2 krävdes 53 respektive 16 kWh/m<sup>2</sup>,år för växthus med enkla respektive dubbla glas. För mer detaljerad information om svalhusens energianvändning, se sektion 4.4.5.

### 4.4.3 Uppvärmningsenergi integrerade system

I denna sektion diskuteras hur den totala specifika energianvändningen förändrades när de två växthusen integrerades mot standardhuset eller passivhuset, fortfarande utan växthusbelysning. Enligt definitionen från BBR hade växthusens energibehov förmodligen betraktats som verksamhetsenergi, men eftersom både uppvärmningen och belysningen i växthusen sattes som fastighetsenergi i beräkningarna har posterna även inkluderats i den totala specifika energianvändningen i rapporten. För att skilja på de olika fallen benämns summan av de individuellt beräknade energianvändningarna för växthuset och småhuset som "fristående" eller "separata" värden. Inga värden i diskussionen avser alltså en enskild byggnad utan refererar till summan av ett växthus och ett småhus; i fristående eller integrerade installationer. Detta för att undersöka hur den totala specifika energianvändningen för de två byggnaderna förändras när de sammankopplas. I vissa fall har växthusen även kopplats mot småhusets värmesystem och använde således inte det luft/vatten-system från SEMTIC som nämndes i sektion 4.3. Detta värmesystem har dock använts i de integrerade fallen som benämns "individuella värmesystem". Småhusen kopplades aldrig till växthusets värmesystem och utnyttjade heller inte något luftutbyte för ventilation eller uppvärmning under integrationen.

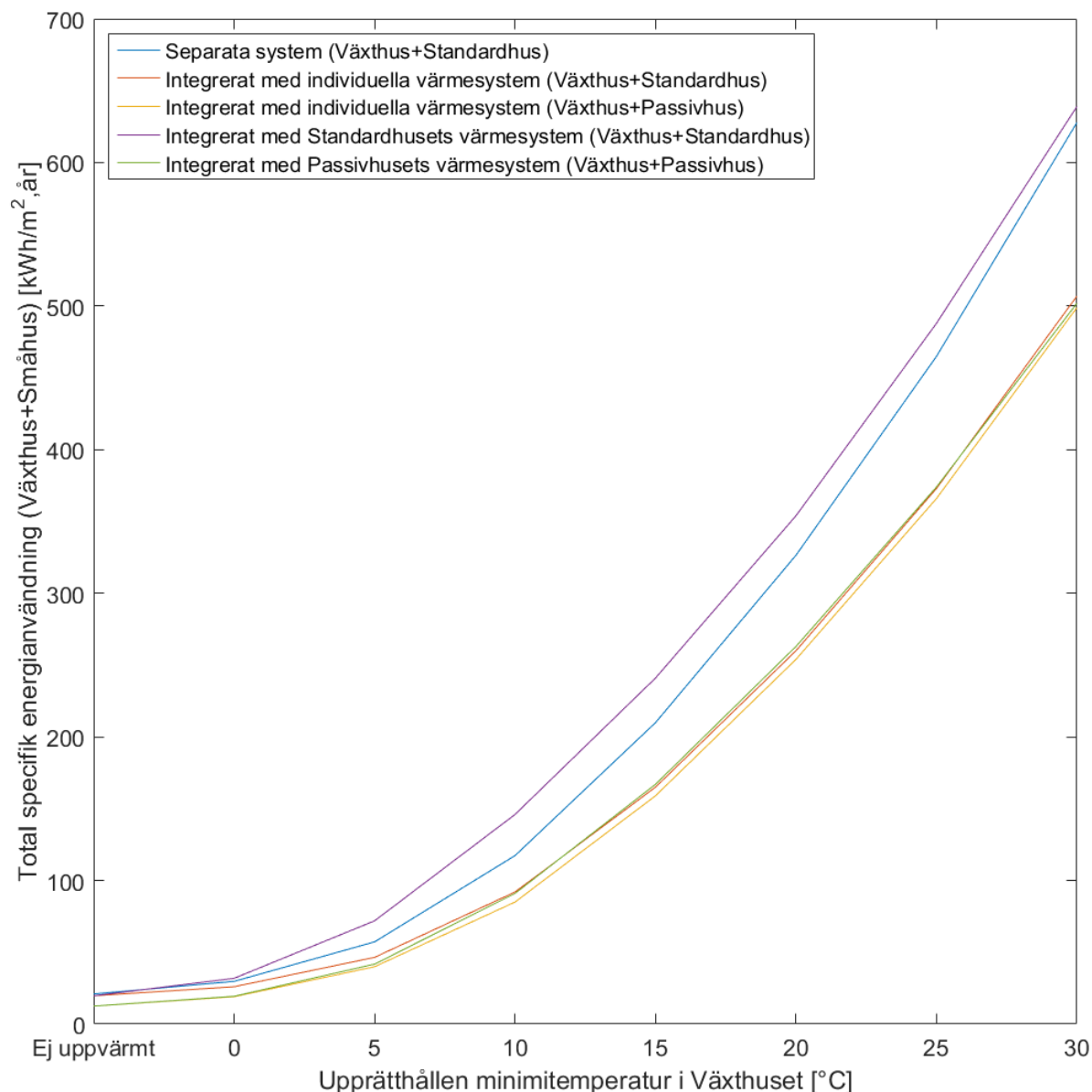
### Växthus med enkelt glas

För drift av de separata systemen (Växthus+Standardhus) med ett växthus av enkelt glas uppvärmt till minimitemperaturen 25 °C krävdes totalt ca 460 kWh/m<sup>2</sup>,år (blåa kurvan, figur 11, s. 38). I dessa beräkningar står byggnaderna alltså separat, men räknas ändå som en enhet vilket leder till att energikonsumtionen per area (237,6 m<sup>2</sup>) blir lägre än för de fristående växthusen i figur 10 (s. 36) med en area på 100 m<sup>2</sup>.

Då växthuset integrerades mot de båda småhusen med individuella värmesystem reducerades energianvändningen till 373 kWh/m<sup>2</sup>,år mot standardhuset (röda kurvan, figur 11, s. 38) och 366 kWh/m<sup>2</sup>,år mot passivhuset (gula kurvan). Eftersom växthuset vid höga temperaturer utgör en stor andel av den totala uppvärmningsenergin spelar det alltså mindre roll för den totala energianvändningen vilket småhuset det kopplas mot. Dessutom leder de höga temperaturerna i växthuset till att småhusets uppvärmningsbehov reduceras. Vid låga temperaturer i växthuset sker ingen större energibesparing för småhuset i det integrerade systemet då värmeförlusten genom den zonavskiljande väggen fortfarande är relativt stor. Detta på grund av att temperaturskillnaden mellan småhuset och växthuset fortfarande upprätthålls. Men när växthustemperaturerna ökar minskar temperaturskillnaden och värmeflödet genom väggen och när temperaturerna i växthuset slutligen blir högre än rumstemperaturen i småhuset ändrar värmeflödet riktning. Detta leder till att växthuset aktivt börjar värma småhuset genom den zonavskiljande väggen och att småhusets värmesystem inte behöver arbeta i samma utsträckning.

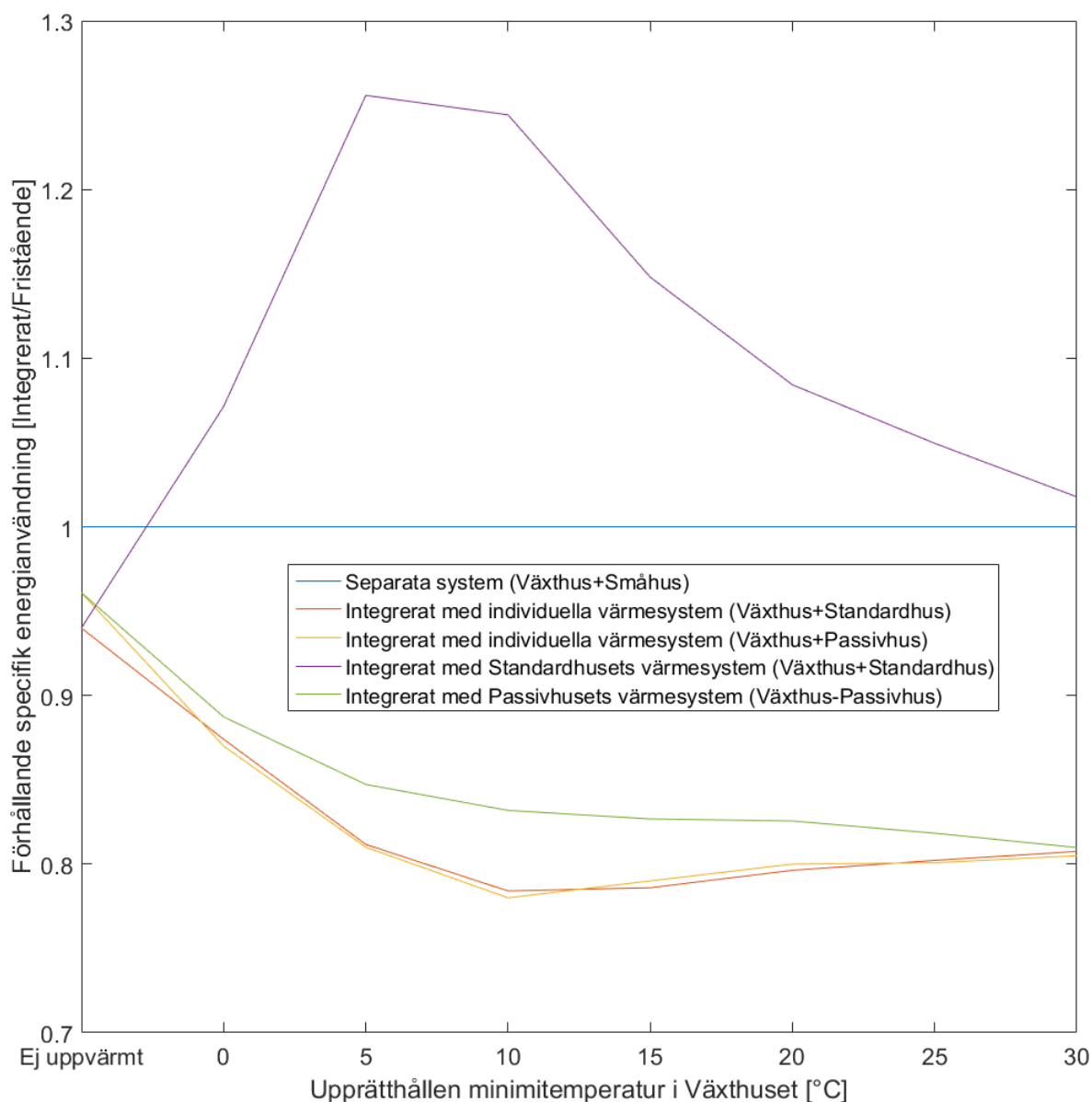
Då standardhusets värmesystem (NIBE F750) användes för att värma växthuset (lila kurvan, figur 11, s. 38) ökade dock energianvändningen till en början på grund av dess låga COP (2,36). Men för högre temperaturer minskade skillnaden i energianvändning och vid 30 °C uppnådde systemet i stort sett samma effektivitet. Detta kan antas bero på

att skillnaden mellan inom- och utomhustemperaturerna under året var så pass stor att verkningsgraden för det i växthuset installerade luft/vatten-systemet från SEMTIC (3,26) blev lägre än standardhusets annars mindre effektiva frånluftsvärmesystem som arbetar med samma effektivitet oberoende av dessa temperaturskillnader.



Figur 11: Specifik energianvändning beroende på minimitemperatur i växthuset med enkelt glas för de separata respektive integrerade systemen.

Förhållandet mellan de integrerade systemen och summan av de fristående systemen för växthus med enkelt glas illustreras i figur 12 (s. 39). För värden under 1 innebär det att det integrerade systemet krävde en lägre uppvärmningsenergi än de båda separata byggnaderna med individuella värmesystem tillsammans. Den blåa referenslinjen (Växthus+Småhus) symboliserar alltså summan av det fristående växthuset adderat med antingen det fristående standardhuset eller passivhuset beroende på vilket integrerat system som jämförs med.



Figur 12: Förhållandet mellan den specifika energianvändningen för växthuset med enkelt glas och ett småhus i de separata respektive integrerade systemen.

I figur 12 går det att utläsa att energianvändningen inte heller förbättrades under integration mot passivhusets värmesystem (gröna kurvan), trots att värmesystemet (NIBE F2030-7) hade ett högre COP på 4,05. Eftersom luft/vatten-värmepumpen från SEMTIC har ett köldmedium (R410A) med lägre temperaturgränser för förångning och kondensering innebar detta att värmesystemet kunde tillgodogöra sig mer energi från de mer frekventa fasövergångarna mellan aggregationstillstånd som följde värmeåtervinningen från ventilationsluft, berg, mark eller uteluft. Dessutom levererar systemet en högre effekt vilket ytterligare förbättrade återvinningseffektiviteten. Då det fristående växthuset med 5 mm glas värmdes till en minimitemperatur på 30 °C resulterade detta till exempel i en specifik energianvändning på 1 470 kWh/m<sup>2</sup>,år för uppvärmning med NIBE F2030-7 (köldmedium R407C) och 1 442 kWh/m<sup>2</sup>,år för uppvärmning med SEMTIC. När effekten för NIBE F2030-7 sedan sattes till densamma som för SEMTIC, 8 670 (+ 1 220) W,

minskade energianvändningen till 1 426 (- 44) kWh/m<sup>2</sup>,år. Då NIBE F2030-7 dessutom kördes med samma köldmedium (R410A) sänktes energianvändningen ytterligare till 1 415 (- 11) kWh/m<sup>2</sup>,år. Den största energibesparingen från värmepumpens värmeåtervinning inträffade under vinterhalvåret och det är också då luft/vatten-system har lägst effektivitet, när skillnaden mellan inom- och utomhustemperaturerna är som högst. De relativa effekterna från värmepumpens värmeåtervinning avtog dock vid högre temperaturer och vid 30 °C reducerades den relativa energianvändningen för växthuset kopplat mot passivhusets värmepump (gröna kurvan) med 19 % gentemot summan av de separata systemen. Vid denna minimitemperatur nådde passivhusets värmesystem (NIBE F2030-7) alltså ungefär samma effektivitet över året som växthuset värmesystem från SEMTIC (röda och orangea kurvan).

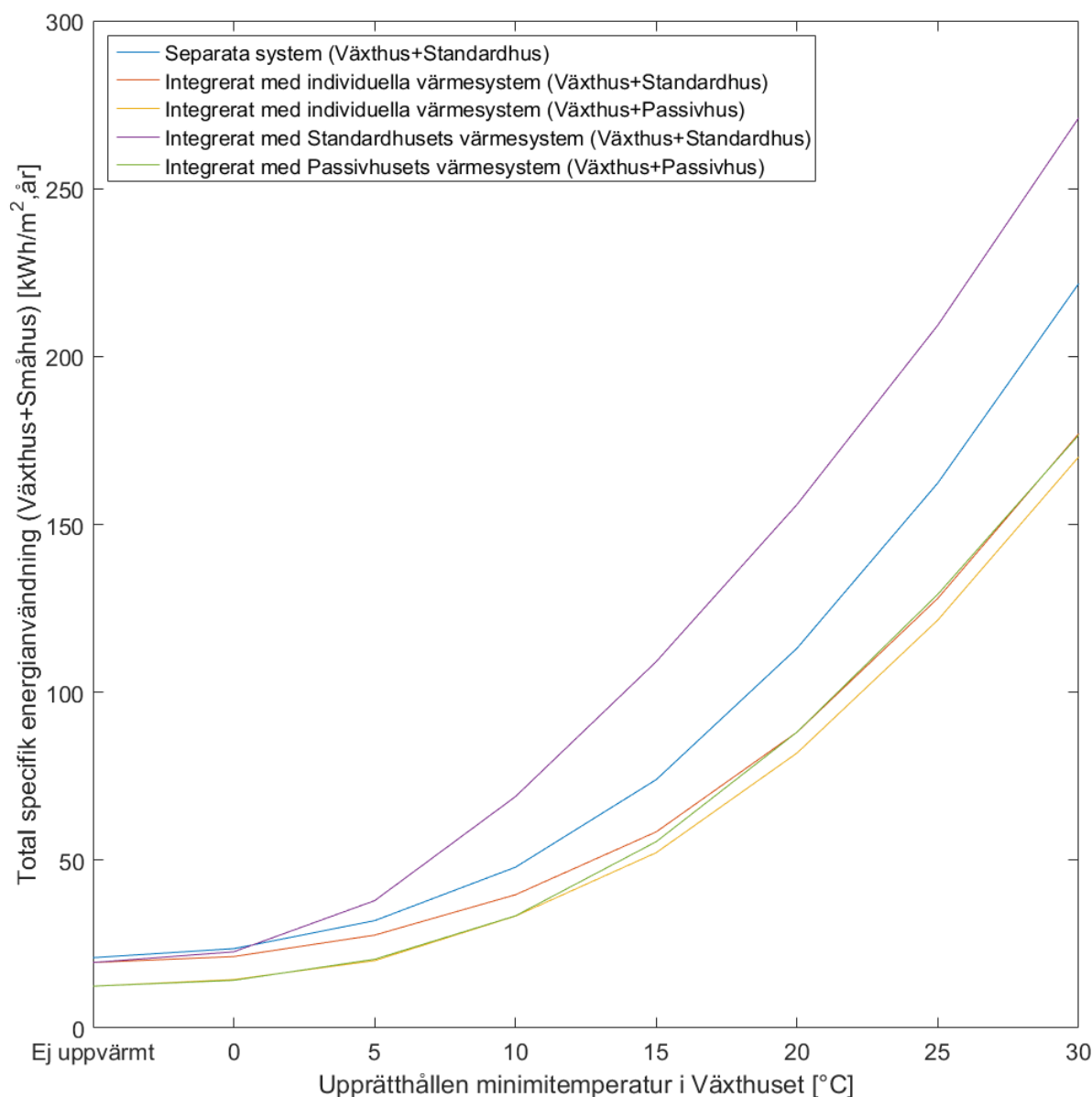
Under integration med ett ouppvärmrt växthus med enkelt glas reducerades standardhusets specifika energianvändning med 6 % och passivhusets med 4 %. Anledningen till att standardhuset drog större fördel av integrationen kan antas bero på att den relativa förbättringen av klimatskalet var större när växthuset installerades mot en byggnad med lägre isoleringsvärde.

Den största energibesparingen från integrationen och det förbättrade klimatskalet inträffade omkring minimitemperaturen 10 °C (röda och orangea kurvan), där integrationen reducerade energianvändningen med uppemot 22 %. Detta är ungefär samma temperatur som den största relativa energibesparingen inträffade då det fristående växthuset med enkelt glas jämfördes mot dubbla glas (sektion 4.4.2). Alltså bör även detta kunna förklaras med att skillnaden i tiden värmesystemet behöver vara påslaget som följd av förbättrad isolering är relativt stor vid dessa temperaturer samt att värmepumpens värmeåtervinning utgör en mer betydelsefull andel av den totala uppvärmnings-energin.

Ur grafen utläses även att systemet under integration med standardhusets mindre effektiva värmesystem (lila kurvan) krävde uppemot 26 % mer energi vid minimitemperaturen 5 °C i växthuset. Vid 30 °C, då luft/vatten-systemens COP försämrades på grund av den stora skillnaden mellan inom- och utomhustemperaturerna och de relativa effekterna från värmeåtervinningen minskade krävde det integrerade systemet kopplat mot frånluftsvärmepumpen endast 2% mer energi.

## Växthus med dubbla glas

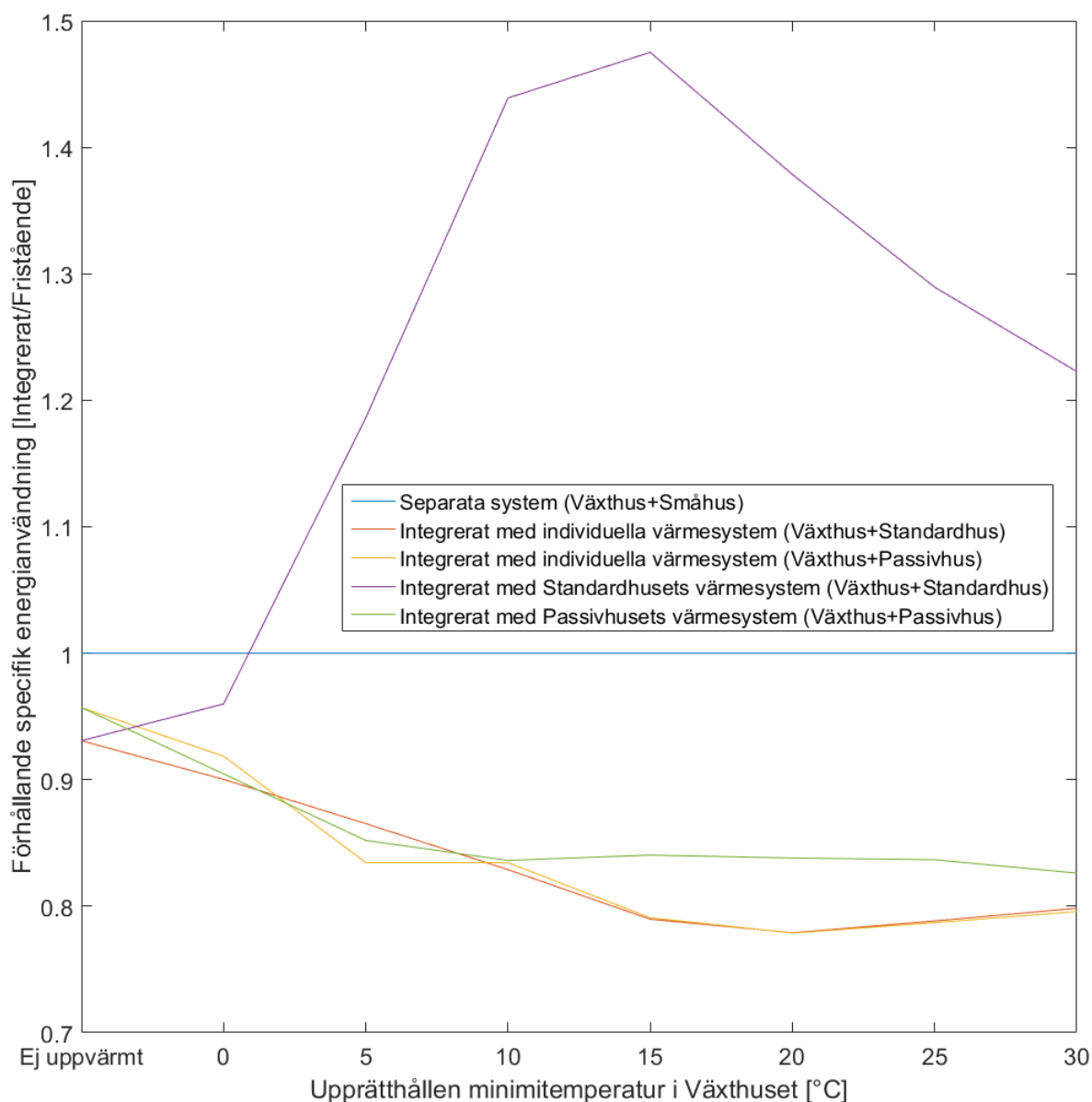
Figur 13 (s. 41) beskriver hur energianvändningen för de separata och integrerade systemen förändrades beroende på den satta minimitemperaturen i ett växthus med dubbla glas. För enkelglas (figur 11 s. 38) låg energianvändningen för de separata systemen (Växthus+Standardhus) på omkring 460 kWh/m<sup>2</sup>,år för en upprätthållt minimitemperatur på 25 °C. För det separata systemet med dubbla glas (Växthus+Standardhus) krävdes endast ca 158 kWh/m<sup>2</sup>,år, eller 34 % av energianvändningen. Vinsterna minskade dock i takt med att den satta minimitemperaturen i växthuset ökade. Detta kan återigen antas bero på att systemet med dubbla glas vid låga minimitemperaturer inte behövde värmas lika ofta och att de relativa effekterna från värmepumpens värmeåtervinning utgjorde en mer betydelsefull andel av den totala uppvärmningsenergin. I takt med att minimitemperaturen i växthuset ökar avtar dock skillnaden i tiden värme-



Figur 13: Specifik energianvändning beroende på minimitemperatur i växthuset med dubbla glas för de separata respektive integrerade systemen.

systemet behöver arbeta och de relativa effekterna från värmeåtervinningen. Men på grund av att växthuset med dubbla glas nådde upp i högre temperaturer under sommaren och har ett lägre uppvärmningsbehov avtog effekterna från dessa faktorer inte lika snabbt i det mer välisolerade växthuset. De satta minimitemperaturerna i växthuset behövde alltså bli högre innan den exponentiellt ökande uppvärmningseffekten stabiliserades och övergick mot att bli mer linjär enligt diskussionen i sektion 4.4.2. Dessutom utgjorde småhusets uppvärmningseffekt en större andel av den totala specifika energianvändningen gentemot växthuset även vid högre temperaturer. Detta innebar således att småhusets förbättrade klimatskal och den reducerade energianvändningen som följde integrationen med växthuset med dubbla glas var mer betydelsefull för systemets totala specifika energianvändning även då de satta minimitemperaturerna i växthuset ökade.

I figur 14 illustreras förhållandet mellan den specifika energianvändningen för de inte-



Figur 14: Förhållandet mellan den specifika energianvändningen för växthus med dubbla glas och ett småhus i de separata respektive integrerade systemen.

rade systemen gentemot summan av de separata. De högsta relativa energivinsterna från integrationen för växthus med dubbla glas inträffade alltså vid en högre minimitemperatur på 20 °C (röda och orangea kurvan) jämfört med enkelglasets 10 °C (figur 12, s. 12). Men den högsta relativa energibesparingen var lika stor för de båda växthusen på 22 %.

För integration med ett ouppvärt växthus med dubbla glas reducerades standardhusets och småhusets specifika energianvändning med 7 % respektive 4 %. Då passivhusets värmesystem (NIBE F2030-7) användes för att värma växthuset (gröna kurvan, figur 14) istället för värmesystemet från SEMTIC (orangea kurvan) nådde systemet till en början en något högre effektivitet vid 0 °C. Men när de satta minimitemperaturerna och effekterna från värmepumpens värmeåtervinning ökade blev SEMTIC återigen det mer effektiva alternativet. Vid minimitemperaturen 30 °C i växthuset hade dock skillnaderna i effektiviteten mellan de båda systemen avtagit något och det integrerade



systemet med passivhusets värmesystem landade på ett ca 17 % reducerat energibehov, 3 procentenheter lägre än systemet med värmepumpen från SEMTIC.

Då standardhusets värmesystem användes (NIBE F750) ökade den totala specifika energianvändningen för det integrerade systemet med upp till 48 % (lila kurvan). För växthuset med enkelt glas ökade energianvändningen endast med uppemot 26 %. Anledningen till att integrationen mot standardhusets värmesystem gav en så pass mycket högre relativ energianvändning kan enligt tidigare framförallt förklaras med att värmeåtervinningen för luft/vatten-värmepumparna i växthuset med dubbla glas utgjorde en betydligt större andel av den totala uppvärmningsenergin. Vid minimitemperaturer på 30 °C reducerades energianvändningen för det integrerade systemet till att bli 22 % högre än summan av de separata systemen. Detta återigen på grund av att luft/vatten-värmepumparnas effektivitet sjunker och att den relativa effekten från värmeåtervinningen avtar.

## Sammanfattning

I tabell 13 listas några av de mer betydelsefulla resultaten från integrationsanalysen, framförallt de relativa max-/minvärdena för integration mot NIBE F750 och SEMTIC. I tabellen beskrivs skillnaden mellan den totala årliga specifika energianvändningen under integration gentemot summan av de separata byggnaderna, beroende på vilket småhus och värmesystem växthuset kopplades mot samt den satta minimitemperaturen i växthuset. Värdena beskriver alltså hur mycket energi som kunde sparas då växthuset integrerades mot småhusen vid olika uppvärmningstemperaturer.

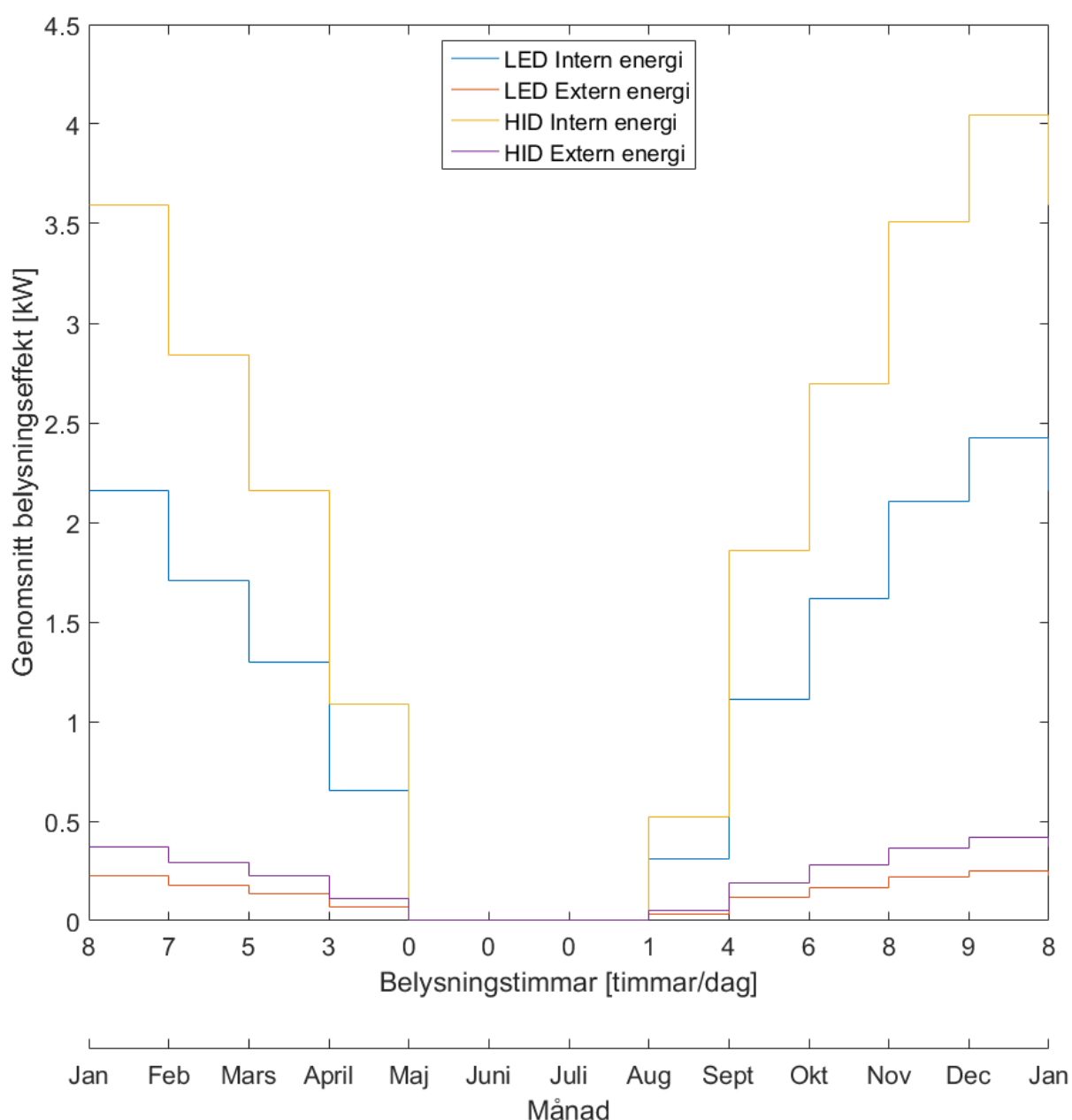
Tabell 13: Skillnaden i specifik energianvändning,  $E_{år}$  för de olika integrationsfallen gentemot summan av de separata systemen för olika upprätthållna minimitemperaturer,  $T_{min}$  i växthuset.

Integration mot Värmesystem/Småhus	Skillnad $E_{år}$ [%] vid (/) $T_{min}$ [°C]	
	Glas 5 mm	Glas 5-16Ar-5mm
Ouppvärmt/Standard	-6/-	-4/-
Ouppvärmt/Passiv	-7/-	-4/-
SEMTIC/Småhus*	-13/0; -22/10; -19/30	-8/0; -22/20; -20/30
NIBE F2030-7/Passiv	-11/0; -17/10; -19/30	-10/0; -16/20; -17/30
NIBE F750/Standard	+7/0; +26/5; +2/30	-4/0; +48/15; +22/30

\* Ingen signifikant skillnad mellan standardhuset och passivhuset.

#### 4.4.4 Belysningsenergi

I figur 15 illustreras den interna och externa belysningseffekten för odling av känsliga grödor månadsvis. I grafen beräknades effekten för varje månad som ett genomsnitt för hela perioden. När systemet var påslaget blev effekten alltså högre än de givna värdena. Effekten för HID belysning beräknades som 66,7 % högre än LED-belysning från LumiGrow enligt sektion 4.3.3 för att illustrera den teoretiska skillnaden mellan systemen. HID-belysning har dock inte använts för beräkningar i denna rapport. Eftersom VIP endast kan sortera driftdata veckovis och månaderna inte exakt består av hela veckor kan en mindre effekt ha fallit över mellan månaderna. Därför är till exempel effekten för åtta timmars belysning i grafen inte exakt densamma för januari och november.



Figur 15: Genomsnittlig intern och extern belysningseffekt för känsliga grödor.

### 4.4.5 Specifik energianvändning

Eftersom den interna effekten från belysningen också bidrog till uppvärmningen av växthuset skilde sig den faktiska specifika energianvändningen för tempererade växthus från summan av de separat beräknade energikonsumtionerna för uppvärmning och belysning som diskuterats i de tidigare sektionerna. Dessutom kan minimitemperaturerna i växthuset sättas något lägre under natten än under dagen. För de olika driftfallen som diskuterades i sektion 4.3.3 listas den beräknade faktiska månadsvisa specifika energianvändningen samt andelen belysning i tabell 14 och 15 (s. 46) för fristående växthus med enkla respektive dubbla glas. Utöver detta beskrivs även energianvändningen för svalhus som diskuterades i sektion 3.4.2 där ingen belysning användes.

Tabell 14: Specifik energianvändning och andel belysning för tempererade växthus och svalhus med 5 mm glas.

	Konsumtion	Jan	Feb	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
1	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	16	11	9	0	0	0	0	0	0	1	4	12
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	30	20	17	0	0	0	0	0	0	2	8	24
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :				53 kWh/m <sup>2</sup> ,år								
2	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	25	17	11	0	0	0	0	0	1	7	15	24
	Belysning [%]	47	47	24	0	0	0	0	0	100	87	79	61
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	25	17	11	0	0	0	0	0	1	7	15	24
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :				101 kWh/m <sup>2</sup> ,år				Andel belysning:		56%		
3	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	82	72	53	9	0	0	0	0	7	33	56	86
	Belysning [%]	22	19	16	27	0	0	0	100	92	37	31	24
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	21	18	13	2	0	0	0	0	2	8	14	22
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :				399 kWh/m <sup>2</sup> ,år				Andel belysning:		25%		
4	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	166	149	130	51	14	3	1	5	28	100	134	173
	Belysning [%]	14	13	11	14	0	0	0	64	44	18	17	16
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	17	16	14	5	1	0	0	0	3	10	14	18
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :				953 kWh/m <sup>2</sup> ,år				Andel belysning:		16%		
1. Svalhus (obelyst 3°C)				2. Härdiga växter			3. Halvhärdiga växter			4. Känsliga växter			

I tabellerna kan det utläsas att belysningen utgör en större del av den totala energianvändningen vid lägre minimitemperaturer i växthuset och senare på året när utomhus-temperaturerna fortfarande är relativt höga men solljuset avtar. Över hela året utgjorde

belysningsenergin för ett växthus med enkelt glas 56 % av energianvändningen för hårdiga grödor, 25 % för halvhårdiga och 16 % för känsliga grödor. Den årliga uppvärmningsenergin ökar alltså mer än belysningsenergin då driftfallen anpassas för odling av mer känsliga grödor.

För växthus med dubbla glas (tabell 15) utgjorde belysningen en större andel av den årliga energikonsumtionen; 83 % för hårdiga grödor, 57 % för halvhårdiga och 41% för känsliga. Detta på grund av att ett bättre isolerat växthus inte har ett lika stort uppvärmningsbehov. Den totala specifika energianvändningen för växthus med dubbla glas var 33 %, 57 % respektive 62 % lägre än för växthus med enkla glas för odling av hårdiga, halvhårdiga respektive känsliga grödor. Energibesparingen var alltså större för mer känsliga grödor vilket framförallt kan antas bero på att belysningsenergin utgör en betydligt större andel av den totala energianvändningen för växthus med dubbla glas vid låga uppvärmningstemperaturer. För svalhusen där ingen belysning användes reducerades den årliga specifika energianvändningen med 70 %.

Tabell 15: Specifik energianvändning och andel belysning för tempererade växthus och svalhus med 5-16Ar-5 mm glas.

	Konsumtion	Jan	Feb	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
1	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	2	5
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	30	20	11	0	0	0	0	0	0	1	9	29
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :		16 kWh/m <sup>2</sup> ,år										
2	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	15	11	4	0	0	0	0	0	1	6	13	18
	Belysning [%]	77	76	62	0	0	0	0	0	100	97	92	83
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	23	16	6	0	0	0	0	0	1	9	19	26
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :		68 kWh/m <sup>2</sup> ,år				Andel belysning:				83%		
3	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	36	28	18	3	0	0	0	0	7	16	27	38
	Belysning [%]	50	48	48	78	0	0	0	100	99	72	65	55
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	21	16	10	2	0	0	0	0	4	10	16	22
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :		173 kWh/m <sup>2</sup> ,år				Andel belysning:				57%		
4	$E_{mån}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	67	58	41	13	1	0	0	4	14	37	53	70
	Belysning [%]	36	33	35	55	0	0	0	97	86	49	44	38
	$E_{mån}/E_{år}$ [%]	19	16	12	4	0	0	0	1	4	10	15	19
	Årlig specifik energianvändning $E_{år}$ :		358 kWh/m <sup>2</sup> ,år				Andel belysning:				41%		
1. Svalhus, obelyst 3°C		2. Hårdiga växter			3. Halvhårdiga växter			4. Känsliga växter					

## 4.5 Känslighetsanalys

I denna sektion diskuteras hur förändringar i indatan påverkade resultaten från simuleringarna i syfte att undersöka resultatens känslighet. Dessutom diskuteras skillnaderna mellan växthus konstruerade med Solexxs täckmaterial och växthus med dubbla glas.

Då solgenomstrålningen, g-värdet och ST-värdet minskades med 10 respektive 20 procentenheter i växthuset med dubbla glas ökade den specifika energianvändningen med 2.2 % respektive 5 % under driftfall för odling av känsliga grödor. Solexx var det mest energieffektiva materialet med ett 7 % lägre U-värde och ca 12 procentenheter lägre solgenomstrålning. Växthuset som byggdes med Solexxs täckmaterial hade för de fristående fallen en specifik energianvändning som var upp till 6 % lägre än det med dubbla glas. Alltså var U-värdet den känsligaste variabeln för växthusmaterialen. Den största energibesparingen inträffade vid minimitemperaturer på 15-20 °C.

Då den termiska massan i den zonavskiljande väggen dubblades skedde ingen förändring för den specifika energianvändningen varken för integrerade eller fristående system. Detta borde dock ha kunnat påverka resultaten då väggen kan hjälpa till att stabilisera temperaturskillnaderna i växthuset mellan dag och natt och på så vis minska uppvärmningsbehovet. Värmekapaciteten tycks dock inte spela någon större roll för beräkningarna i VIP vilket även kan bero på att dagstemperaturerna i Uppsalas klimat sällan når över den satta rumstemperaturen i småhusen och att den latent energi således inte är har en betydelsefull effekt. Eftersom marginella skillnader i solgenomstrålning och värmekapacitet inte hade någon större effekt för simuleringarna i VIP kan även lösningen med den zonavgränsande väggen som beskrevs i sektion 4.3.2 antas ha fungerat väl.

Fukttillskottet i driftfallen var satt till 1 mg/s,m<sup>2</sup> men detta värde påverkade inte den specifika energianvändningen för växthusen överhuvudtaget. Eftersom en mer fuktmättad luft har en något högre värmekapacitet och konduktivitet bör dock detta ha kunnat påverka resultaten. Enligt VIP:s manual tycks värdet dock enbart påverka värmeåtervinning och kylfunktioner i samband med ventilation och frånluftsvärmepumpar. Eftersom dessa inte var installerade i växthusen kan detta förklara att värdet inte hade någon betydelse i simuleringarna.

Luften som utbyttes mellan zonerna genom den zonavskiljande väggen var satt till 5 %. Detta värde hade heller ingen effekt på resultaten även om det sattes till 0 % eller 20 %. Inte ens takvinkeln på växthuset hade någon betydelse för beräkningarna. Detta bör dock vara signifikant då solgenomstrålningen ökar för mer direkta instrålningsvinklar. I simuleringarna var värdet på lufttätheten i växthusmaterialen satt till 0,5 l/m<sup>2</sup>,s. Om det istället sattes till 1 eller 1,5 ökade energianvändningen med mindre än 0,7 %.

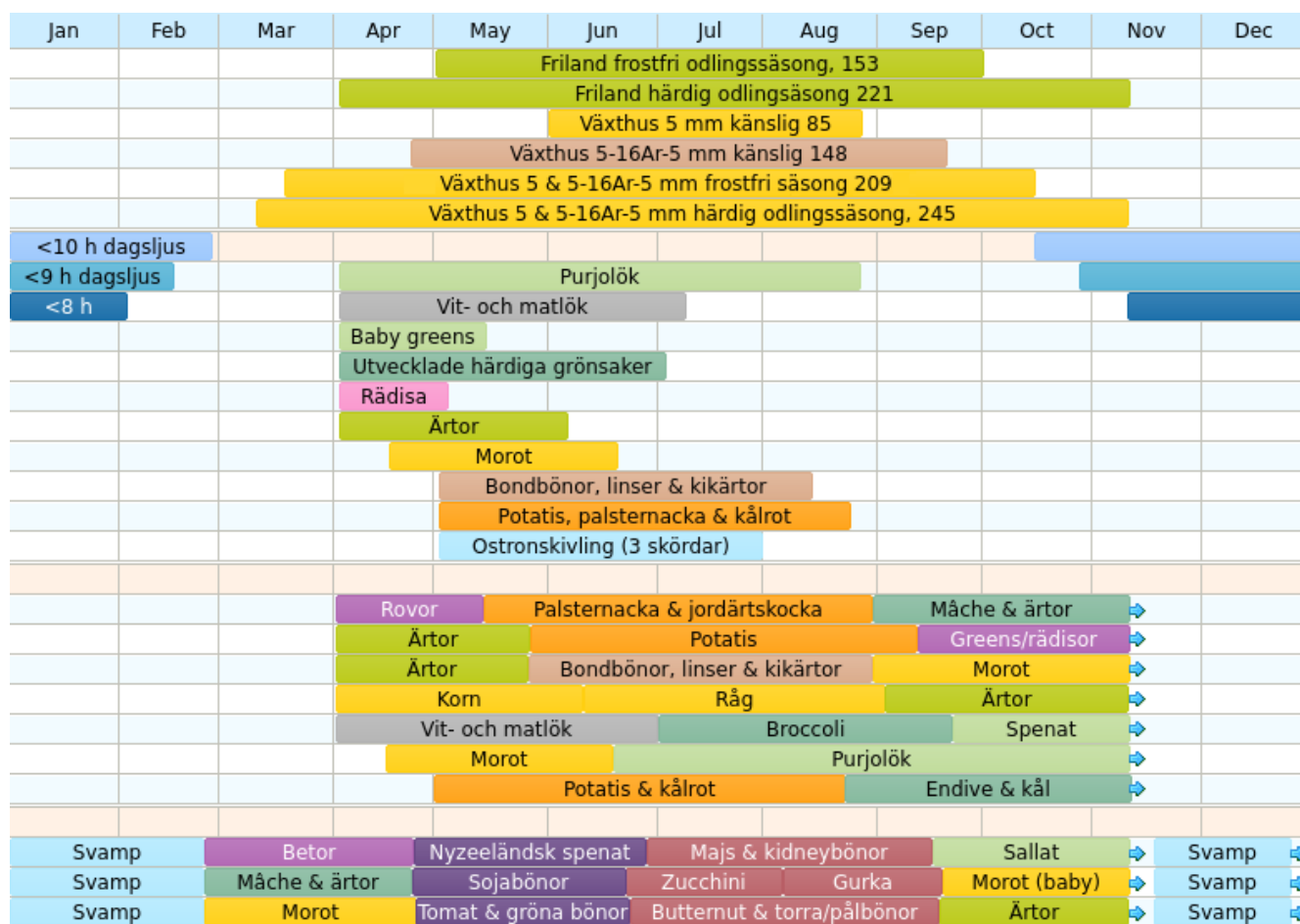
Då samtliga byggnadskomponenter i de fristående växthusen skalades upp till 1 000 m<sup>2</sup> med en steglängd på 100 m<sup>2</sup> reducerades uppvärmningsbehovet med 1-5 % per steg med fallande steglängd till en total reduktion på 18 % för minimitemperaturer på 25 °C. Detta kan antas bero på att växthusets takhöjd inte förändrades, att marken således utgjorde en allt större andel av den totala omslutningsarean och att växthusets genomsnittliga U-värde förbättrades. För att värma ett uppskalat växthus på 1 000 m<sup>2</sup> till en minimitemperatur på 25 °C krävdes endast 865 (- 190) kWh/m<sup>2</sup>,år.

## 5 Säsongsanalys och ytbehov

I denna sektion beräknas den frilandsyta som krävs för att täcka en familjs årliga matbehov som beräknades i sektion 2.3 samt hur ytan, energikonsumtionen och matvariationen förändrades med olika typer av växthusodling. Vitamin B<sub>12</sub> antogs dock tillgodoses via tillskott enligt diskussionen i sektion 2.3. I datasektionen 1.5 återfinns en sammanställning av ett hundratal olika växters klimatbehov, utvecklingstider och den skörd som kan förväntas i ett ekologiskt jordbruk. Eftersom det kan vara svårt att lagra maten över vintern har det räknats med en förlust på 5 % av produktionen. Även om förlusterna för vissa grödor kan uppgå till 15-30 % då de ska säljas färska[129] och en viss marginal kan vara viktigt i mer självhushållande sammanhang beräknades detta kunna kompenseras för med hjälp av de ätbara men deformerade eller skadade grödorna som annars sorteras bort. Stärkelserna som utgör den större delen av matbehovet och många bladgrönsaker har dessutom ofta goda lagringsegenskaper för till exempel torkning, kyl- eller frysförvaring.

I de fall där endast konventionell skördestatistik hittades beräknades den förväntade skörden för ett motsvarande ekologiskt system sjunka med ca 10 % för perenna grödor och 35 % för annuella[130, s. 229-230]. Om statistiken dessutom kom från odling i varmare klimat räknades ytterligare 10 % bort. Om ett intervall avgavs användes dock det konservativa värdet utan ytterligare avdrag. I Jordbruksverkets normskördar för frilandsodling[131] angavs relativtal för ekologisk skörd på omkring 50 % för de flesta stärkelserna. Den förväntade skörden för till exempel potatis i ekologiska jordbruk sjönk således från ca 28 ton/ha till 14 ton/ha för odling i Svealands slättbygder; i Skåne låg skördarna uppemot 36 ton/ha. Trots att värden ibland fanns angivna specifikt för Uppsalas län ansågs antalet företag vara för låga för att ge pålitliga resultat, vilket är anledningen till att skördestatistiken istället baserades på data för Svealand eller hela riket; i det senare fallet med en klimatförlust på 10 % enligt ovan. Enligt diskussionen i sektion 3.2 ska det även tilläggas att man bör kunna förvänta sig högre skördar i ett utvecklat biologiskt odlingssystem än vad som anges för konventionell ekologisk odling.

Den frostfria odlingssäsongen för frilandsodling i Uppsala beräknas enligt SMHI ligga på 153 dagar. Utifrån detta togs sedan odlingssäsonger och förslag på växtföljder fram för olika typer av grödor med hjälp av växtdatan från sektion 1.5 och resultaten från växthusberäkningarna i sektion 4.4. Härdiga grödor antogs kunna sås ca fyra veckor före datumet för sista frosten och växa fram tills dagsljuset går ner till åtta timmar den 10 november enligt diskussionen i sektion 3.4. Tillväxten avtar dock redan vid början på persefones säsong då dagsljuset är lägre än tio timmar efter 15 oktober (sektion 3.4). Halvhärdiga grödor antogs kunnas sås antingen samma datum som sista frosten inträffar eller två veckor tidigare som för till exempel morötter. De känsliga grödorna antogs bara kunna odlas i växthus under de beräknade odlingssäsongerna då de lägsta växthustemperaturerna under dygnet låg över 10-15 °C. Det kan dock gå att odla känsliga grödor utomhus under en kort period under sommaren i anpassade mikroklimat som till exempel i lä mot en husvägg där temperaturerna är högre under natten med hjälp av den termiska massan. Resultaten från säsongsanalysen illustreras i figur 16 (s. 49).



Figur 16: Den frostfria säsongen och de beräknade odlingssäsongerna för olika typer av grödor för frilandsodling (gröna perioderna överst i figuren) och växthusodling (gula och bruna perioderna); ungefärliga utvecklingstider och såttider för olika typer av grödor samt förslag på växtföljder för frilands- och svalhusodling (nederst i figuren).

Överst i bilden listas odlingssäsongerna för hårdiga och känsliga grödor på friland och i de två växthusen med enkla respektive dubbla glas. Även den beräknade frostfria säsongen och periodernas längd i dagar står beskrivet i figuren. Under de beräknade säsongerna illustreras olika grödors ungefärliga utvecklingstid och tidigaste såttid för frilandsodling. Därefter ges olika förslag på hur dessa skulle kunna odlas efter varandra i en växtföljd över säsongen. I växtföljden komprimerades dock utvecklingstiderna något då sådden av kommande gröda beräknades ske ca tio dagar innan skörd med hjälp av Fukuokas fröbollar som diskuterades i sektion 3.2. Pilarna till höger visar att det är möjligt att täcka över grödorna och förlänga skördesäsongen. Vissa växter som till exempel grönkål och purjolök kan stå ute i stort sett hela vintern om man ger dem skydd; till och med ett snötäcke kan vara tillräckligt[132].

Längst ned i bilden visas ett förslag på hur en typ av växthusodling skulle kunna se ut. När de stående grödorna från hösten börjat sköras av kan växthuset värmas till 3 °C för att möjliggöra svampodling under vintern. Enligt diskussionen i sektion 3.4.2 övergår alltså växthuset till ett svalhus. Därefter kan odlingssäsongen för mer hårdiga grödor påbörjas så fort persefones säsong tar slut den 25 februari.

Om växthuset är konstruerat med dubbla glas eller Solexxs täckmaterial beräknades känsliga grödor kunna odlas från 25 april fram till ungefär 20 september. De kan dock förmodligen stå färska i växthuset i ytterligare 20 dagar tills temperaturerna går under 0 °C. Eftersom köldskyddet i växthuset med dubbla glas (sektion 4.4) tycktes stämma relativt väl överens med Colemans empiriska data för kallhus (sektion 3.4.1) kan det vara möjligt att ett växthus av enkelt glas med ett täckmaterial över växterna inuti växthuset har en liknande temperaturutveckling.

Det är fyra viktiga punkter som kan utläsas ur figur 16. En av dem är att det bör vara möjligt att odla två uppsättningar spannmål per säsong. De flesta spannmålen har en utvecklingstid på ca 90 dagar men korn behöver endast 60-90 dagar. Om man räknar med 85 dagar per spannmål och drar bort 10 dagar för den tidigare sådden med fröbollarna krävs totalt 160 dagar för att ta ut två spannmålsskördar. Detta tycks ligga inom den 221 dagar beräknade hårdiga odlingssäsongen på friland med relativt god marginal. Dagsljuset är dock bristfälligt under den sista månaden men en viss tillväxt sker fortfarande. För att täcka familjens stärkelsebehov krävs således hälften av ytan för spannmålsodling jämfört med om man bara tar ut en skörd per säsong.

Den andra viktiga punkten är att detsamma tycks gälla även för baljväxter. Ärtor är hårdiga och kan odlas i växtföljd med linser eller potatis. Det kan till och med gå att skörda tre olika baljväxter per säsong, men för att möjliggöra ett större utrymme för grönsaker i växtföljden har odlingsytan för baljväxter halverats gentemot om man bara tar ut en skörd per säsong. Eftersom 70 % av matbehovet beräknas bestå av stärkelser (sektion 2.3) är den tredje viktiga punkten att det relativt låga grönsaksbehovet bör kunna täckas i växtföljderna omkring framförallt potatisen och baljväxterna. Frukt och bär är framförallt perenner och antas därför ge en skörd per säsong.

Eftersom de stärkelser som kan odlas i växthuset som till exempel squash tycks producera ungefär lika mycket kalorier som potatis (datasektionen 1.5) är den sista viktiga punkten att växthuset med hjälp av den förlängda odlingssäsongen potentiellt kan leverera en dubbel mängd mer varierade stärkelser gentemot frilandsodling. Då återstår dock ett mindre utrymme i växtföljden för grönsaksodling vilket kan innebära att en mindre yta behöver avsättas specifikt för att täcka behovet.

På grund av att frukt bara antas leverera en skörd per säsong och grönsaksbehovet kan täckas i växtföljderna omkring stärkelseproduktionen har stärkelsena visat sig vara den avgörande flaskhalsen i produktionen. Eftersom växthusodling potentiellt kan leverera en dubbel mängd stärkelser per säsong innebär detta alltså att det endast krävs ungefär hälften av ytan för att täcka en familjs matbehov i växthus gentemot odling på friland. Den beräknade skörden för känsliga grödor är dock inte lika pålitlig då statistiken hämtades från varmare länder och översattes till Uppsalas klimat med ett flertal antaganden. Det är möjligt att en något högre skörd kan förväntas då beräkningarna i vissa fall ledde till relativt kraftiga avdrag, speciellt i de fall då värdena valdes som de mest konservativa skördenivåerna i intervall med stora marginaler. Ett växthusklimat i Sverige under sommaren skiljer sig förmodligen inte särskilt mycket från frilandsodling i varmare länder.



I tabell 16 visas ett förslag på hur familjens matbehov skulle kunna täckas på friland som resulterar i ett ytbehov på 4 676 m<sup>2</sup> (markerat i blått). Kolumnen "yta/säsong" beskriver det slutgiltiga ytbehovet i växtföljden under säsongen medan "yta/skörd" beskriver ytbehovet om endast en skörd togs ut under året. Eftersom grönsaksbehovet antogs kunna täckas omkring till exempel potatis i växtföljden sattes ytbehovet för livsmedelsgruppen till 0 m<sup>2</sup>. Ytbehovet varierar framförallt beroende på vilken fördelning av stärkelser som odlas. Om den enda stärkelsen som odlas är potatis resulterade det till exempel i ett ytbehov på 2 813 m<sup>2</sup>.

Dessa resultat stämmer även relativt väl överens mot en tidigare fallstudie genomförd av Lilja May Otto från 2001[133] där hon uppskattade ett ytbehov på 800 m<sup>2</sup> för att möta en persons matbehov i Uppsala med en vegankost till stor del baserad på rotfrukter. Projektet genomfördes med en biologisk odlingsmetod (Permakultur) och trots att hon inte lyckades producera det fullständiga behovet på den angivna ytan menade hon att detta till stor del kunde anses bero på att systemet, framförallt frukt- och nötträden inte getts tillräcklig tid att utvecklas. I ett annat studentprojekt genomfört av Jenny Helsing[134] beräknades ytbehovet för att producera en persons grönsaksbehov med ekologisk odling i zon IV till 521-526 m<sup>2</sup>. Denna yta syftade dock inte till att täcka det fullständiga matbehovet utan endast grönsaksdelen i en blandkost.

Tabell 16: Förslag på produktion och det beräknade ytbehovet för att producera en familjs årliga matbehov på friland. Kolumnen "Yta/säsong" beskriver det slutgiltiga ytbehovet i växtföljden under säsongen.

Stärkelse	70%	Andel [%]	Kg/familj,år	Yta/skörd [m <sup>2</sup> ]	Yta/säsong [m <sup>2</sup> ]
Potatis		50	1 527	1 090	1 090
Palsternacka & jordärtskocka		10	305	285	285
Spannmål		30	916	3 982	1 991
Stärkelserika högkaloriböner		10	305	1 353	676
Totalt		100	3 053	6 711	4 043
Grönsaker	20%				
Ostronskivling		20	174	4.4	0
Morot		30	262	87	0
Bladgrönt		30	262	227	0
Övrigt, rot- och stjälkgrönsaker		20	174	134	0
Totalt		100	872	453	0
Frukt & bär	10%				
Äpple		55	240	218	218
Körsbär, vindruvor & plommon		30	131	218	218
Bär		15	65	196	196
Totalt		100	436	633	633
Totalt			4 362	7 796	4 676

Eftersom ytbehovet i tabell 16 (s. 51) är beräknat utan involvering av växthus blir dock växtutbudet relativt lågt då inga känsliga grödor kan odlas; förutom eventuellt med anpassade mikroklimat. Det krävs även mer storskaliga lagringsmetoder även om vissa hårdiga grödor kan stå färska under enkla odlingstäckan över vintern. Det kan även vara fördelaktigt att så vissa grödor i flera omgångar med några veckors mellanrum för att möjliggöra en mer utdragen skördesäsong vilket skulle kunna innebära en viss ökning av ytbehovet. Kryddor har heller inte inräknats men kan förväntas ta upp en relativt liten yta som kan rymmas i växtföljderna. Om växterna förkultiveras inomhus är det även möjligt att starta odlingssäsongen något tidigare vilket skulle kunna minska ytan som krävs för produktionen. Inga nötter, frön eller oljor har heller inkluderats i beräkningarna enligt diskussionen i sektion 2.3.

För att minska lagringsbehovet, öka variationen och möjliggöra dubbla skördar av stärkelse varje säsong kan alltså en växthuslösning likt den beskriven i figur 16 (s. 49) implementeras. Om växthuset värms till svalhustemperaturer ( $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) under mars för att ge de hårdiga växterna i växthuset en bättre start på säsongen krävs i genomsnitt ca 9 respektive 2 kWh/m<sup>2</sup> för växthus med enkla respektive dubbla skyddslager (sektion 4.4.5). Om temperaturerna även ska upprätthållas för svampodling under vinterhalvåret beräknades den specifika energianvändningen för de respektive växthusen landa på 53 eller 16 kWh/m<sup>2</sup>,år (sektion 4.4.2).

Om LED-belysning sedan installeras i växthuset och driftfallet anpassas för odling av hårdiga grödor beräknades energikonsumtionen öka till 101 respektive 68 kWh/m<sup>2</sup>,år (sektion 4.4.5). Detta skulle dock inte kunna öka produktionen av stärkelser eller minska ytbehovet ytterligare utan endast förlänga odlingssäsongen för de grönsaker som annars kan stå i växthuset utan tillväxt. Om det istället odlas halvhårdiga grödor som till exempel potatis under vintern beräknades växthusens specifika energianvändning öka till 399 respektive 173 kWh/m<sup>2</sup>,år. I detta scenario kan ytbehovet för att täcka familjens matbehov reduceras med 67 % gentemot frilandsodling då det är möjligt att ta ut tre skördar av potatis under året.

För det sista driftfallet, då växthuset tempererades med uppvärmning och belysning för känsliga grödor under hela året beräknades den specifika energianvändningen till 953 respektive 358 kWh/m<sup>2</sup>,år för växthus med enkla respektive dubbla glas. Eftersom den specifika energianvändningen ökar exponentiellt mot den satta minimitemperaturen i växthuset (sektion 4.4.2) tycks detta vara en något energiintensiv lösning då familjens fastighetsrelaterade energibehov (den totala årliga energianvändningen) blir ca 8 eller 20 gånger större då de respektive växthusen inkluderas i beräkningen. Ett sådant växthus kan heller inte antas ytterligare reducera ytbehovet för att täcka familjens matbehov, utan bidrar endast till en ökad variation. Odlingssäsongen för de känsliga grödorna förlängs med ca sju månader och den potentiella skördesäsongen med åtta månader gentemot om de odlas i ett otempererat växthus med dubbla skyddslager och tillåts stå utan tillväxt fram till 10 oktober. Om växthuset istället endast tempereras för odling av känsliga grödor på våren från början av mars krävs ungefär 20 % respektive 15% av energin (sektion 4.4.5). I detta scenario förlängs både odlingssäsongen och skördesäsongen dock endast med ca 2 månader och kan således inte öka matvariationen i särskilt stor utsträckning.

Den lösning som tycks vara mest yt-, resurs-, och energieffektiv tycks vara att utnyttja ett välisolerat växthus utan belysning för att möjliggöra skörd av dubbla stärkelser, förlänga odlings- och skördesäsongen samt odla svamp i svalhusklimat. Detta innebär även en betydelsefull ökning av matvariationen och reducerar lagringsbehovet gentemot fri-landsodling. I STF Växthuset Vandrarhem i Söderhamn kunde de sista känsliga grödorna i deras uppvärmda men obelysta vinterträdgård skördas ända fram till jul (sektion 3.4.3). Om detta antas gälla även i svalhus och uppvärmningen i växthuset stängs av i mitten på december då de sista känsliga grödorna kan skördas och svampodlingar som påbörjades i mitten på september ger sin sista skörd; och värmesystemet sedans slås på igen då persefones säsong tar slut i början av mars för att hjälpa tillväxten för de tidiga grödorna; resulterar detta i en årlig energianvändning på ca 19 eller 6 kWh/m<sup>2</sup>,år för de respektive växthusen. För ett växthus med dubbla glas på 100 m<sup>2</sup> innebär detta en ökning av familjens fastighetsrelaterade energibehov på ca 12 % gentemot det enskilda standardhuset. Jämfört med en normalbyggnad med samma design som standardhuset men med en energianvändning på ca 100-150 kWh/m<sup>2</sup>,år (sektion 4.3.3) hade detta endast inneburit en ökning av familjens fastighetsrelaterade energibehov på ca 3-4,5 %. Jämfört mot en specifik energianvändning på 55 kWh/m<sup>2</sup>,år enligt kravet för nybyggen från BBR hade det inneburit en ökning på 8 %. Enligt känslighetsanalysen (sektion 4.5) hade växthus med större yta dessutom en lägre specifik energianvändning. Om växthuset även integreras mot en byggnads södervägg kunde den årliga specifika energianvändningen för de båda byggnaderna reduceras ytterligare med ca 16 % eller 12 % för svalhus med enkla respektive dubbla glas (sektion 4.4.3).

## 6 Sammanfattning och slutsats

För en familj som följer en stärkelsebaserad vegankost bestående av 70 % stärkelser, 20 % grönsaker och 10 % frukt beräknades det årliga matbehovet till 4 362 kg. Dock antogs att behovet av vitamin B<sub>12</sub> säkerställdes genom kosttillskott. Med hjälp av biologiska odlingsmetoder som återuppbygger jordens näringsväv och markens organiska innehåll tycks detta matbehov kunna produceras med ett flertal miljömässiga fördelar. Med hjälp av minimal jordbearbetning och diversiva täckgrödor kan jordens näringsväv och organiska innehåll återuppbyggas. Då näringsväven utvecklas förbättras markens biologiska funktioner vilket leder till att jorden kan binda mer kol från atmosfären, infiltrera en större mängd vatten och omsätta mer näring. Detta kan även bidra till att motverka kompaktion- och erosionsproblem, växtskadliga anaerobiska förhållanden, övergödning och den globala uppvärmningen. Eftersom jordens totala näringslager kan räcka för att försörja kontinuerlig skörd i tiotusentals år kan dessutom behovet av kontinuerlig gödsling reduceras. Utifrån ekologisk skördestatistik beräknades ytan som krävs för att producera familjens matbehov till 4 676 m<sup>2</sup> med en större andel baljväxter och spannmål i växtföljden och 2 813 m<sup>2</sup> då hela stärkelsebehovet täcktes av mer produktionseffektiv potatis.

Med hjälp av olika typer av växthusodling kan en större variation i kosten möjliggöras och lagringsbehovet över vintern reduceras. För odling i växthus beräknades ytbehovet kunna minska med uppemot 50 % gentemot frilandsodling då en dubbel skörd av stärkelser möjliggjordes i den förlängda odlingssäsongen. I fristående växthus med enkla glas beräknades känsliga grödor kunna odlas under en period på 85 dagar från början av juni till slutet av augusti då temperaturerna under natten ligger över 10-15 °C. För växthus med dubbla glas förlängdes perioden till ca 148 dagar. Under vintern kan även hårdiga växterna stå färska utan tillväxt och invänta skörd i växthusen vilket reducerar lagringsbehovet; vissa växter kan till och med klara sig utomhus under snö eller enkla odlingstäckan.

Om växthuset värms till svalhustemperaturer (3 °C) för att möjliggöra svampodling över vintern beräknades den specifika energianvändningen till 53 respektive 16 kWh/m<sup>2</sup>,år för växthus med enkla respektive dubbla glas. För att odla hårdiga respektive halvhårdiga grödor året runt beräknades den specifika energianvändningen med installerad LED-belysning till 101 respektive 399 kWh/m<sup>2</sup> för växthus med enkla glas och 68 respektive 173 kWh/m<sup>2</sup>,år för växthus med dubbla glas. Eftersom tre skördar av stärkelser som till exempel potatis möjliggjordes i det tempererade växthuset kunde ytbehovet reduceras med ungefär 67 % gentemot frilandsodling. För att odla känsliga grödor som till exempel tomat, squash och gurka under hela året krävdes 953 respektive 358 kWh/m<sup>2</sup>,år för de respektive växthusen. Detta tycks dock inte vara en energimässigt hållbar lösning då familjens fastighetsrelaterade energianvändning blev ca 8 till 20 gånger större gentemot standardhuset beroende på vilket täckmaterial växthuset konstruerades av. Istället föreslogs en lösning där växthuset installerades utan växtbelysning och värmdes till svalhustemperaturer under vår och höst fram till mitten på december för att möjliggöra en förlängd odlings- och skördesäsong samt svampodling i svalhusklimat. För ett växthus med dubbla glas på 100 m<sup>2</sup> innebar detta endast en specifik energianvändning på ca

6 kWh/m<sup>2</sup>,år eller en ökning av familjens fastighetsrelaterade energibehov med 12 % gentemot det enskilda standardhuset.

Då växthuset integrerades mot södersidan av ett småhus förändrades inte temperaturerna tillräckligt för att påverka odlingssäsongerna. Det kan dock vara möjligt att den zonavskiljande väggen skapar ett mikroklimat där säsongen förlängs något. Den specifika energianvändningen för de integrerade systemen då växthuset kopplades mot ett småhus reducerades med upp till 22 % vid minimitemperaturer på 10 °C eller 20 °C för växthuset med enkelt respektive dubbelt glas. Anledningen till att dessa minimitemperaturer i växthuset gav den största relativa energivinsten kan framförallt antas bero på värmepumpens värmeåtervinning som vid de nämnda temperaturerna utgjorde en mer betydelsefull andel av den totala uppvärmningsenergin.

Då växthuset kopplades mot standardhusets frånluftsvärmesystem med ett lägre COP ökade energianvändningen vid låga minimitemperaturer i växthuset med upp till 26 % för växthuset med enkelt glas och 48 % för växthuset med dubbla glas för att sedan reduceras till en ökning på 2 % respektive 22 % vid minimitemperaturer på 30 °C. Anledningen till växthuset med dubbla glas hade en större relativ energiförlust under koppling mot frånluftsvärmesystemet kan återigen framförallt antas bero på att luft/vatten-värmepumpens värmeåtervinning utgjorde en större andel av den totala uppvärmningsenergin. Att frånluftsvärmepumpens relativa energianvändning minskade för högre temperaturer berodde dels på att de relativa effekterna från värmeåtervinningen avtog samt att luft/vatten-systemens effektivitet minskar då skillnaden mellan i inom- och utomhustemperaturen ökar.

Passivhusets värmesystem var generellt det mindre effektiva luft/vatten-systemet trots att det hade ett högre COP. Detta framförallt på grund av att det levererade en lägre effekt och hade ett kylmedium med högre temperaturgränser för förångning och kondensering vilket innebar att effekterna från värmeåtervinningen minskade.

## 7 Referenser

*Källor från internet tillgängliga 2016-11-13*

- [1] Diamond, J. (2005). "Collapse: How Societies Chose to Fail or Succeed".
- [2] Janetos, A.C., Kasperson, R., Agardy, T., Alder, J., Ash, N., DeFries, R., Nelson, G. (2005). "Millennium Ecosystem Assessment, Chapter 28–Synthesis: Condition and Trends in Systems and Services, Trade-offs for Human Well-being, and Implications for the Future". United Nations.
- [3] Fraser, E., Fraser, E. (2014). "10 things you need to know about the global food system". The Guardian. <http://www.theguardian.com/sustainable-business/food-blog/10-things-need-to-know-global-food-system>.
- [4] Henochowicz, S.I. (2014). "Food additives". U.S. National Library of Medicine, MedlinePlus. <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/002435.htm>.
- [5] Ekologiskt Jordbruk (2007). "KRAV eller EU-ekologiskt, Vilken är skillnaden?" Ekologiskt Lantbruk, vol. 10.
- [6] YLAD, Living Soils. "What is Biological Agriculture". <http://www.ylادلivingsoils.com.au/ABoutUs/biologicalagriculture.html>.
- [7] Page, S. (2015). "What The 'Blue Zones' Can Teach Us About Living Longer". Huffington Post. [http://www.huffingtonpost.com/wm-scott-page/blue-zones\\_b\\_7162748.html](http://www.huffingtonpost.com/wm-scott-page/blue-zones_b_7162748.html).
- [8] BJ Willcox, DC Willcox, H.T.A.F.K.Y.Q.H.J.C.M.S. (2007). "Caloric Restriction, the Traditional Okinawan Diet, and Healthy Aging; The Diet of the World's Longest-Lived People and Its Potential Impact on Morbidity and Life Span". New York Academy of Sciences, vol. 1114, nr. 1.
- [9] Le, L.T., Sabaté, J. (2014). "Beyond Meatless, the Health Effects of Vegan Diets: Findings from the Adventist Cohorts". Nutrients, vol. 6, nr. 6.
- [10] Moodie, R., Stuckler, D., Monteiro, C., Sheron, N., Neal, B., Thamarangsi, T., Lincoln, P., Casswell, S. (2013). "Profits and pandemics: prevention of harmful effects of tobacco, alcohol, and ultra-processed food and drink industries". The Lancet, vol. 381, nr. 2, ss. 670–679.
- [11] Oreskes, N. (2004). "Science and public policy: what's proof got to do with it?" Environmental Science & Policy, vol. 7, ss. 369–383.
- [12] Annenberg Learner. "Energy pyramids". Life Science: Session 7. <https://www.learner.org/courses/essential/life/session7/closer5.html>.
- [13] Schmoop. "Ecosystem Energy Flow". <http://www.shmoop.com/ecology/ecosystem-energy-flow.html>.

- [14] Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E., Nandagopal, S. (2004). "Water Resources: Agricultural and Environmental Issues". *BioScience*, vol. 54, nr. 10, ss. 909–918.
- [15] Hoekstra, A.Y. (2008). "The water footprint of food". *Water Footprint Network*. <http://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf>.
- [16] Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. (2006). "Livestock's long shadow: Environmental issues and options". *Livestock, Environment and Development initiative (LEAD)*.
- [17] United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). "General Situation of Worlds Fish Stocks".
- [18] Keledjian, A., Brogan, G., Lowell, B., Warrenchuk, J., Enticknap, B., Shester, G., Hirshfield, M., Cano-Stocco, D. (2014). "Wasted Catch: Unsolved Problems in U.S. Fisheries". *Oceana*.
- [19] Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Heike K. Lotze, F.M., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., Watson, R. (2006). "Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services". *Science*, vol. 314, ss. 787–790.
- [20] Watson, P. (2015). "If the Ocean Dies, We Die!" *EcoWatch*.
- [21] UN News Centre (2006). "Rearing cattle produces more greenhouse gases than driving cars, UN report warns". <http://www.un.org/apps/news/story.asp?newsID=20772#.Vxt4L1ZS30o>.
- [22] Cervino, K. (2008). "A Third of the World's Marine Fish Catches are Used for Animal Feed, Squandering a Precious Food Resource for Humans, Research Finds". *Ocean Conservation Science*. [http://oceanconservationscience.org/media/2008/nr\\_2008.10.29.shtml](http://oceanconservationscience.org/media/2008/nr_2008.10.29.shtml).
- [23] Mcdougall, J.A., Mcdougall, M. (2012). *The Starch Solution*.
- [24] Nestor, L. (2013). "GI-tabell". *Health Care Nätverket*. <http://glykemisktindex.se/gi-tabell/>.
- [25] Acheson, K., Schutz, Y., Bessard, T., Anantharaman, K., Flatt, J., Jéquier, E. (1988). "Glycogen storage capacity and de novo lipogenesis during massive carbohydrate overfeeding in man." *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 48, nr. 2.
- [26] Hellerstein, M. (2001). "No common energy currency: de novo lipogenesis as the road less traveled." *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 74, nr. 6.
- [27] Danforth, E. (1985). "Diet and Obesity". *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 41, nr. 5.
- [28] McDevitt, R., Bott, S., Harding, M., Coward, W., Bluck, L., Prentice, A. (2001). "De novo lipogenesis during controlled overfeeding with sucrose or glucose in lean and obese women." *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 74, nr. 6.

- [29] Mcdougall, J.A. (2012). "The Paleo Diet Is Uncivilized (And Unhealthy and Untrue)". The Mcdougall Newsletter, vol. 11, nr. 6.
- [30] Rosell, M., Lloyd-Wright, Z., Appleby, P., Sanders, T., Allen, N., Key, T. (2005). "Long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids in plasma in British meat-eating, vegetarian, and vegan men." American Journal of Nutrition, vol. 82, nr. 2.
- [31] Sanders, T. (1999). "Essential fatty acid requirements of vegetarians in pregnancy, lactation, and infancy." American Journal of Clinical Nutrition, vol. 70, nr. 3.
- [32] Langdon, J. (2006). "Has an aquatic diet been necessary for hominin brain evolution and functional development?" British Journal of Nutrition, vol. 96, nr. 1.
- [33] Giem, P., Beeson, W., Fraser, G. (1993). "The incidence of dementia and intake of animal products: preliminary findings from the Adventist Health Study." Neuroepidemiology, vol. 12, nr. 1.
- [34] Rose, W. (1957). "The amino acid requirement of adult man". Nutrition Abstracts and Reviews, vol. 27, ss. 63–67.
- [35] Mcdougall, J.A. (2007). "When Friends Ask: Where Do You Get Your Protein?" The Mcdougall Newsletter, vol. 6, nr. 2.
- [36] Frazier, M., Ruscigno, M. (2010). "Protein – A Primer for Vegetarians". No Meat Athelete. <http://www.nomeatathlete.com/vegetarian-protein-primer/>.
- [37] Liu, T., Howard, R.M., Mancini, A.J., Weston, W.L., Paller, A.S., Drolet, B.A., Esterly, N.B., Levy, M.L., Schachner, L., Frieden, I.J. (2001). "Kwashiorkor in the United States: Fad Diets, Perceived and True Milk Allergy, and Nutritional Ignorance". Archives of Dermatology, vol. 137, nr. 5.
- [38] Millward, J. (1998). "Protein Requirements". Encyclopedia of Nutrition, ss. 1661–1668.
- [39] Cotter, T. (2014). "Organic Mushroom Farming and Mycoremediation".
- [40] Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., Keyser, W.D., Hebbelink, M., Mullie, P. (2014). "Comparison of Nutritional Quality of the Vegan, Vegetarian, Semi-Vegetarian, Pesco-Vegetarian and Omnivorous Diet". Nutrients, vol. 6, nr. 3.
- [41] Oldways (2013). "Vegetarian & Vegan Diet Pyramid". <http://oldwayspt.org/resources/heritage-pyramids/vegetarian-diet-pyramid/overview>.
- [42] The New England Journal of Medicine (1994). "The effect of vitamin E and beta carotene on the incidence of lung cancer and other cancers in male smokers. The Alpha-Tocopherol, Beta Carotene Cancer Prevention Study Group." vol. 330, nr. 15.
- [43] Bønaa, K., Njølstad, I., Ueland, P., Schirmer, H., Tverdal, A., Steigen, T., Wang, H., Nordrehaug, J., Arnesen, E., Rasmussen, K. (2006). "Homocysteine lowering



and cardiovascular events after acute myocardial infarction." *The New England Journal of Medicine*, vol. 354, nr. 15.

- [44] The Paleo Diet. "Getting Started with the Paleo Diet". <http://thepaleodiet.com/getting-started-with-the-paleo-diet/>.
- [45] USDA (2016). "MyPlate". <http://www.choosemyplate.gov/MyPlate>.
- [46] SLV (2016). "Tallriksmodellen". <http://www.livsmedelsverket.se/matvanor-halsa--miljo/kostrad-och-matvanor/tallriksmodellen/>.
- [47] Barbieri, H.E., Lindvall, C. (2012). "Nordiska näringsrekommendationer". SLV.
- [48] Jordbruksverket (2016). "Jordbruket och övergödningen". <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ingenovergodning/jordbruketochovergodningen.4.4b00b7db11efe58e66b80001608.html>.
- [49] Shaw, G.R., Moore, D.P., Garnett, C. (2009). "Eutrophication and Algal Blooms". *Environmental and Ecological Chemistry*, vol. II.
- [50] WWF. "Soil Erosion and Degradation". <http://www.worldwildlife.org/threats/soil-erosion-and-degradation>.
- [51] FAO (2015). "What is Conservation Agriculture?" <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>.
- [52] Hemenway, T. (2009). "Gaia's Garden, A Guide to Home-Scale Permaculture".
- [53] Fukuoka, M. (1985). "Natural Way of Farming: The Theory and Practice of Green Philosophy". Other India Press.
- [54] Holistic Management International. "Holistic Management". <http://holisticmanagement.org/holistic-management/>.
- [55] Ingham, R.E., Trofymow, J.A., Ingham, E.R., Coleman, D.C. (1985). "Interactions of Bacteria, Fungi, and Their Nematode Grazers: Effects on Nutrient Cycling and Plant Growth". *Ecological Monographs*, vol. 55, nr. 1.
- [56] Soil Food Web Inc. "Dr. Elaine R. Ingham's Curriculum Vitae". [http://www.soilfoodweb.com/drInghams\\_cv.html](http://www.soilfoodweb.com/drInghams_cv.html).
- [57] Ingham, E.R., Moldenke, A.R., Edwards, C.A. (2000). "Soil Biology Primer". USDA Natural Resource Conservation Service. <http://cesantaclara.ucanr.edu/files/230250.pdf>.
- [58] Lowenfels, J., Lewis, W. (2010). "Teaming with Microbes".
- [59] Ingham, E.R. "Soil Food Web". USDA, Natural Resources Conservation Service, Soils. [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2\\_053868](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/biology/?cid=nrcs142p2_053868).
- [60] Bot, A., Benites, J. (2005). "The importance of soil organic matter". *FAO Soils Bulletin*, 80.

- [61] Ingham, E.R. (2015). "Life in the Soil with Dr. Elaine Ingham". Living Web Farms. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLCeA6DzL9P4tXigiuZPLd89Qj71pj0a0F>.
- [62] Fulton, A., Mckenna, M., McMillan, T., Rupp, R. (2014). "Organic Foods Are Tastier and Healthier, Study Finds". The Plate, National Geographic. <http://theplate.nationalgeographic.com/2014/07/14/organic-foods-are-tastier-and-healthier-study-finds/>.
- [63] Barański, M., Średnicka Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G.B., Benbrook, C., Biavati, B., Markellou, E., Giotis, C., Gromadzka-Ostrowska, J., Rembiałkowska, E., Skwarło-Sońta, K., Tahvonen, R., Janovská, D., Niggli, U., Nicot, P., Leifert, C. (2014). "Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses". *British Journal of Nutrition*, vol. 112, nr. 5.
- [64] Hudson, B. (1994). "Soil organic matter and available water capacity". *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 49, nr. 2.
- [65] FAO (2015). "A healthy soil is a living soil". <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/en/c/281917/>.
- [66] Jones, C. (2009). "Inquiry into Soil Sequestration in Victoria, Submission no. 17". Environment and Natural Resources Committee.
- [67] Sparks, D.L. (2003). "Environmental Soil Chemistry". University of Delaware.
- [68] Jordbruksverket (2008). "Fosforförluster från jordbruksmark – vad kan vi göra för att minska problemet?" *Jordbruksinformation*, vol. 27.
- [69] Daniels, J., Thunholm, B. (2014). "Rikstäckande jorddjupsmodell". *Sveriges Geologiska Undersökning*, vol. 14.
- [70] Ingham, E.R. (2016). "Building Soil Health for Healthy Plants by soil scientist Dr. Elaine Ingham". PermacultureVOICES. <https://www.youtube.com/watch?v=xzthQyMaQaQ>.
- [71] Hamdhan, I.N., Clarke, B.G. (2010). "Determination of Thermal Conductivity of Coarse and Fine Sand Soils". *Proceedings World Geothermal Congress 2010*.
- [72] Discovery (2010). "Primary and Secondary Succession". Education Science.
- [73] Cocannouer, J.A. (1950). "Weeds, Guardians of the Soil".
- [74] Britto, D.T., Kronzucker, H.J. (2013). "Ecological significance and complexity of N-source preference in plants". *Annals of Botany*, vol. 112, nr. 6.
- [75] Ingham, E. (2015). "Life in the Soil". <http://slideplayer.com/slide/6957814/>.
- [76] Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., Barea, J.M. (2003). "The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility". *Biology and Fertility of Soils*, vol. 37, nr. 1.

- [77] BBC Earth.
- [78] Service, U.N.R.C. (2004). "Soil Biology and Land Management". Soil Quality – Soil Biology, Technical Note, , nr. 4.
- [79] Steineck, S., Gustafson, A., Stintzing, A.R., Salomon, E., Åsa Myrbeck, Albiñ, A., Sundberg, M. (2000). "Växtnäring i Kretslopp". SLU.
- [80] Schwartz, J.D. (2014). "Soil as Carbon Storehouse: New Weapon in Climate Fight?" Yale Environment 360.
- [81] Rodale Institute (2014). "Regenerative Organic Agriculture and Climate Change; A Down-to-Earth Solution to Global Warming".
- [82] Fukuoka, M. (1992). "The One-Straw Revolution".
- [83] Brown's Ranch. "Welcome to Brown's Ranch!" <http://brownsranch.us/>.
- [84] Brown, G. (2014). "Keys to Building Healthy Soil". <http://www.permies.com/t/42610/soil/Keys-Building-Healthy-Soil>.
- [85] Eliades, A. (2011). "Why Food Forests?" Permaculture Research Institute. <http://permaculturenews.org/2011/10/21/why-food-forests/>.
- [86] Archuleta, R., Brandt, D. (2015). "Soil & Diverse Cover Crops with Ray Archuleta & David Brandt". Living Web Farms. [https://www.youtube.com/playlist?list=PLCeA6DzL9P4tEvxcRySMcFeo3J8\\_VEWeg](https://www.youtube.com/playlist?list=PLCeA6DzL9P4tEvxcRySMcFeo3J8_VEWeg).
- [87] Ingham, E.R. "FAQ". Soil Foodweb inc. <http://www.soilfoodweb.com/FAQ.html>.
- [88] Ingham, E.R. "Low Growing Perennial Cover Plants". Soil Foodweb Inc. [http://www.soilfoodweb.com/Cover\\_Plants.html](http://www.soilfoodweb.com/Cover_Plants.html).
- [89] Pretty, J.N., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., Penning de Vries, F.W.T., Morison, J.I.L. (2006). "Resource-Conserving Agriculture Increases Yields in Developing Countries". Environmental Science and Technology, vol. 40, nr. 4.
- [90] FAO (2015). "Economic aspects of Conservation Agriculture". <http://www.fao.org/ag/ca/5.html>.
- [91] Ingham, E.R. (2005). "The Compost Tea Brewing Manual". Journal, Upplaga 5.
- [92] FAO (2015). "The main principles of conservation agriculture". <http://www.fao.org/ag/ca/1b.html>.
- [93] Bones, J. "How to Make Seed Balls". Lady Bird Johnson Wildflower Center. <https://www.wildflower.org/clearinghouse/articles/seedballs.pdf>.
- [94] Lantmännen (2014). "Rätt Utsädesmängd". Odla. [https://www.lantmannen.lantbruk.se/Documents/V%C3%A4xtodling/Ratt\\_utsadesmangd\\_SW.pdf](https://www.lantmannen.lantbruk.se/Documents/V%C3%A4xtodling/Ratt_utsadesmangd_SW.pdf).
- [95] Agridry. "Bulk density and angle of repose of grain and seed". [http://www.agridry.com.au/pdf/bulk\\_density.pdf](http://www.agridry.com.au/pdf/bulk_density.pdf).

- [96] Klotet (2009). "Att fler bönder slutar plöja". Sveriges Radio. <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=3345&artikel=2766848>.
- [97] FAO (2001). "The economics of conservation agriculture".
- [98] Derpsch, R., Freidrich, T. (2009). "Global Overview of Conservation Agriculture Adoption." FAO.
- [99] Jordbruksverket, Norlén, M. (2015). "Är övergödning, plöjning och gödsling verkligen ofrånkomligt?" Fråga oss. <https://kundo.se/org/jordbruksverket/d/ar-overgodning-plojning-och-godsling-verkligen-ofr/>.
- [100] Jordbruksverket (2012). "Ett klimatvänligt jordbruk 2050".
- [101] Jordbruksverket (2008). "Reducerad Jordbearbetning". Jordbruksinformation, vol. 28.
- [102] Teagasc, Agriculture and Food Development Authority (2007). "Straw for Energy". Tillage, , nr. 12.
- [103] Fitzgerald, P. (2011). "TEDMED: Can Mushrooms Help the Immune System Fight Cancer? Interview With Paul Stamets, Mycologist". Huffington Post. [http://www.huffingtonpost.com/dr-patricia-fitzgerald/mushrooms-breast-cancer\\_b\\_1070744.html](http://www.huffingtonpost.com/dr-patricia-fitzgerald/mushrooms-breast-cancer_b_1070744.html).
- [104] Greger, M. (2013). "Mushrooms and Immunity". NutritionFacts. <http://nutritionfacts.org/2013/12/24/mushrooms-and-immunity/>.
- [105] Torkelson, C.J., Sweet, E., Martzen, M.R., Sasagawa, M., Wenner, C.A., Gay, J., Putiri, A., Standish, L.J. (2012). "Phase 1 Clinical Trial of Trametes versicolor in Women with Breast Cancer". ISRN Oncology, vol. 2012.
- [106] Cornell University (2006). "Growing Guide, Cucumbers". <http://www.gardening.cornell.edu/homegardening/scenef65b.html>.
- [107] Cornell University (2006). "Growing Guide, Tomatoes". <http://www.gardening.cornell.edu/homegardening/sceneea10.html>.
- [108] Coleman, E. (2009). "The Winter Harvest Handbook".
- [109] Larson, B. (2009). "Extending the Garden Season". Wisconsin Horticulture. <https://hort.uwex.edu/articles/extending-garden-season/>.
- [110] Morgeson, D. "Growing Oyster Mushrooms In A Box". Horticulture Washington County. <http://washington.ca.uky.edu/sites/washington.ca.uky.edu/files/Growing%20Oyster.pdf>.
- [111] ClimaTemps. "Portland, Maine Climate & Temperature". <http://www.portland-me.climateemps.com/>.
- [112] ClimaTemps. "Stockholm, Climate & Temperature". <http://www.stockholm.climateemps.com/index.php>.
- [113] Tomato Dirt. "How to Grow Indoor Tomatoes". <http://www.tomatodirt.com/grow-indoor-tomatoes.html>.

- [114] FEBY (2012). "Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus – Bostäder".
- [115] Adaptive plastics Inc. (2016). "Solexx<sup>TM</sup>, Technical Guide".  
<http://www.adaptiveplastics.com/wp-content/uploads/Solexx-Technical-Guide-2016.pdf>.
- [116] Waterworth, K. (2014). "Deciding Between Different Types of Greenhouse Glass". Green Home Gnome. <http://www.greenhomegnome.com/greenhouse-glass/>.
- [117] A.J. Both. "Greenhouse Glazing". Rutgers University.  
<https://nj-vegetable-crops-online-resources.rutgers.edu/wp-content/uploads/2015/06/Greenhouse-Glazing.pdf>.
- [118] The Engineering ToolBox. "Thermal Conductivity of some common Materials and Gases". [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html).
- [119] My Agriculture Information Bank. "Density of Soil: Bulk Density and Particle Density". Introduction to Soil Science. <http://www.agriinfo.in/?page=topic&superid=4&topicid=271>.
- [120] The Engineering ToolBox. "Specific Heat of common Substances". [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d\\_391.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html).
- [121] ISOVER. "Premiumprodukter isolerar bättre". <http://www.isover.se/premiumprodukter-isolerar-battere>.
- [122] Natural Resources Canada. "Energy Efficiency Ratings: Search; Drain-water heat recovery". Government of Canada. <http://oee.nrcan.gc.ca/pml-lmp/index.cfm?action=app.search-recherche&appliance=DWHR>.
- [123] Pilkington Floatglas AB (2014). "Glasfakta 2015".
- [124] Trädgårdsteknik. "Luft/Vatten SEMTIC ECO THERMA 8kW".  
<http://www.tradgardsteknik.se/katalog/artikel/luft-vatten-semtic-eco-therma-8kw/94880-0-11/>.
- [125] LumiGrow. "LumiGrow Pro Series Lights". <http://www.lumigrow.com/products/pro-series-lights/>.
- [126] PVPerformance Modeling Collaborative. "Albedo". <https://pvpmc.sandia.gov/>.
- [127] Boverket (2006). "Samlingsdokument – referensvärden".
- [128] Boverket. "Boverkets byggregler, BBR". BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2016:6.
- [129] Ascard, J., Håkansson, B., Söderlind, M. (2008). "Ekonomi – Kalkyler för odling av grönsaker på friland". Jordbruksverket.

- [130] Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2011). "Comparing the yields of organic and conventional agriculture". *Nature*, 485.
- [131] Jordbruksverket, SCB (2015). "Normskördar för skördeområden, län och riket 2015".
- [132] Albert, S. (2015). "Snow Tolerant Vegetables". Harvest to Table. <http://www.harvesttotable.com/2012/12/snow-tolerant-vegetables/>.
- [133] Otto, L.M. (2001). "Vegan Food on 800 m<sup>2</sup>". Centrum för uthålligt lantbruk, SLU.
- [134] Helsing, J. (2010). "Självförsörjande ekologisk odling av grönsaker på friland". Högskolan Gävle.

## 8 Figurer och hedersomnämning

För tillåtelse att utnyttja bilder från deras utbildningsmaterial ges ett stort tack till:

**Shmoop** för energipyramiden i figur 1, sida 5. <http://www.shmoop.com/ecology/ecosystem-energy-flow.html>

**The Paleo Diet** för paleodietens tallriksmodell i figur 2, sida 9. <http://thepaleodiet.com/getting-started-with-the-paleo-diet>

**Soil Food Web Inc.** för bilden på växtlighetens och svamparnas succession i figur 4, sida 14.

**LumiGrow** för bilden på deras belysningsystem i figur 6, sida 30. De var även behjälpliga med information om belysningsystemet.

För värdefull hjälp och diskussioner tackas även följande facebookgrupper:

**Permakultur Sverige**

**Vegetarianer och veganer i Sverige**

**Uppsala veganer**

**Odling -Inspiration!**

**Chiliklubben**

**Växthusliv**

Slutligen tackas även STF Växthuset Vandrarhem och de bönder och odlare som besöktes för deras vänliga mottaganden. Även Elaine Ingham tackas för hennes många värdefulla föreläsningar och uttalandet i Appendix A. En stor tacksamhet riktas dessutom till Johanna Björklund som ställde upp som handledare till examensarbetet över institutionsgränserna, samt familj och vänner som stöttat projektet.

## 9 Appendix A

Nedan återfinns Elaine Inghams uttalande som svar på Jordbruksverkets kommentarer (s. 18) och framtida målsättningar som diskuterades i den senare delen av sektion 3.2.

---

Dear Swedish agricultural institutions and farmers,

No soil on this planet lacks the nutrients to grow plants. Nature developed the nutrient-cycling system to convert not-plant-available nutrients into plant-available nutrients approximately 3 to 3.5 billion years ago, based on evidence from the fossil record. It was not until human beings started tilling the soil more than once a year that humans began to destroy the natural nutrient cycling system. As the beneficial organisms were sliced, diced, crushed and destroyed by tillage, the organisms which build soil structure were severely reduced. Without the microorganisms needed to build structure, compaction becomes an issue, leading to salt imbalances, leaching of nutrients by surface flows and erosion, and leaving the dirt lacking of the soluble, mineral nutrients that plants require. Without constant replenishment of plant-available nutrients, plant production is harmed. People have two choices at that point, either replenish the correct set of soil microbes, or try to balance the nutrients, at the times the plant requires different nutrients, by applying inorganic fertilizers.

The problem with inorganic fertilizers is that the plant needs all the proper nutrients supplied, in the proper concentrations, in the proper time. When inorganic fertilizers are applied, only a *few* of the nutrients that the plant requires will be supplied. As a result, the plant will be stressed, un-healthy and subject to disease and pest attack. Please remember that inorganic fertilizers are salts, defined by the fact that these inorganic compounds dissolve in water. The osmotic shock to soil life that occurs when salts are added to soil, and essentially take water away from the organisms in soil, results in the death of many of those organisms each and every time an inorganic fertilizer is applied. Thus, addition of inorganic fertilizers that are supposed to solve the problem in fact only makes it worse.

Only by replenishing the soil food web can the plant be given all the nutrients, in the proper balances, at the proper times, that the plant requires. Only by returning organisms to the soil will compaction be reduced and with time, overcome. Only by making sure the full food web is present and functioning can we stop destruction of water quality.

Work is in progress showing that soil and humus layers can be built rapidly within a single growing season, even in climates with extremely harsh winters, as well as in arid climates. Scientists in Norway, landscape services in Sweden, agronomists and researchers in many countries, from Saudi Arabia, South Africa, Australia, and the US, indeed, in every climatic region of this planet, are showing that it only takes a day to build soil, if the correct starting materials are used.

We can build soil, overnight, if we pay attention to information that nature has put right in front of our eyes each day. We can have healthy, highly nutritious foods if we understand how nature manages soil. We must pay attention, we must work with nature, not against



nature. In effect, “conventional agriculture” has declared war on nature; because the toxic chemical “conventional agriculture” attitude is that “soil” has to be sterile, to remove any possible pathogens or pests. If we follow that approach, we are at war with nature.

But, if beneficial organisms are returned to the soil; if the soil food web that performs the functions that soil is supposed to perform are returned, then instead of sterility, we can have sustainable plant production. But if humans continue to declare war on nature, who will ultimately win that war? When humans ignore and destroy, mostly through ignorance, humanity will not survive nature’s response. Indeed, humans are not currently winning this war, because humans are destroying the very resources; water, air, and soil, that sustain us. We have to change our agricultural approach. We must pay attention to and understand how nature has sustainably grown plants.

If humans fight nature, we lose; we are losing. Understand how nature grows plants, and instead of fighting nature, work with her.

---

Dr. Elaine R. Ingham, *President, Soil Foodweb Inc. Soil Life Consultant.*

## 10 Appendix B

Beräkning av värmeförlusttalet  $VFT_{DVUT}$  för passivhuset. För elvärmda hus i Uppsalas klimatzon (III) krävs  $VFT_{DVUT} < 17$  (sektion 4.2).

$$VFT_{DVUT} = H_T * (21 - DVUT) / A_{temp}, \text{ där,}$$

$$H_T = U_m * A_{omsl} + \rho * c * q_{läck} + \rho * c * d * q_{vent} (1 - v) \text{ [W/K]}$$

$$A_{temp} = 137,6 \text{ m}^2$$

$$A_{omsl} = 392,11 \text{ m}^2$$

$$U_m = 0,1082 \text{ W/m}^2\text{,K}$$

$$v = 0,85$$

$$d = 1 \text{ [ständig drift]}$$

$$\text{Antar lufttegenskaper för } T = 20 \implies$$

$$\rho = 1,205 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$c = 1,005 \text{ [kJ/kg,K]}$$

$$DVUT = -15,9 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ (Halvlätt byggnad, 6 dygn, tabell 6 \& 7, s. 26)}$$

$$q_{läck} = q_{50} * A_{omsl} * e / (1 + f / e ((q_{sup} - q_{ex}) / q_{50} * A_{omsl})^2)$$

$$q_{50} = 72,69 \text{ l/s}$$

$$(q_{sup} - q_{ex}) = 0$$

$$\text{Antar } f = 15, e = 0,07 \text{ (tabell 5, s. 25)} \implies$$

$$q_{läck} = 72,69 * 391,16 * 0,07 / (1 + 15 / 0,07) = 9,245 \text{ l/s}$$

$$q_{vent} = (0,35 \text{ [ventilation, l/s,m}^2\text{]} + 0,025 \text{ [vädning, l/s,m}^2\text{]}) * A_{temp} \iff$$

$$q_{vent} = 0,375 * 137,6 = 51,61 \text{ l/s} \implies$$

$$H_T = 42,43 + 1,2 * 1,005 * (9,245 + (51,6 * (1 - 0,85)) = 62,914 \implies$$

$$VFT_{DVUT} = 62,914 * (21 + 15,9) / 137,6 = 16,87$$

# 11 Appendix C

Appendixet innehåller indata för standardhuset, passivhuset och växthuset med enkelt glas respektive dubbelt glas som användes till simuleringarna i VIP.

## Växthus - Glas 5 mm

VIP-Energy 3.1.1 © StruSoft AB 2014

1 ( 3 )

Projekt: Datum: 2016-10-03  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén Sign: M. Norlén  
Projektfil: E:\VIP\Växthus\Växthus - Glas 5 mm.VIP Företag: Uppsala Universitet

## INDATA

### Allmänt

Beräkningsperiod - Dag	1 - 365
Solreflektion från mark	20.00 %
Vindhastighet % av klimatdata	S:70 SV:70 V:70 NV:70 N:70 NO:70 O:70 SO:70
Lufttryck	1013 hPa
Horisontvinkel mot markplan	S:20 SV:20 V:20 NV:20 N:20 NO:20 O:20 SO:20 °
Formfaktor för vindtryck	0:0.70 45:0.50 90:-0.60 135:-0.50 180:-0.50 TAK:-0.00
Vridning av byggnad	0 °
Ventilationsvolym	0.0 [m³]
Golvarea	100.0 [m²]
Markegenskap Värmeledningstal:	2.3 [W/m²K]
Silt, icke dränerad sand ,icke dränerat grus.	

### Klimatdata

STOCKHOLM 1981-2010	Latitud	59.3	grader	
	Högsta värde	Medelvärde	Lägst värde	
Utemperatur	24.9	6.8	-16.5	°C
Vindhastighet	14.0	4.0	0.1	m/s
Solstrålning global	861.4	111.0	0.0	W/m²
Relativ fuktighet	100.0	77.3	19.0	%

### Bygghelstyper 1-dimensionella - Katalog

Bygghelstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjocklek m	Värme- ledningstal W/m,K	Densitet kg/m³	Värme- kapacitet J/kgK	U-värde W/m²K	Delta- U-värde W/m²K	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- absorp- tion %
Leca kant	Leca murverk	0.100	0.210	650	800	1.548	0.000	0.50	50.00
Jord	Jord	0.100	1.000	1300	1200	3.704	0.000	0.20	50.00

### Byggnadsdelar - Fönster, dörrar, ventiler

Bygghelstyp	Glas- andel %	Sol- transm. Total %	Sol transm. Direkt %	U-värde W/m²K	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- skydd
1-Glas	95	88	86	5.80	0.50	

### Byggnad

Beskrivning	Bygghelstyp	Orien- tering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd Area m² Längd m Antal st	Lägst nivå m	Högst nivå m	Angräns- ande temp °C	Andel av effekt- behov %	U- Psi- Chi- värde med mark och D-U
Växthus	1-Glas	NORR	0.0	0.0	30.5m²	0.1	2.5			5.800 W/m²K
Växthus	1-Glas	SÖDER	0.0	0.0	24.2m²	0.1	2.0			5.800 W/m²K
Växthus	1-Glas	VÄSTER	0.0	0.0	16.9m²	0.1	2.0			5.800 W/m²K
Växthus	1-Glas	ÖSTER	0.0	0.0	16.9m²	0.1	2.0			5.800 W/m²K

Projekt: Datum: 2016-10-03  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén Sign: M. Norlén  
Projektfil: E:\VIP\Växthus\Växthus - Glas 5 mm.VIP Företag: Uppsala Universitet

## Byggnad

Beskrivning	Bygghelstyp	Orientering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd Area m <sup>2</sup> Längd m Antal st	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angränsande temp °C	Andel av effekt-behov %	U- Psi- Chi- värde med mark och D-U
Växthus	1-Glas	TAK	0.0	3.6	101.3m <sup>2</sup>	2.0	2.0			5.800 W/m <sup>2</sup> K
Växthus	Jord	PPM 0-1 m	0.0	0.0	37.2m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	1.017 W/m <sup>2</sup> K
Växthus	Jord	PPM 1-6 m	0.0	0.0	62.8m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	0.407 W/m <sup>2</sup> K
Växthus	Leca kant	NORR	0.0	0.0	1.3m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	1.548 W/m <sup>2</sup> K
Växthus	Leca kant	SÖDER	0.0	0.0	1.3m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	1.548 W/m <sup>2</sup> K
Växthus	Leca kant	VÄSTER	0.0	0.0	0.8m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	1.548 W/m <sup>2</sup> K
Växthus	Leca kant	ÖSTER	0.0	0.0	0.8m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	1.548 W/m <sup>2</sup> K

## Driftdata

Driftfalls-benämning	Verksamhets-energi rumsluft W/m <sup>2</sup>	Verksamhets-energi rumsluft W/lgh	Verksamhets-energi extern W/m <sup>2</sup>	Fastighets-energi rumsluft W/m <sup>2</sup>	Fastighets-energi extern W/m <sup>2</sup>	Personvärme W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten W/lgh	Fukttillskott mg/s,m <sup>2</sup>	Högsta rums-temp °C	Lägsta rums-temp °C	Rums-temp passiv for °C
Växthus dag 25C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	30.00	25.00	0.00
Växthus belysning 25C	0.00	0.00	0.00	87.00	9.00	0.00	0.00	0.00	1.00	30.00	25.00	0.00
Växthus natt 25C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	25.00	20.00	0.00

## Drifttider

Driftfalls-benämning	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid	Driftfalls-benämning	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid
Växthus natt 25C	Måndagar	Övrig tid	- - -	Växthus belysning 25C	Måndagar	36 - 39	18 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	1 - 5	6 - 14	Växthus dag 25C	Måndagar	40 - 44	6 - 16
Växthus belysning 25C	Måndagar	1 - 5	14 - 22	Växthus belysning 25C	Måndagar	40 - 44	16 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	6 - 9	6 - 15	Växthus dag 25C	Måndagar	45 - 48	6 - 14
Växthus belysning 25C	Måndagar	6 - 9	15 - 22	Växthus belysning 25C	Måndagar	45 - 48	14 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	10 - 13	6 - 17	Växthus dag 25C	Måndagar	49 - 53	6 - 13
Växthus belysning 25C	Måndagar	10 - 13	17 - 22	Växthus belysning 25C	Måndagar	49 - 53	13 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	14 - 17	6 - 19		Tisdagar	==	Måndagar
Växthus belysning 25C	Måndagar	14 - 17	19 - 22		Onsdagar	==	Måndagar
Växthus dag 25C	Måndagar	18 - 31	6 - 22		Torsdagar	==	Måndagar
Växthus dag 25C	Måndagar	32 - 35	6 - 21		Fredagar	==	Måndagar
Växthus belysning 25C	Måndagar	32 - 35	21 - 22		Lördagar	==	Måndagar
Växthus dag 25C	Måndagar	36 - 39	6 - 18		Söndagar	==	Måndagar

## Ventilationsaggregat

Aggregat-benämning	Tilluft Fläkttryck Pa	Tilluft Verkn.gr %	Frånluft Fläkttryck Pa	Frånluft Verkn.gr %	Reglerfall
--------------------	-----------------------	--------------------	------------------------	---------------------	------------

## Reglerfall

Reglerfall	Reglertyp	Utetemperatur L	Reglervärde L	Utetemperatur H	Reglervärde H
------------	-----------	-----------------	---------------	-----------------	---------------

## Ventilationsaggregat - Drifttider och flöden

Aggregat-benämning	Vecko-dagar	Tilluft [oms/h]	Frånluft oms/h	Vecko-nummer	Starttid-Sluttid
--------------------	-------------	-----------------	----------------	--------------	------------------

Projekt:		Datum:	2016-10-03
Beskrivning:			
Utfört av:	Mikael Norlén	Sign:	M. Norlén
Projektfil:	E:\VIP\Växthus\Växthus - Glas 5 mm.VIP	Företag:	Uppsala Universitet

---

## Värmepump

Värmepump: Luft/Vatten SEMTIC 8kW	Andel av totalt vattenflöde	100.0	%
Akkumulatortank	0.3	m3	Seriekopplad

Värmesystem	Driftspunkt 1	Driftspunkt 2
Utetemperatur	-20.0	20.0
Framledningstemperatur	55.0	20.0
Returtemperatur	45.0	20.0
TAPPVARMVATTEN		
Kallvattentemperatur	8.0	[°C]
Varmvattentemperatur	55.0	[°C]

## ÖVRIGT

El cirkpump värmesystem 0.00 % av energiförsörjning till rum och luft
Lägst dimensionerande utetemperatur för uppvärmning -100.0 °C
Högst dimensionerande utetemperatur för komfortkyla 100.0 °C
Passiv kyla

Projekt: Datum: 2016-10-03  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén Sign: M. Norlén  
Projektfil: E:\VIP\Växthus\Växthus - Glas 5-16Ar-5 Företag: Uppsala Universitet

## INDATA

### Allmänt

Beräkningsperiod - Dag	1 - 365
Solreflektion från mark	20.00 %
Vindhastighet % av klimatdata	S:70 SV:70 V:70 NV:70 N:70 NO:70 O:70 SO:70
Lufttryck	1013 hPa
Horisontvinkel mot markplan	S:20 SV:20 V:20 NV:20 N:20 NO:20 O:20 SO:20 °
Formfaktor för vindtryck	0:0.70 45:0.50 90:-0.60 135:-0.50 180:-0.50 TAK:-0.00
Vridning av byggnad	0 °
Ventilationsvolym	0.0 [m³]
Golvarea	100.0 [m²]
Markegenskap Värmeledningstal:	2.3 [W/m²K]
Silt, icke dränerad sand ,icke dränerat grus.	

### Klimatdata

STOCKHOLM 1981-2010	Latitud	59.3	grader	
	Högsta värde	Medelvärde	Lägst värde	
Utetemperatur	24.9	6.8	-16.5	°C
Vindhastighet	14.0	4.0	0.1	m/s
Solstrålning global	861.4	111.0	0.0	W/m²
Relativ fuktighet	100.0	77.3	19.0	%

### Bygghelstyper 1-dimensionella - Katalog

Bygghelstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjocklek m	Värme- ledningstal W/m,K	Densitet kg/m³	Värme- kapacitet J/kgK	U-värde W/m²K	Delta- U-värde W/m²K	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- absorp- tion %
Leca kant	Leca murverk	0.100	0.210	650	800	1.548	0.000	0.50	50.00
Jord	Jord	0.100	1.000	1300	1200	3.704	0.000	0.20	50.00

### Byggnadsdelar - Fönster, dörrar, ventiler

Bygghelstyp	Glas- andel %	Sol- transm. Total %	Sol transm. Direkt %	U-värde W/m²K	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- skydd
2-Glas	95	78	74	2.60	0.50	

### Byggnad

Beskrivning	Bygghelstyp	Orien- tering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd Area m² Längd m Antal st	Lägst nivå m	Högst nivå m	Angräns- ande temp °C	Andel av effekt- behov %	U- Psi- Chi- värde med mark och D-U
Växthus	2-Glas	NORR	0.0	0.0	30.5m²	0.1	2.5			2.600 W/m²K
Växthus	2-Glas	SÖDER	0.0	0.0	24.2m²	0.1	2.0			2.600 W/m²K
Växthus	2-Glas	VÄSTER	0.0	0.0	16.9m²	0.1	2.0			2.600 W/m²K
Växthus	2-Glas	ÖSTER	0.0	0.0	16.9m²	0.1	2.0			2.600 W/m²K
Växthus	2-Glas	TAK	0.0	3.6	101.3m²	2.0	2.0			2.600 W/m²K
Växthus	Jord	PPM 0-1 m	0.0	0.0	37.2m²	0.0	0.1		0	1.017 W/m²K
Växthus	Jord	PPM 1-6 m	0.0	0.0	62.8m²	0.0	0.1		0	0.407 W/m²K
Växthus	Leca kant	NORR	0.0	0.0	1.3m²	0.0	0.1		0	1.548 W/m²K
Växthus	Leca kant	SÖDER	0.0	0.0	1.3m²	0.0	0.1		0	1.548 W/m²K
Växthus	Leca kant	VÄSTER	0.0	0.0	0.8m²	0.0	0.1		0	1.548 W/m²K

Projekt: Datum: 2016-10-03  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén Sign: M. Norlén  
Projektfil: E:\VIP\Växthus\Växthus - Glas 5-16Ar-5 Företag: Uppsala Universitet

## Byggnad

Beskrivning	Bygghelstyp	Orientering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd Area m <sup>2</sup> Längd m Antal st	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angränsande temp °C	Andel av effekt-behov %	U- Psi- Chi-värde med mark och D-U
Växthus	Leca kant	ÖSTER	0.0	0.0	0.8m <sup>2</sup>	0.0	0.1		0	1.548 W/m <sup>2</sup> K

## Driftdata

Driftfalls-benämning	Verksamhets-energi rumsluft W/m <sup>2</sup>	Verksamhets-energi rumsluft W/lgh	Verksamhets-energi extern W/m <sup>2</sup>	Fastighets-energi rumsluft W/m <sup>2</sup>	Fastighets-energi extern W/m <sup>2</sup>	Personvärme W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten W/lgh	Fukttillskott mg/s,m <sup>2</sup>	Högsta rums-temp °C	Lägsta rums-temp °C	Rums-temp passiv for °C
Växthus dag 25C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	30.00	25.00	0.00
Växthus belysning 25C	0.00	0.00	0.00	87.00	9.00	0.00	0.00	0.00	1.00	30.00	25.00	0.00
Växthus natt 25C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	25.00	20.00	0.00

## Drifttider

Driftfalls-benämning	Veckodagar	Veckonummer	Tid	Driftfalls-benämning	Veckodagar	Veckonummer	Tid
Växthus natt 25C	Måndagar	Övrig tid	- - - -	Växthus belysning 25C	Måndagar	36 - 39	18 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	1 - 5	6 - 14	Växthus dag 25C	Måndagar	40 - 44	6 - 16
Växthus belysning 25C	Måndagar	1 - 5	14 - 22	Växthus belysning 25C	Måndagar	40 - 44	16 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	6 - 9	6 - 15	Växthus dag 25C	Måndagar	45 - 48	6 - 14
Växthus belysning 25C	Måndagar	6 - 9	15 - 22	Växthus belysning 25C	Måndagar	45 - 48	14 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	10 - 13	6 - 17	Växthus dag 25C	Måndagar	49 - 53	6 - 13
Växthus belysning 25C	Måndagar	10 - 13	17 - 22	Växthus belysning 25C	Måndagar	49 - 53	13 - 22
Växthus dag 25C	Måndagar	14 - 17	6 - 19		Tisdagar	==	Måndagar
Växthus belysning 25C	Måndagar	14 - 17	19 - 22		Onsdagar	==	Måndagar
Växthus dag 25C	Måndagar	18 - 31	6 - 22		Torsdagar	==	Måndagar
Växthus dag 25C	Måndagar	32 - 35	6 - 21		Fredagar	==	Måndagar
Växthus belysning 25C	Måndagar	32 - 35	21 - 22		Lördagar	==	Måndagar
Växthus dag 25C	Måndagar	36 - 39	6 - 18		Söndagar	==	Måndagar

## Ventilationsaggregat

Aggregat-benämning	Tilluft Fläkttryck Pa	Tilluft Verkn.gr %	Frånluft Fläkttryck Pa	Frånluft Verkn.gr %	Reglerfall
--------------------	-----------------------	--------------------	------------------------	---------------------	------------

## Reglerfall

Reglerfall	Reglertyp	Utetemperatur L	Reglervärde L	Utetemperatur H	Reglervärde H
------------	-----------	-----------------	---------------	-----------------	---------------

## Ventilationsaggregat - Drifttider och flöden

Aggregat-benämning	Veckodagar	Tilluft [oms/h]	Frånluft oms/h	Veckonummer	Starttid-Sluttid
--------------------	------------	-----------------	----------------	-------------	------------------

## Värmepump

Värmepump: Luft/Vatten SEMTIC 8kW	Andel av totalt vattenflöde	100.0	%
Ackumulatortank	0.3	m3	Seriekopplad

Värmesystem	Driftspunkt 1	Driftspunkt 2
-------------	---------------	---------------

Projekt:  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén  
Projektfil: E:\VIP\Växthus\Växthus - Glas 5-16Ar-5

Datum: 2016-10-03  
Sign: M. Norlén  
Företag: **Uppsala Universitet**

---

Utetemperatur	-20.0	20.0
Framledningstemperatur	55.0	20.0
Returtemperatur	45.0	20.0
TAPPVARMVATTEN		
Kallvattentemperatur	8.0	[°C]
Varmvattentemperatur	55.0	[°C]

## ÖVRIGT

El cirkpump värmesystem 0.00 % av energiförsörjning till rum och luft  
Lägsta dimensionerande utetemperatur för uppvärmning -100.0 °C  
Högsta dimensionerande utetemperatur för komfortkyla 100.0 °C  
Passiv kyla



Projekt:  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén  
Projektfil: E:\Småhus\Standardhus.VIP

Datum: 2016-10-03  
Sign: M. Norlén  
Företag: Uppsala Universitet

## INDATA

### Allmänt

Beräkningsperiod - Dag	1 - 365
Solreflektion från mark	20.00 %
Vindhastighet % av klimatdata	S:70 SV:70 V:70 NV:70 N:70 NO:70 O:70 SO:70
Lufttryck	1000 hPa
Horisontvinkel mot markplan	S:20 SV:20 V:20 NV:20 N:20 NO:20 O:20 SO:20 °
Formfaktor för vindtryck	0:0.70 45:0.50 90:-0.60 135:-0.50 180:-0.50 TAK:-0.00
Vridning av byggnad	0 °
Antal lägenheter	1
Ventilationsvolym	0.0 [m³]
Golvarea	137.6 [m²]
Markegenskap Värmeledningstal: Silt, icke dränerad sand ,icke dränerat grus.	2.3 [W/m*K]

### Klimatdata

STOCKHOLM 1981-2010	Latitud	59.3	grader	
	Högsta värde	Medelvärde	Lägst värde	
Utetemperatur	24.9	6.8	-16.5	°C
Vindhastighet	14.0	4.0	0.1	m/s
Solstrålning global	861.4	111.0	0.0	W/m²
Relativ fuktighet	100.0	77.3	19.0	%

### Energipriser

Pris-grupp	Värmeför-sörjning kr/kWh	Process-energi kr/kWh	Elför-sörjning kr/kWh	Fjärr-kyla kr/kWh
------------	--------------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------

### Drifftider

Pris-grupp	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid	Pris-grupp	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid	Pris-grupp	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid
	Måndagar	1 - 53	0 - 24		Torsdagar	==	Måndagar		Söndagar	==	Måndagar
	Tisdagar	==	Måndagar		Fredagar	==	Måndagar				
	Onsdagar	==	Måndagar		Lördagar	==	Måndagar				

### Byggdeltstyper 1-dimensionella - Katalog

Byggdeltstyp	Material Från utsida till insida	Skikt-tjocklek m	Värme-ledningstal W/m,K	Densitet kg/m³	Värme-kapacitet J/kgK	U-värde W/m²K	Delta-U-värde W/m²K	Otätthets-faktor q50 l/s,m²	Sol-absorp-tion %
Väggtyp 1	Trä Gran	0.020	0.140	500	2300	0.165	0.010	0.50	50.00
	Reglar s600x600	0.195	0.042	87	961				
	Reglar s600x600	0.045	0.042	87	961				
	Gipsskiva	0.013	0.220	900	1100				
Golvtyp 2	Dränerat grus	0.100	1.400	1800	1000	0.098	0.010	0.50	70.00
	Cellplast 36	0.300	0.036	25	1400				
	Betong Normal RH	0.100	1.700	2300	800				
	Cellplast 36	0.050	0.036	25	1400				
	*VÄRMESKIKT* Vattenburen								
	Trä Gran	0.020	0.140	500	2300				
Golvtyp 1	Dränerat grus	0.100	1.400	1800	1000	0.098	0.010	0.50	70.00
	Cellplast 36	0.300	0.036	25	1400				

Projekt:  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén  
Projektil: E:\Småhus\Standardhus.VIP

Datum: 2016-10-03  
Sign: M. Norlén  
Företag: Uppsala Universitet

## Bygghelstyper 1-dimensionella - Katalog

Bygghelstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjocklek m	Värme- ledningstal W/m,K	Densitet kg/m³	Värme- kapacitet J/kgK	U-värde W/m²K	Delta- U-värde W/m²K	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- absorp- tion %
	Betong Normal RH	0.100	1.700	2300	800				
	Cellplast 36	0.050	0.036	25	1400				
	*VÄRMESKIKT*	Vattenburen							
	Trä Gran	0.020	0.140	500	2300				
Innervägg	Gipsskiva	0.013	0.220	900	1100	0.376	0.020	0.80	70.00
	Reglar s600x600	0.100	0.042	87	961				
	Gipsskiva	0.013	0.220	900	1100				
Taktyp 1	Trä Gran	0.020	0.140	500	2300	0.104	0.010	0.50	70.00
	Lösssprutad ull	0.255	0.042	40	800				
	Lösull Reglar s1200	0.145	0.046	59	862				
	Gipsskiva	0.013	0.220	900	1100				

## Bygghelstyper 2-dimensionella - Katalog

Bygghelstyp	Psi- värde W/mK	Bredd m	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- absorp- tion %	Bygghelstyp	Psi- värde W/mK	Bredd m	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- absorp- tion %
Fönstersmyg	0.070	0.200	0.00	0.00	Ytterhörn1	0.125	0.400	0.80	50.00
Takvinkel	0.095	0.400	0.80	50.00					

## Byggnadsdelar - Fönster, dörrar, ventiler

Bygghelstyp	Glas- andel %	Sol- transm. Total %	Sol transm. Direkt %	U-värde W/m²K	Otätthets- faktor q50 l/s,m²	Sol- skydd
Dörrtyp 1	90	60	50	1.00	0.50	
Dörrtyp 2	0	0	0	1.00	0.50	
Fönstertyp 1	80	60	50	1.00	0.50	

## Byggnad

Beskrivning	Bygghelstyp	Orien- tering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd Area m² Längd m Antal st	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angräns- ande temp °C	Andel av effekt- behov %	U- Psi- Chi- värde med mark och D-U
	Väggtyp 1	SÖDER	0.0	0.0	23.3m²	0.0	2.5		0	0.175 W/m²K
	Väggtyp 1	NORR	0.0	0.0	20.3m²	0.0	2.5		0	0.175 W/m²K
	Väggtyp 1	ÖSTER	0.0	0.0	16.2m²	0.0	2.5		0	0.175 W/m²K
	Väggtyp 1	VÄSTER	0.0	0.0	15.4m²	0.0	2.5		0	0.175 W/m²K
	Fönstertyp 1	SÖDER	0.0	0.0	7.3m²	0.0	2.5			1.000 W/m²K
	Dörrtyp 1	SÖDER	0.0	0.0	2.1m²	0.0	2.5			1.000 W/m²K
	Dörrtyp 2	NORR	0.0	0.0	2.1m²	0.0	2.5			1.000 W/m²K
	Fönstertyp 1	NORR	0.0	0.0	7.3m²	0.0	2.5			1.000 W/m²K
	Dörrtyp 2	VÄSTER	0.0	0.0	2.1m²	0.0	2.5			1.000 W/m²K
	Fönstertyp 1	ÖSTER	0.0	0.0	1.6m²	0.0	2.5			1.000 W/m²K
	Golvtyp 1	PPM 0-1 m	0.0	0.0	20.4m²	0.0	0.0		10	0.101 W/m²K
	Golvtyp 1	PPM 1-6 m	0.0	0.0	38.9m²	0.0	0.0		17	0.088 W/m²K
	Golvtyp 2	PPM >6 m	0.0	0.0	72.2m²	0.0	0.0		0	0.084 W/m²K
	Taktyp 1	TAK	0.0	0.0	127.8m²	2.5	2.5		0	0.114 W/m²K
	Innervägg	INNER	0.0	0.0	240.0m²				0	
	Fönstersmyg	SÖDER	0.0	0.0	15.4m	0.0	2.5		0	0.070 W/mK

Projekt:  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén  
Projektfil: E:\Småhus\Standardhus.VIP

Datum: 2016-10-03  
Sign: M. Norlén  
Företag: Uppsala Universitet

## Byggnad

Beskrivning	Byggdeltyp	Orientering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd Area m <sup>2</sup> Längd m Antal st	Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angränsande temp °C	Andel av effekt-behov %	U- Psi- Chi-värde med mark och D-U
	Fönstersmyg	NORR	0.0	0.0	30.4m	0.0	2.5		0	0.070 W/mK
	Fönstersmyg	VÄSTER	0.0	0.0	6.2m	0.0	2.5		0	0.070 W/mK
	Fönstersmyg	ÖSTER	0.0	0.0	5.0m	0.0	2.5		0	0.070 W/mK
	Ytterhörn1	SÖDER	0.0	0.0	2.5m	0.0	2.5		0	0.125 W/mK
	Ytterhörn1	VÄSTER	0.0	0.0	2.5m	0.0	2.5		0	0.125 W/mK
	Ytterhörn1	NORR	0.0	0.0	2.5m	0.0	2.5		0	0.125 W/mK
	Ytterhörn1	ÖSTER	0.0	0.0	2.5m	0.0	2.5		0	0.125 W/mK
	Takvinkel	TAK	0.0	0.0	24.6m	2.5	2.5		0	0.095 W/mK
	Takvinkel	SÖDER	0.0	0.0	8.0m	2.5	2.5		0	0.095 W/mK
	Takvinkel	NORR	0.0	0.0	8.0m	2.5	2.5		0	0.095 W/mK
	Takvinkel	VÄSTER	0.0	0.0	4.3m	2.5	2.5		0	0.095 W/mK
	Takvinkel	ÖSTER	0.0	0.0	4.3m	2.5	2.5		0	0.095 W/mK

## Driftdata

Driftfalls-benämning	Verksamhets-energi rumsluft W/m <sup>2</sup>	Verksamhets-energi rumsluft W/lgh	Verksamhets-energi extern W/m <sup>2</sup>	Fastighets-energi rumsluft W/m <sup>2</sup>	Fastighets-energi extern W/m <sup>2</sup>	Personvärme W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten W/lgh	Fuktkillskott mg/s,m <sup>2</sup>	Högsta rums-temp °C	Lägsta rums-temp °C	Rums-temp passiv forç °C
00-06	1.02	0.00	0.44	0.00	0.00	2.31	0.00	0.00	1.00	27.00	21.00	0.00
06-07	3.06	0.00	1.32	0.00	0.00	2.31	10.45	0.00	1.00	27.00	21.00	0.00
07-17	1.53	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	27.00	21.00	0.00
17-18	1.53	0.00	0.66	0.00	0.00	2.31	10.45	0.00	1.00	27.00	21.00	0.00
18-24	3.06	0.00	1.32	0.00	0.00	2.31	10.45	0.00	1.00	27.00	21.00	0.00

## Drifttider

Driftfalls-benämning	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid	Driftfalls-benämning	Vecko-dagar	Vecko-nummer	Tid
00-06	Måndagar	1 - 53	0 - 6		Onsdagar	==	Måndagar
06-07	Måndagar	1 - 53	6 - 7		Torsdagar	==	Måndagar
07-17	Måndagar	1 - 53	7 - 17		Fredagar	==	Måndagar
17-18	Måndagar	1 - 53	17 - 18		Lördagar	==	Måndagar
18-24	Måndagar	1 - 53	18 - 24		Söndagar	==	Måndagar
	Tisdagar	==	Måndagar				

## Ventilationsaggregat

Aggregat-benämning	Tilluft Fläkttryck Pa	Tilluft Verkn.gr %	Frånluft Fläkttryck Pa	Frånluft Verkn.gr %	Reglerfall
Vädring	0.00	0.00	0.00	0.00	Vädr
Frånluft	500.00	60.00	600.00	60.00	Från

## Reglerfall

Reglerfall	Reglertyp	Utetemperatur L	Reglervärde L	Utetemperatur H	Reglervärde H
Vädr	Återvinning	0.00 °C	0.00 %	0.00 °C	0.00 %

Projekt:  
Beskrivning:  
Utfört av: Mikael Norlén  
Projektfil: E:\Småhus\Standardhus.VIP

Datum: 2016-10-03  
Sign: M. Norlén  
Företag: **Uppsala Universitet**

## Ventilationsaggregat - Drifttider och flöden

Aggregat- benämning	Vecko- dagar	Tilluft [oms/h]	Frånluft oms/h	Vecko- nummer	Starttid-Sluttid
Vädring					
	Måndagar	0.025	0.025	1 - 53	0 - 24
	Tisdagar	==	Måndagar		
	Onsdagar	==	Måndagar		
	Torsdagar	==	Måndagar		
	Fredagar	==	Måndagar		
	Lördagar	==	Måndagar		
	Söndagar	==	Måndagar		
Frånluft					
	Måndagar	0.000	0.350	1 - 53	0 - 24
	Tisdagar	==	Måndagar		
	Onsdagar	==	Måndagar		
	Torsdagar	==	Måndagar		
	Fredagar	==	Måndagar		
	Lördagar	==	Måndagar		
	Söndagar	==	Måndagar		

## Värmepump

Värmepump: NIBE F750	Andel av totalt vattenflöde	100.0	%
Akkumulatortank	0.0	m3	Parallellkopplad

Värmesystem	Driftspunkt 1	Driftspunkt 2
Utetemperatur	-20.0	20.0
Framledningstemperatur	55.0	20.0
Returtemperatur	45.0	20.0
TAPPVARMVATTEN		
Kallvattentemperatur	8.0	[°C]
Varmvattentemperatur	55.0	[°C]

## ÖVRIGT

El cirkpump värmesystem 0.00 % av energiförsörjning till rum och luft  
 Lägsta dimensionerande utetemperatur för uppvärmning -20.0 °C  
 Högsta dimensionerande utetemperatur för komfortkyla 27.0 °C  
 Passiv kyla