

Fakultet for anvendt økologi, landbruksfag og bioteknologi - Blæstad

Atle Emil Volden

Bacheloroppgave

Agronomisk Oversikt over Hydroponiske Systemer - Anbefalinger for Produksjon i Norge

Agronomical Overview of Hydroponic Systems – Recommendations for Production in Norway

Bachelor i Agronomi

2021

Forord

Det har vært veldig spennende å lære hydroponisk dyrking siden jeg har som mål å drive kommersiell produksjon med slike systemer. Jeg har dermed fått en dyp forståelse av ulike muligheter og utfordringer tilknyttet til denne dyrkingsmetoden som kommer til å være veldig nyttig dersom jeg ønsker å ta dette videre til en mer praktisk bruk.

Det har vært vanskelig å besøke ulike anlegg på grunn av pandemien. Likevel fikk jeg sett et glimt av hydroponiske systemer ved å besøke et mini hydroponisk anlegg i Oslo som er en del av Oslo Fjord Hage. Dermed vil jeg takke Hans Jørgen Hamre for å ha tatt tiden til å vise meg anlegget og forklare litt om virkemåten. Jeg vil også takke Luuk J. A. Graamans for å ha sendt meg arbeidet sitt relatert til hydroponi, nemlig masteroppgaven hans. Til slutt vil jeg takke Thomas Cottis, veilederen min, for å ha hjulpet meg inn på riktig spor og for å ha fulgt arbeidet mitt hele veien.

Table of Contents

FORORD	4
SAMMENDRAG	7
ABSTRACT	8
1. INNLEDNING	9
2. MATERIALE OG METODE	11
3. HYDROPONI	12
4. VANNLØSNINGEN	14
4.1 HARDHET	14
4.2 PH	15
4.3 KONDUKTIVITET	16
4.4 OKSYGEN	16
4.5 TEMPERATUR	17
4.6 NÆRINGSSTOFF	17
5. LYS	21
6. MEDIER	23
7. ULIKE HYDROPONISKE SYSTEMER	24
7.1 WICK-SYSTEMET	24
7.2 NUTRIENT FILM TECHNIQUE	25
7.3 DEEP FLOW TECHNIQUE	28
7.4 AEROPONI	29
7.5 EBB AND FLOW	29
8. ANBEFALING FOR PRODUKSJON I NORGE	31
9. KONKLUSJON	35
LITTERATURLISTE	36
FIGUR- OG TABELLISTE	41

Sammendrag

Det er et stort potensial for hydroponisk dyrking i Norge. Dette kan bidra til å redusere import og isteden produsere ferske lokale grønnsaker hele året. I dag finnes det flere hydroponiske systemer. Hver enkelt har sine fordeler og ulemper i forhold til vekstutvalg, investeringskostnader, vedlikehold, produktivitet, energi og vannforbruk. Vann og energi er relativt billig i Norge, mens arbeidskraft er det som kan påvirke økonomien mest på en hydroponisk gård. Det er dermed viktig å velge et hydroponisk system som har mest mulig automatisering og krever minst mulig vedlikehold. Derfor anbefaler jeg enten Nutrient Film Technique systemet eller Deep Flow Technique systemet. Begge har stort potensiale for automatisering og krever generelt lite vedlikehold, men har likevel god produktivitet.

Vannløsningen, mediet og lys er faktorer som må tas hensyn til når man skal dyrke med hydroponiske systemer. Vannløsningen lages ved å blande ulike salter i riktig konsentrasjon. Det finnes ulike formler hvorav de alle fleste er variasjoner av Hoaglands formel. Vannløsningen må lages i forhold til egenskapene til vannet som skal brukes. Ulike medier kan påvirke vannløsningskonsentrasjonen. Det er dermed viktig å lage vannløsningen i forhold til mediet. Mediet velges ut ifra kriterier som blant annet dreneringskapasitet, kation utvekslingskapasitet og kapillæreffekt. For lys kommer valg av bølgelengdespektre, effekt, lampetype og avstand mellom lys og plantene til å påvirke plantevekst, energikostnader og investeringskostnader.

Abstract

There is a big potential for hydroponic farming in Norway. This could contribute to reducing import of food and to increasing the local production of fresh vegetables all year round. Several types of hydroponic systems exist today, each having its advantages and disadvantages related to the variety of vegetables that can be produced, initial investment, maintenance, productivity and water and energy consumption. In Norway, water and electricity is relatively cheap, operational costs however are driven up by the high wages. It is therefore important to choose a hydroponic system that includes the most automation and requires least maintenance. For this reason, I recommend the Deep Flow Technique or the Nutrient Film Technique, as both require little maintenance and have a good potential for automation as well as having a good productivity.

Nutrient solution, light and medium are factors that must be taken into consideration when farming with hydroponic systems. The nutrient solution is made by mixing different salts and achieving the optimal concentration. There are different formulas for the nutrient solution, most of which are derived from Hoaglands formula. The characteristics of the water that is used must be taken into consideration whilst making the nutrient solution. The medium also impacts the nutrient solution. It is therefore important to adjust the concentrations of the nutrients in regards to the medium being used. Drainage capacity, cation exchange capacity and capillary effect are some of the factors that must be taken into consideration when choosing the medium. Concerning light, the choice of wavelength, power, distance between the lamp and plants as well as the type of lamp will affect the plant growth, energy consumption and investment costs.

1. Innledning

Ifølge FN kommer verdens befolkning til å øke til 9,8 milliarder i 2050. Det vil si en økning på omtrent 1% hvert år (FN, 2017). Dette vil kreve en økning i jordbruksproduksjonen på mellom 40 og 54% til 2050 (FAO, 2018). Jordbruket i dag har allerede en stor påvirkning på miljøet ved at det blant annet slipper ut drivhusgasser og bruker enorme mengder ferskvann. Jordbruket utgjør over 13% av de totale utslippene fra menneskelige aktivitet og 70% av verdens tilgjengelige ferskvann brukes i jordbruket (FAO, 2021; Despommier, 2009, s. 80). Klimaendringer fører til større variasjoner i været og mer ekstremvær og dermed til en mer usikker jordbruksproduksjon.

Hydroponi gir mulighet til å kunne dyrke over alt: I byen, ørkenen, Arktis eller Antarktis; hvor som helst så lenge man har tilgjengelig strøm. Dette betyr at man ikke trenger å bruke fruktbare jordbruksarealer, men isteden kan bruke arealer der det ikke er mulig å dyrke ellers. Man reduserer også dyrkingsarealet. Det vil si at man produserer mellom 5,5 og 20 ganger mer enn vanlig jordbruk på et visst areal (Jensen, 1997, sitert i Graamans, 2015, s.12). Med hydroponi har man muligheten til å sette opp flere dyrkingsetasjer på et samme system og dermed multiplisere produksjonen med antall etasjer. Dette kalles for vertikal dyrking («vertical farming» på engelsk) og egner seg godt i byer, der prisen per kvadratmeter er høy. I tillegg til plass kan man spare store vannmengder. Hydroponi bruker 10 ganger mindre vann enn tradisjonelt jordbruk siden vannet kan gjenbrukes (NPS, 2018).

Tap fra skadegjørere utgjør mellom 20 og 40% av verdens avlinger hvert år (FAO, 2019). En fordel med bruk av innendørs hydroponi er at man unngår bruk av jord og dermed reduserer risiko for mange plantesykdommer, skadeinsekter og ikke minst ugress. I tillegg er reduserte avlinger på grunn av dårlige vekstsesonger en utfordring i jordbruket som forsvinner med innendørs hydroponi.

Lange vintre med lite lys og lave temperaturer gjør at vekstperioden i Norge er relativt kort. Dette forsterkes jo lengere nord i landet man befinner seg. Produksjon med hydroponisk dyrking er like høy uavhengig av hvor man befinner seg (Graamans et al., 2018). Dette gir muligheten til å dyrke langt nord i landet, så lenge man har tilgjengelig strøm.

På grunn av det norske klimaet må til og med de vekstene som det produseres mest av i landet importeres, og ofte i store mengder. *Frukt- og Grøntstatistikk for 2020* fra

Opplysningskontoret for Frukt og Grønt gir en god oversikt over hvor mye som importeres i forhold til hvor mye som produseres i landet (Opplysningskontoret for Frukt og Grønt, 2021). Alle grønnsakene som selges i Norge i dag importeres til en viss grad, uavhengig av om det allerede finnes en produksjon i landet. Selvforsyning har ikke vært et stort politisk tema i Norge og ifølge Landbruk.no er selvforsyningsgraden på 40% (Landbruk.no, 2019). Likevel har en undersøkelse i 2020 vist at det har vært økt fokus på å kjøpe norske produkter og gjerne lokalprodusert. Grunnene til dette var økt vilje til å støtte norsk landbruk og norske arbeidsplasser (Opplysningskontoret for Frukt og Grønt, 2021). Hydroponisk dyrking gir mulighet til å kjøpe lokale, ferske grønnsaker hele året uavhengig av sesongen.

I dag finnes det flere ulike hydroponiske systemer. Noen er avhengige av vekstmedier for å føre næring og vann opp til plantene, mens andre systemer ikke trenger medier og isteden lar plantene ta opp vann og næring direkte fra vannløsningen. Systemene har ulike vedlikeholdsbehov, produksjonskapasitet og investeringskostnader. I tillegg kan noen systemer være uegnet for dyrking av visse plantesorter. Dermed er forståelse av egenskapene til disse systemene kritisk for den som vil starte opp et hydroponisk dyrkingsanlegg.

I denne oppgaven skal jeg først beskrive hovedkomponentene i et hydroponisk system: vannløsning, lamper og medier. Disse er viktige uavhengig av hvilket system man ønsker å bruke. Jeg skal deretter beskrive virkemåten og egenskapene til ulike hydroponiske systemer. Til slutt skal jeg gi min anbefaling for en hydroponisk produksjon i Norge. Oppgaven har fokus på innendørs (lukkede) systemer og ikke utendørs eller veksthussystemer ettersom disse er dårlig egnet til norsk klima, noe som jeg skal forklare videre i oppgaven (Graamans et al., 2018).

2. Materiale og Metode

Denne oppgaven er en litteraturstudie der jeg har brukt mange forskningsbaserte kilder i tillegg til ulike blogger, bedriftsnettsider og YouTube-videoer. Å finne riktig og gyldig informasjon har ikke vært enkelt siden de fleste kilder som dukker opp etter søk er fra hobby-gartnere eller kommersielle sider som prøver å selge og dermed ikke viser hele sannheten. En veldig nyttig kilde for informasjon om vannløsningen og ulike systemer er «Complete Guide for Growing Plants Hydroponically» fra Jones B. J. Jr.. som forklarer i detalj om alt fra virkemåten av systemene til vannløsningens egenskaper. Jeg har brukt mye forskningsbaserte kilder til å støtte informasjonen, men har også brukt blogger og YouTube-videoer til å få en mer konkret forståelse av informasjonen.

Jeg har prøvd å komme i kontakt med ulike bedrifter som driver med hydroponisk dyrking i Oslo for enten å få besøke anlegg eller få svar på et enkelt spørsmål, men fikk enten ingen eller negative svar. Det har vært ekstra vanskelig å besøke ulike anlegg på grunn av koronapandemien.

Jeg hadde ønsket å kunne teste ulike systemer og skrive en sammenligning basert på konkrete observasjoner og egne resultater. Dessverre er dette vanskelig og kostbart. Likevel har bruk av ulike bøker, forskningsbaserte kilder og bedriftsnettsider, i tillegg til blogger og YouTube-videoer, til sammen gitt meg en god forståelse av virkemåten til hydroponiske systemer.

3. Hydroponi

Ordet hydroponi kommer fra «hydro-» som betyr «vann» på gresk og «-ponos» som betyr arbeid (Online Etymology Dictionary). Idéen bak dette systemet er å kunne dyrke planter i en vannløsning istedenfor jord. Det finnes flere fordeler og ulemper med et slikt system som jeg skal analysere.

Hydroponisk dyrking kan gjøres innendørs eller i et veksthus. Fordelen med veksthus er at man sparer lys og varme hvis man har de riktige værforholdene. Ifølge en studie fra Graamans et al. (2018) er vertikal dyrking i drivhus mindre lønnsomt i nordlige strøk av verden enn i sørlige strøk. Studiet sammenlignet drivhussystemer i UAE, Nederland og i Nord-Sverige. Lønnsomheten beskrives som mengden av planter som blir produsert per kvadratmeter. Studiet mener at lønnsomheten på et innendørs system er like bra hvor som helst i verden man befinner seg siden det er et lukket system. På den andre siden, ved bruk av veksthusystemer kan lønnsomheten variere ganske mye i forhold til eksterne forhold (Graamans et al., 2018.).

Et av hovedpoengene med vertikale dyrkingssystemer i nordlige strøk er å kunne dyrke uavhengig av eksterne forhold. Bruk av drivhus for vertikal dyrking i Norge kan bli lite lønnsomt dersom det er store temperatur- og lysvariasjoner gjennom året.

For å kunne ha en optimal vekst med hydroponiske systemer må man passe på at ulike komponenter i systemer er riktige. Disse komponentene er vannløsningen, mediet, lys, og luftforhold. Det anbefales bruk av ulike instrumenter som termometer, EC-meter og PAR-meter til å kunne måle viktige egenskaper på et hydroponisk anlegg ettersom dette gir større kontroll på produksjonen og minimiserer risiko for feilproduksjon.

Det finnes to kategorier av hydroponiske systemer. Den ene kalles for «mediumless systems» der man ikke bruker noe medium. Det vil si at plantene vokser i direkte kontakt med vannløsningen. I den andre kategorien der man bruker et medium, utnytter man kapillæreffekten av mediet til å tilføre vann og næringsstoffer. Det finnes to metoder for bruk av vannløsningen, enten et lukket system der vannløsningen er resirkulert, eller et åpent system der vannløsningen fjernes etter at den har gått gjennom systemet (Jones, 2014, s.99). I store produksjoner brukes åpne systemer mest. Grunnen er at i lukkede systemer renner vannløsningen tilbake til reservoaret etter å ha gått gjennom planterotsystemet og forandrer på pH og næringsstoffkonsentrasjonen. Denne må da justeres og dette kan være kostbart og kreve

mye vedlikehold på en stor produksjon (Jones, 2014, s.106). I et åpent system kan avfallsvannet enten kastes eller brukes i vanlig jordbruk (Maucieri et al., 2019, s. 79).

For å minimisere algevekstproblemer i systemene bør reservoaret og kanalene eller containeren være ugjennomsiktige for å unngå at vannet kommer i kontakt med lys. Vann i kontakt med lys stimulerer algevekst og fører dermed til en kontaminasjon av vannløsningen (Jones, 2014, s.105). Materialene som anlegget er bygget opp av må være sterile (plast, metall osv.) for å redusere kontaminasjon (Maucieri et al. s. 92).

4. Vannløsningen

Ulike vannkilder har ulike fysiske og kjemiske egenskaper. Det vil si at hver vannkilde har sin pH, hardhet, konduktivitet, alkalitet osv. Disse egenskaper bestemmer hvordan man behandler vannet for å kunne bruke det i et hydroponisk system. Behandling av vannet kan variere fra bruk av et enkelt filter til mer avanserte behandlinger som fjerner ioner (Jones, 2014, s. 51).

Informasjon om vannets egenskaper finnes på kommunens webside. Hvis man ikke finner informasjon om egenskapene til vannkilden som skal brukes i det hydroponiske systemet, kan man ta en prøve av vannet og sende det til et laboratorium for en analyse. Oslo kommune publiserer hvert år en rapport fra Vann- og Avløpsetaten som viser egenskapene til kommunens ulike vannkilder. Egenskapene som beskrives og som er nyttige for hydroponisk dyrking er pH, konduktivitet, konsentrasjon av ulike ioner og ikke minst innhold av bakterier, alger eller plantevernmidler. Ved å kjenne vannets kjemiske og fysiske egenskaper kan man bestemme om det er aktuelt å behandle vannet. For eksempel hvis vannet har en hardhet som er over ønsket grense, må man behandle vannet for å redusere kalsiuminnholdet.

4.1 Hardhet

I Oslo kommune er hardheten av drikkevannet mykt (Vann- og avløpsetaten, 2021). Det vil si at konsentrasjonen av kalsiumoksid (CaO) er svak (Pedersen B., 2019). Rapporten av vann- og avløpsetaten (2020) viser at hardheten av drikkevannet fra Maridalsvannet i Oslo kommune (Oset vannbehandlingsanlegg) er i snitt 2,4 °dH, eller 16,12 mg Ca/Liter (Husby I., Kjenseth A. H, 2020, s. 5). Det er anbefalt å ha en kalsiumkonsentrasjon under 200mg per liter (Jones, 2014, s. 51). Ved bruk av vann fra Maridalsvannet er man derfor langt under kalsiumkonsentrasjonsgrensen.

Ifølge Norges Geologiske Undersøkelse er høyt kalsium- og magnesiuminnhold i vannet sjeldent et problem i Norge. I områder som Nordland, Troms og Finnmark og noen deler av Østlandet kan berggrunnen være kalkrik, men likevel er konsentrasjonen langt under grensen (Norges Geologiske Undersøkelse, 2020).

4.2 pH

Forholdet mellom kationer og anioner, ulike type ioner og deres konsentrasjon i vannet bestemmer pH av vannløsningen (Jones, 2014, s. 53).

Plantene tar opp kationer og anioner fra vannløsningen. Deretter løsner planterøttene protoner (H^+) og hydroksyler (OH^-) tilbake i vannløsningen. Dette fører til at ion-balansen i vannløsningen vedlikeholdes (Haynes 1990, sitert i Maucieri et al., 2019, s.93). Derimot kan mengden og kvaliteten av absorberte næringsstoffer modifisere pH av vannløsningen (Maucieri et al., 2019, s.93). Det vil si at hvis planten absorberer $H_2PO_4^-$, SO_4^- eller NO_3^- kommer planterøttene til å løsne OH^- tilbake til vannløsningen og dermed øke pH. Derimot hvis planten absorberer mye K^+ , Ca^{++} eller NH_4^+ kommer planterøttene til å løsne H^+ tilbake i vannløsningen og dermed redusere pH (Maucieri et al., 2019, s.93)

En løsning for å redusere pH-variasjoner i vannløsningen er å tilsette bikarbonat (Maucieri et al., 2019, s.93). Bikarbonat virker som en buffer og hjelper dermed med å stabilisere pH-balansen i vannløsningen. Valg av kjemisk gjødsel påvirker også vannløsningens pH. Hvis man ønsker å justere litt på pH, kan man dermed gjøre det ved å velge riktig gjødsel. For eksempel hvis man ønsker å tilsette nitrogen i vannløsningen, kan man enten gjøre det ved å tilsette den i form av nitrat (NO_3^-) eller i form av ammonium (NH_4^+). NO_3^- kommer til å løsne OH^- og dermed øke pH mens NH_4^+ kommer til å løsne H^+ og dermed redusere pH (Maucieri et al., 2019, s.93 - 94).

Hvis ion-konsentrasjonen i vannløsningen er veldig svak kan CO_2 i luften påvirke vannløsningens pH (Jones, 2014, s.53). Etersom vannløsningen ofte inneholder mye næringsstoff i hydroponiskdyrking, er dette sjeldent ett problem.

Akkurat som når man dyrker på jord vil ønsket pH være avhengig av det man ønsker å dyrke. For at næringsstoffene skal absorberes best mulig bør pH som regel være litt under 7 (Jones, 2014, s..). Plantene kan tåle variasjoner i pH, men som regel bør man redusere pH når den overstiger 7 eller hvis den blir svært sur (Jones, 2014, s.53).

4.3 Konduktivitet

Elektrisk konduktivitet, eller EC (forkortelse for Electrical Conductivity) av vannløsningen har en stor påvirkning på planteveksten. Elektrisk konduktivitet er vannets innhold av ioner. EC-verdien viser vannets kapasitet til å føre strøm gjennom seg. Kapasiteten øker hvis ion-konsentrasjonen øker. Dermed kan vi se hvor mye ioner som finnes i en vannløsning ved å måle EC (Siyuvala).

Elektrokonduktivitet i hydroponi måles i decisiemens per meter (dS/m). Jo høyere konduktivitetsverdien, jo høyere ion konsentrasjonen i vannløsningen. I en vannløsning kan EC-verdien enkelt finnes med et EC-meter (Siyavula ; Electrical conductivity meter, 2021). Normalt brukes vannløsninger med EC-verdi under 3.0 dS/m. Hvis EC-verdien øker i et hydroponisk system kan det være på grunn av at vannet blir tatt opp raskere enn ionene. Dette kan dermed øke ion-konsentrasjonen i vannløsningen. Problemet kan være mer alvorlig når vannet gjenbrukes ettersom vann med høy ion-konsentrasjon blandes med lavere ion-konsentrert vann. Dette er problem som kan oppstå ved varme og tørre luftforhold ettersom plantene trenger mer vann. Hvis dette problemet oppstår, kan tilsetning av vann i reservoaret redusere EC-verdien (Jones, 2014, s.77).

En vannløsning som viser en lav EC-verdi, betyr at man har et lavt innhold av ioner. Problemet er at EC-verdien ikke viser nøyaktig hvilket ion som trengs, men bare hvor mange ioner som er i vannløsningen. Ifølge Jones B. J. Jr. (2014) virker justering av ion-balansen ved å tilføre den opprinnelige vannløsningen til man kommer nær den opprinnelige EC-verdien overraskende bra. Det er likevel best å ta en analyse av vannløsningen for å vite akkurat hvilket ion som mangler og deretter tilsette i forhold til resultatet (Jones, 2014, s.68 – 69).

4.4 Oksygen

Når man dyrker i jord, må man være nøye med å unngå overvanning. Overvanning gjør at vannet fyller opp luftområdene rundt røttene. Dette fører til en hemming av rotveksten og rothårveksten, og dermed til at planten dør i tillegg til at det skapes et godt miljø for utvikling av skadelig sopp (Jones, 2014, s. 25). Det er derfor viktig i et hydroponisk system at en del av røttene ligger ovenfor vannivået. I tillegg kan det brukes en luftpumpe i vannløsningsreservoaret i noen systemer. Luftpumpen fører luft til en luftstein som ligger nede i reservoaret og danner små bobler som flyter opp mot røttene.

Jo høyere vanntemperatur, jo mindre oksygen i vannet. I tillegg, ved høyere temperatur i luften vil planten ha behov for mer oksygen (Jones, 2014, s.25). Dette betyr at kontroll på temperaturen i luft og i vannløsningen er viktig for å gi tilgang til riktig oksygenmengde for plantene.

4.5 Temperatur

Riktig lufttemperatur er avhengig av plantesorten, men ifølge Jones B. J. Jr. kommer temperaturer under 20°C som regel til å påvirke rotveksten (Cooper, 1973, sitert i Kafkaki, 2008, s.26 ; Jones, 2014, s.24). For høye temperaturer øker evapotranspirasjonseffekten hos plantene og dermed vannopptaket deres. Når mer vann blir tatt opp enn normalt, fører det til en ubalanse i vannløsningen ettersom ion-konsentrasjonen øker. Dette er spesielt et problem der man gjenbraker vannet (Jones, 2014, s.77).

Temperaturen på vannløsningen bør være lik lufttemperaturen. En stor forskjell mellom luft- og vanntemperatur, kan føre til stress hos plantene ettersom røttene og bladene er i kontakt med ulike temperaturer (Jones, 2014, s.74). Dette er lite problematisk for innendørs hydroponiske systemer (ikke veksthus).

Det anbefales å ha en god isolasjon i bygget der man skal ha hydroponiske anlegget ettersom det reduserer oppvarmingskostnader gjennom vinteren. Et godt termoreguleringssystem er også viktig for å unngå store variasjoner i temperatur.

4.6 Næringsstoff

Plantene trenger 17 viktige elementer for å kunne overleve og ha en gunstig vekst. Dette tallet kan muligens øke i framtiden ettersom noen elementer som Ni, Si og V som ikke er på lista enda, kan bli inkludert senere hvis og når forskningen får bevist deres viktighet for plantens utvikling. 9 av disse 17 elementene kalles for hovedelementer og er: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg og S (Jones, 2014, s.34 – 35).

C, H og O befinner seg i lufta og i vannet i form av CO₂ og H₂O. Ved hjelp av lys bruker plantene disse to molekylene til å gjøre fotosyntese og dermed produsere sukker og oksygen. C, H og O utgjør mellom 90 og 95% av plantens tørrstoff. Disse elementene blir tatt opp av plantene hovedsakelig fra lufta og vannet og tilgjengeligheten er dermed sjeldent et problem.

Resten av hovedelementene (N, P, K, Ca, Mg og S) utgjør 5-10% av plantenes tørrstoffinnhold (Jones, 2014, s.35 - 36).

I tillegg til de 9 hovedelementene har man 8 elementer som er like viktige for at planten skal leve og vokse. Disse kalles for mikronæringsstoffer og er: Cl, Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mb og Cb. Grunnen til at disse kalles for mikronæringsstoffer mens de andre kalles for hovedelementer er at konsentrasjonen av mikronæringsstoffer i planter er mye lavere enn hovedelementene, men like viktige (Jones, 2014, s.36).

D. R. Hoagland utviklet på 1930-tallet vannløsningsformler for bruk i hydroponiske systemer. Formlene har blitt litt forandret gjennom årene, men inneholder hovedsakelig de samme elementene og konsentrasjoner. Hovedforandringene som har blitt gjort, er mikronæringsstoffkonsentrasjoner. Variasjoner av Hoaglands formler er i bruk i de fleste hydroponiske systemer. Formelen kan brukes til de fleste vekster. Det viktigste er at man ikke tilsetter for mye av et visst næringsstoff. Mangel på et næringsstoff kan løses raskt og enkelt ved tilsetning, mens for stor konsentrasjon av et visst element er vanskeligere å korrigere og kan gi store skader (Jones, 2014, s.37).

To formler har blitt utviklet av Hoagland for hovedelementene. Disse formlene er basert på destillert vann. Mengden av hvert molekyl vises i cc (cubic centimeter) som tilsvarer mL per L destillert vann. 1 mL av et molekyl betyr 1 mL med en molekylkonsentrasjon på 1 molar.

Formel 1:

	Mengde (mL/L)
KH_3PO_4	1
KNO_3	5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5
MgSO_4	2

(Tabell 4.1: Hoagland og Arnon, 1950)

Formel 2:

	Mengde (mL/L)
NH_4PO_4	1
KNO_3	6
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	4
MgSO_4	2

(Tabell 4.2: Hoagland og Arnon, 1950)

Etter at man har laget formel 1 eller formel 2 må man tilsette 2 andre vannløsninger (A og B). Vannløsning A inneholder ulike mikronæringsstoffer og vannløsning B inneholder kun jern. Her er mengdene beskrevet i gram per liter vann.

A.

	Mengde (g/L)
H_3BO_3	2,86
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,22
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08
$\text{H}_2\text{MO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02

(Tabell 4.3: Hoagland og Arnon, 1950)

B.

Jern tilsettes i form av jerntartrat eller annen jernløsning som inneholder 0,5% jern. To ganger per uke tilsettes 1mL av denne jernløsningen per liter av formel 1 eller 2 + vannløsning A (Hoagland og Arnon, 1950).

Til slutt i bør konsentrasjonen av hvert element i vannløsningen være den følgende:

	Formel 1 (mg/L)	Formel 2 (mg/L)
NO ₃	242	220
NH ₄	-	12,6
P	31	24
K	232	230
Ca	224	179
Mg	49	49
S	113	113
B	0,45	0,45
Cu	0,02	0,02
Mn	0,5	0,05
Mo	0,0106	0,016
Zn	0,48	0,48

(Tabell 4.4: Hoagland og Arnon, 1950, sitert i Jones, 2014, s.60)

For en detaljert beskrivelse av funksjon, konsentrasjonsbehov i vannløsningen, symptomer på mangel eller overskudd av ulike hovedelementer anbefales Appendiks B i *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically* (Jones, 2014).

Siden det er mer aktuelt å bruke vann fra lokal vannkilde enn destillert vann, burde man foreta en vannanalyse eller finne vannets egenskaper på kommunens websider. Deretter kan man tilsette de ulike saltene i forhold til ionene som allerede er til stede helt til man når en konsentrasjon av ioner som vist i Tabell 4.4. I tillegg anbefales det å ta en vannanalyse før og etter at vannet har gått gjennom systemet. Dette gir en god forståelse av hvilke næringsstoffer og hvilken mengde av dem som tilsettes i vannløsningen fra miljøet (rørene, mediet osv.) (Jones, 2014, s.37).

5. Lys

Når det gjelder lys, er det viktig at plantene får tilstrekkelig lysmengde og riktig lyskomposisjon, og at planten utsettes for lys riktig antall timer per dag i forhold til vekststadiet (Ebba J., 2020).

Lysfarger er avhengig av bølgelengden. Spektrumet for synlige bølgelengder variere fra rødt på den ene siden til fiolett på den andre siden. Alle fargene til sammen synes som hvitt lys. Det er rødt og blått lys som er mest absorbert hos plantene og som dermed har størst påvirkning på planteveksten. Ettersom LED-lamper med blått-rødt lys er billigere enn de med hvitt lys, bruker mange kun rødt-blått lys. Blått lys påvirker klorofyllproduksjon mens rødt lys påvirker blomst- og fruktproduksjon i tillegg til utvikling i frødstadiet og rotvekst (Baessler, 2021).

Hvis man vil ha stort bladvolum, for eksempel hvis man dyrker salat, anbefaler jeg bruk av hvitt lys. Grunnen er at grønt lys i små mengder hjelper planten å produsere større mengder av blad (Massa et al, 2008, s.1952). Hvis man derimot ønsker å dyrke vekster som gir frukt (tomater, squash, bønner osv.), vil bruk av rødt og blått lys gi større kontroll på blomst- og fruktproduksjonen (Massa et al. 2008, s.1953). En ulempe ved å bruke rødt-blått lys er at det blir vanskeligere å oppdage sykdommer eller næringsmangel ved å observere bladene visuelt, siden plantene får en fiolett farge istedenfor den vanlige grønne fargen (Massa et al., 2008, s.1952).

Valg av riktig lyskilde er viktig. Egenskaper som man ønsker når man velger lyskilde er lave innkjøpskostnader, god holdbarhet, liten temperaturpåvirkning, god bølgelengdekontroll og lavt energibruk.

LED-lamper har mange fordeler i forhold til andre lampetyper, nemlig at den tar lite plass, at man kan velge bølgelengde og at energiforbruket er lavt. I tillegg øker de ikke temperaturen og kan dermed plasseres på ønsket avstand fra planten uten at det fører til temperaturstress hos plantene (Massa G. D. et al., 2008, s.1951 og s.1953). Ulempen med LED-lys er prisen. Andre type lyskilder er billigere. Derimot har LED -ys en større holdbarhet en andre lyskilder, noe som påvirker langsiktige kostnader. Fluoriserende lamper kan også produsere rødt lys, stråle lite varme, og er billigere enn LED. Derimot bruker de mer energi og har en kortere holdbarhet (The Home Depot, 2021 ; Plant Growth) .

LED-lamper med rødt-blått lys er billigere enn de med hvitt lys. Siden det hovedsakelig er blått og rødt lys som påvirker planteveksten, kan det i mange tilfeller lønne seg å kjøpe rødt og blått LED-lys istedenfor hvitt LED-lys (Feng T., 2016, .s.43). Lysfargen kan også påvirke smaken på det man dyrker (Fluence, 2021).

Lysmengde kan måles med et PAR-meter. Dette instrumentet måler antall fotoner per sekund. Antall fotoner regnes i mikro-mol per sekund og kalles for PPF. Det som er viktig for noen som bruker lys for innendørs dyrking er PPFD, eller antall fotoner per sekund per kvadratmeter. PPF måles ved å sette måleapparatet på toppen av plantene. Verdien for PPFD kan variere med lys-intensiteten og med avstanden mellom lampen og planten. Dermed kan man med en lampe med en viss effekt (Watt) justere på PPFD. Dette er viktig hvis man ønsker å redusere energiforbruket ettersom man kan få samme PPFD ved å minske avstanden mellom plantene og lampen (Excite, 2021).

Den optimale PPF-verdien ligger mellom $300\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ og $1000\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$. Et PAR-meter måler lysspektret mellom 400 og 700nm og måler dermed intensiteten på akkurat de bølgelengdene som plantene bruker. PPF-behovet varierer med veksttype og vekststadiet (Excite, 2021). Det er tynt med informasjon om optimale PPF-verdier rundt ulike type vekster og vekststadier, men en studie fra Cometti et al. (2020) mener at optimal gjennomsnittsverdi for PPFD for Crispisalat var $436\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Cometti et al, 2020).

Antall fotoner som planten mottar avhenger både av PPFD-verdien og av antall lystimer. Det vil si at hvis man har en svak PPF kan man kompensere med å øke antall lystimer. Imidlertid har noen planter en grense for antall lystimer per dag, som avhenger av veksten og vekststadiet. Det vil si at hvis man har lav PPF og derfor kompenserer med flere lystimer per dag, kan dette ha en negativ påvirkning på noen plantevekster (Ebba, 2020).

Valg av bølgelengdespektre, antall Watt, avstand mellom lys og plantene og lampetyper kommer til å påvirke både plantevekst og energikostnader.



Figur 1: Bildet viser et vertikalt dyrkingssystem med rødt-blått lys. Av Pressmaster.

<https://www.colourbox.com/image/raising-plants-under-led-lamps-image-44444998>

6. Medier

Vekstmedier brukes faktisk i alle systemer for å tilføre næring og støtte til planten. I systemer som NFT, aeroponi eller DFT brukes det for å tilføre næring kun fra såing helt til røttene har vokset ut av mediet. Deretter har mediet som eneste funksjon å gi mekanisk støtte. Det vil si at man legger frøet på en liten blokk av vekstmedium, ofte steinull, som har som formål å støtte plantestrukturen og føre opp vannløsningen fra bunnen av blokken til toppen der frøet ligger. Dette skjer takket være vekstmediets kapillæreffekt.

Vekstmedier er ikke helt sterile. Det vil si at de kan påvirke næringsinnholdet av vannløsningen. Et forskningsstudie rundt tre ulike vekstmedier, perlitt, steinull og kokosfiber, viste hvordan de påvirket konsentrasjon av ulike ioner (Jones, 2014). Resultatene fra forsøket er at perlitt øker kobber-konsentrasjonen, steinull øker kalsium-konsentrasjonen og kokosfiber øker konsentrasjonen av fosfor, kalium, magnesium, natrium, jern og bor i tillegg til at den reduserer kalsium-konsentrasjonen (Jones, 2014, s.94 – 95). Av disse tre mediene kan det derfor anbefales å bruke enten perlitt eller steinull hvis man vil få minst mulig konsentrasjonsforandring på vannløsningen. I tillegg kommer plantene ikke til å få noe mer eller mindre næringsstoff enn det som er i vannløsningen. På den annen side har kokosfiber god dreneringskapasitet og kan dermed redusere risiko for sykdom ifølge Penny Goff, daglig leder og en av eierne av Gritt's Midway Greenhouse i USA (Kuack K., 2012).

Det er viktig å vite hvilke næringsstoffer mediet inneholder for å kunne justere i forhold til vannløsningen. For stor mengde av et element i mediet kan påvirke veksten av planten (Jones, 2014, s.96).

Valg av medium er avhengig av det hydroponiske systemet. Steinull egner seg godt til NFT, aeroponi og DFT der man kun trenger en liten blokk for frøstadiet. Hvis man skal dyrke med et annet system som ebb and flow kan det anbefales å bruke et annet medium som kokosfiber der vannet dreneres fortere (Jones, 2014, s.90).

Egenskapene man er ute etter er god porøsitet, høy vannholdingskapasitet, riktig dreneringskapasitet og høyt kation-utvekslingskapasitet. Andre egenskaper som bør tas hensyn til er densitet, holdbarhet, kapillærkapasitet og ikke minst kostnad (AlShrouf, 2017, s.253).

7. Ulike hydroponiske systemer

Det finnes mange ulike hydroponiske systemer. Mange av systemene egner seg best til hobbybruk. Jeg har valgt 5 av de mest brukte systemene i dag: Wick systemet, NFT, DFT, Aeroponi og Ebb and Flow.

7.1 Wick-systemet

Wick-systemet er det enkleste av alle systemene. Her bruker man bare et reservoar som inneholder vannløsningen og et brett, ofte laget av isopor, som flyter eller står på toppen av vannløsningen. Brettet har hull der man plasserer plantene i et medium, ofte steinull eller perlitt. Wick-systemet krever en luftpumpe som danner luftbobler som gir oksygen til planterøttene. I tillegg hjelper luftpumpen med å blande vannløsningen for å oppnå en homogen konsentrasjon av ioner i reservoaret (Jones, 2014, s.100).



Figur 2: Bilde av et Wick System. Av Mavadee.

<https://www.colourbox.com/image/root-of-hydroponic-vegetables-image-5384467>

Vannløsningen i dette systemet må byttes cirka hver 5 til 10 dager avhengig av plante- og vannløsningsmengden og størrelsen på plantene. I tillegg må man daglig tilsette nytt vann, enten destillert vann eller 1/10 fortyntet vannløsning (Jones, 2014, s.100).

Opptak av næringsstoffer og planterotaktivitet påvirker vannløsningens pH og ion-balanse. Dette fører til en reduksjon i vannløsningens effektivitet og dermed en dårlig påvirkning på plantens vekst (Jones, 2014, s.100).

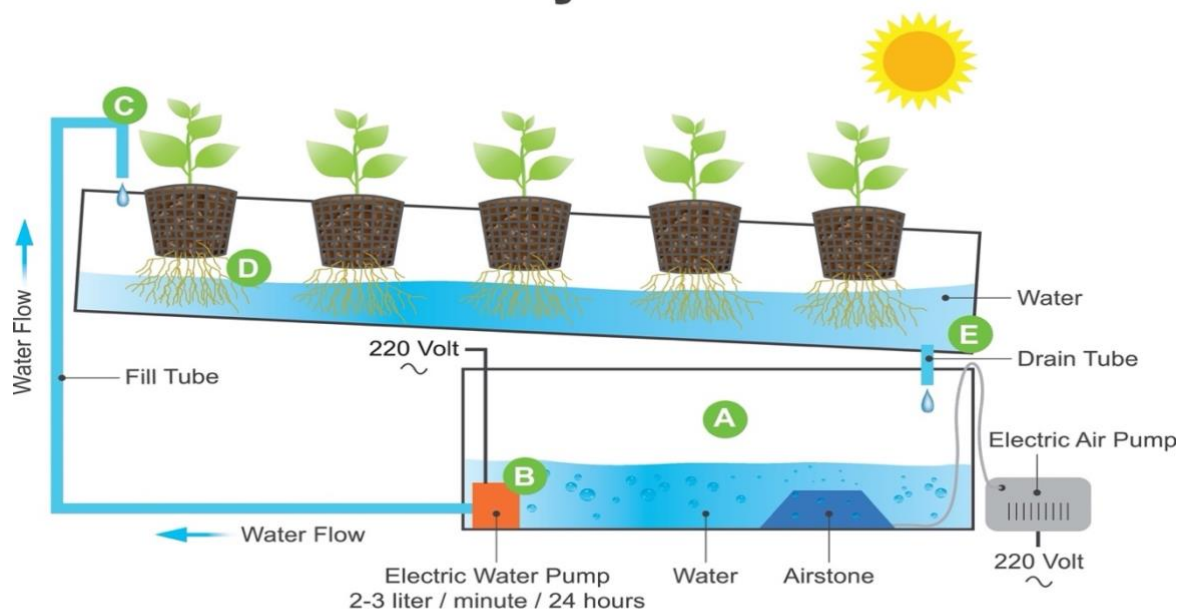
Dette systemet er enkelt å drive, krever lite kunnskap og materiale, og har i tillegg lave materialkostnader. Derimot er vann- og næringsstofforbruket høyt på grunn av systemets lave effektivitet i forhold til distribusjon av vann og næringsstoffer. Dermed, ifølge Jones B. J. Jr, er dette systemet dårlig egnet for kommersiell bruk. Likevel har det vist seg å være ganske godt egnet for dyrking av ulike krydder (basilikum, koriander osv.) og salat dersom vekstperioden deres er korte (Jones, 2014, s.101 - 103).

7.2 Nutrient Film Technique

NFT, forkortelse for Nutrient Film Technique, er et system som er mye i bruk i dag i ulike vertikaldyrkingsproduksjoner. NFT virker uten medium og har en kontinuerlig vanntilførsel som vanligvis gjenbrukes (Maucieri et al., 2019, s. 80). Systemet bruker en kanal med en skråning på ca. 1% til 2% (Jones, 2014, s.104). Plantene ligger i hull på den øverste delen av kanalen, med røttene som vokser inne i kanalen. Vannet pumpes fra reservoaret til det høyeste punktet av kanalen og renner nedover, gjennom planterotsystemet. Når vannet når det nederste punktet av kanalen renner det tilbake i reservoaret gjennom et rør (se punkt E i figur 3).

NFT har flere fordeler, nemlig at vannet enkelt kan gjenbrukes, at man bruker veldig små mengder vann og at man unngår bruk av et medium. NFT har også et stort potensial for automatisering av såing og høsting og dermed for å redusere kostnadene fra manuelt arbeid (Maucieri et al., 2019, s.91). I tillegg er materialene billige og installasjonen er enkel (Jones, 2014, s.105).

Nutrient Film Technique (NFT) NFT system



- A. Nutrient tank stores nutrient
- B. Nutrient water pump circulates nutrient
- C. Nutrient flows into grow channel
- D. Nutrient absorbed by plant roots
- E. Unused nutrient flows back into tank

Figur 3: Illustrasjon viser virkemåten til et NFT system. Av Chompipat P.

(<https://www.colourbox.com/vector/nutrient-film-technique-is-a-hydroponic-technique-education-info-graphic-vector-vector-29813801>)

Ulempen med dette systemer er at siden man tilfører en veldig liten mengde av vann i kanalen, kan en feilvirking av vannpumpen ha veldig store konsekvenser for plantene, i tillegg til at

plantene i NFT-systemet er utsatt for en ganske stor risiko for rotsykdommer på grunn av stor kontakt med luft (Van Os. Et al., 2008, s.164).

Det er flere grunner som kan føre til en feilvirking av pumpen, nemlig strømbrudd og tetting av kanalen. En enkel, men kanskje dyr løsning er bruk av reservebatteri. Dette sikrer at man fortsatt kan pumpe vann i kanelene dersom det er et midlertidig strømbrudd.

Tetting av kanalen kan også føre til feilvirkning av pumpen (Maucieri et al., 2019, s.91). Det er dermed viktig at man bruker riktig størrelse (bredde og høyde) på kanalene i forhold til planteveksten.

En annen ulempe er at røttene eldes raskere og dermed taper funksjonalitet. Dette skyldes at bare en liten del av røttene ligger i vannløsningen mens resten henger i luften. Dette har en stor påvirkning på hvilke type vekster som kan dyrkes ettersom plantene som høstes etter en 4 – 5 måneder periode blir utsatt for disse planterotproblemene (Maucieri et al., 2019, s.92). En mulig løsning på dette problemet er bruk av flere etasjer på kanalen. Dette gjør at planterøttene kan fortsette å vokse uten at det tetter kanalen. Etasjene (unntatt den nederste) har hull som gir mulighet for planterøttene til å vokse nedover (Maucieri et al. 2019, s.92).

Kanalen må være ugjennomsiktig dersom lys kan stimulere alge vekst. Soliditeten av kanalen er viktig siden en deformasjon på bunnen av kanalen kan føre til at vannløsningen kan stagnere og dermed skape anaerobe forhold (Jones, 2014, s.105-106). Det er dermed viktig med valg av riktig materiale for kanalen.

Ifølge Jenny Harris, direktør og administrator av *AmHydro* (en bedrift som selger NFT-systemer i USA), er HDPE (High Density Polyethylene) et godt materiale for kanalen (AmHydro, 2019, 4:19). HDPE tåler mugg og råtne materialer og kan vaskes med kokende vann for enkel sterilisering. HDPE er veldig solid og deformeres ikke med unntak for veldig høye temperaturer. Siden HDPE er en plast, kan man lage ønsket form på en enkel måte ved bruk av høy temperatur. Fordelen med HDPE i forhold til andre plastmaterialer er soliditeten som beskytter mot både fysiske og kjemiske skader (AcmePlastics, 2021).

Formen på bunnen av kanalen påvirker effektiviteten på vanntilførselen. Som tidligere nevnt, er tetting av kanalen på grunn av planterøttenes volum en risiko med NFT-systemer. Det er derfor best å unngå bruk av helt flate eller «U»-formede kanaler. En «W»-formet kanal gjør at planterøttene hviler på toppen av «Λ»-formen og vokser videre ned mot «V»-formene på hver

side. Toppen av « Λ »-formen er dekket av en kapillærmatte som tilfører vannløsningen til røttene ved kapillæreffekt. Vannløsningen renner på begge «V»-formete sider (Jones, 2014, p.104). Siden røttene ligger på toppen av « Λ »-formen vil dette redusere tettheten på bunnen av «V»-formene der vannløsningen renner. Røttene kommer naturligvis til å vokse ned mot begge «V»-formene, men i mindre volum.

En annen løsning som brukes i *AmHydro* er at kanalbunnen har små høyder som går i linjer langs den flate kanalen. Med denne løsningen sitter planterøttene på toppen av linjene. Dermed, hvis volumet på planterøttene blir for stort, kan vannet likevel renne nedover mellom linjene. Linjene fører også til at man unngår at vannet renner kun på én side av kanalen og dermed til en utjevning av vanntilførselen (AmHydro, 2019, 7:29).

Bredden av kanalen er avhengig av veksten. For salat er 4 cm tilstrekkelig mens for paprika trengs det 15 cm (Van Os. Et al., 2008, s.165). Vannmengden som brukes er avhengig av veksten. For salat brukes det vanligvis mellom 3 og 8 $L \cdot m^{-2} \cdot time^{-1}$ (Benoit og Ceustermans, 1998; Rujis et al., 1990; Benoit og Ceustermans, 1994, alle tre sitert i Van Os. Et al., 2008, s.165).

Ulempen med NFT-systemer når man skal dyrke fruktgivende grønnsaker er at disse vekstene har behov for større mengder av vannløsning. Vanligvis ønsker man at farten på vanntilførselen gjennom kanalen er så lav som mulig. Dette gjør at næringsstoffopptaket blir maksimalt. Høyere fart gjør at det blir en reduksjon i plantens næringsstoffopptak. Likevel bør farten på vanntilførselen økes når man dyrker større vekster (som har større næringsbehov og større røtter) i NFT systemet. Grunnen er at hvis farten på vanntilførselen er for lav, kommer plantene som ligger i øverste delen av kanalen (nærmest vannkilden) til å ta opp mesteparten av næringsstoffene, mens plantene som står i den nederste delen av kanalen kommer til å få næringsfattig vannløsning. Dette kan dermed påvirke veksten på plantene som er nederst i kanalen (Van Os. Et al, 2008, s.165).

7.3 Deep Flow Technique

DFT, forkortelse for Deep Flow Technique, er et hydroponisk system der plantene ligger på et flytende eller hengende «brett». Brettet som oftest brukes er isopor og det ligger på en container eller kanal fylt opp med 10 til 20cm dyp vannløsning eller 5-15cm avhengig av kilden (Maucieri et al., 2019, s.90; Van Os et al., 2008, s.165). Dette systemet, som NFT systemet, er basert på en kontinuerlig tilførsel av rennende vann og næring (Van Os et al., 2008, s.165).



Figur 4: Bildet viser et DFT system. Av ArcadiYay.

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deep_water_culture.jpg)

I et DFT-system er kanalene mye bredere og mengden av tilført vannløsning er også mye større enn i et NFT-system. Kanalene/containerne og reservoaret i dette systemet er den samme komponenten. Vannmengden i DFT-systemet skaper en vann- og næringsbuffer som forenkler kontroll av vannløsningen (Van Os. Et al., 2008, s.165).

Dette systemet er billig å installere og enkelt å vedlikeholde. For vekster med korte vekstsykluser, som salat, trenger man som regel å justere på vannløsningen kun etter hver høsting. Dette er på grunn av den store vannmengden som brukes (Maucieri et al, 2019, s.90).

Dette systemet krever et reservoar for vannløsningen, isopor-brett eller annet materiale som flyter på vann, og en luftpumpe (med luftstein) for oksygentilførsel.

7.4 Aeroponi

Aeroponi er det mest avanserte og dyreste av alle de hydroponiske systemene som er tilgjengelige i dag. I aeroponi sprøyter man planterøttene med vannløsningen ved hjelp av en automatisk sprayer. Aeroponi er det systemet som har det mest effektive vann- og næringsstoffopptaket. Planten ligger på toppen eller på siden av en kanal eller boks. Kanalen eller boksen er lukket, det vil si at den eneste kontakten med luft er fra hullet der planten ligger.

Ifølge Maucieri et al. bør sprayeren aktiveres i intervaller som varer mellom 30 og 60 sekunder. Aktiveringsfrekvensen er avhengig av type vekst, plantens vekststadium og tidspunktet på dagen (Maucieri et al., 2019, s.93). Andre kilder mener at man får bedre resultater ved å bruke en kontinuerlig spraying enn intervallspraying gjennom dagen. Næringsstoffinnhold i vannløsningen justeres i forhold til sprayefrekvensen og sprayevarighet (Jones, 2014, s.108).

Ofte brukes et vannreservoar på bunnen av systemet slik at røttene i tillegg får en kontinuerlig tilgang til vann uten ekstra næringsstoffer (Jones, 2014, s.108).

I dette systemet pumpes vannløsning ut fra et reservoar til kanalen eller boksen (der planten står) gjennom et rør og sprayes deretter direkte på planterøttene. Vannløsningen som renner ned fra røttene samles og gjenbrukes i systemet. Ettersom mengden som gjenbrukes er lav, konkluderer jeg at det kommer til å ha lite påvirkning på ion-balansen og pH til vannløsningen i reservoaret. Dermed er dette systemet godt egnet for gjenbruk av vannløsningen.

7.5 Ebb and flow

Ebb and flow er et system der man dyrker planter i et medium på en vanntett overflate som dekkes av vannløsning. I dette systemet bruker man et medium. Når vannløsningen dekker overflaten, blir den absorbert i mediet. Man kan enten bruke pottes som sitter på et vanntett gulv, eller containere som gir muligheten for vertikal dyrking. Fordelen med å bruke dette systemet på et gulv, er at man kan dyrke mye større vekster, til og med små trær, noe som ikke er mulig i vertikal dyrking (Jones, 2014).

Vanntilførselen er ikke kontinuerlig. Det vil si at man tilfører vann på bestemte tidspunkter. Varigheten av vanntilførselen er avhengig av mediets kapillæreffekt. Etter at overflaten har vært dekket med vannløsningen tilstrekkelig lenge, må den dreneres vekk. Det er viktig at dreneringssystemet virker bra siden en dårlig drenering kan føre til sykdommer i røttene (Van Os. Et al., 2008, s.167).

Dette systemet krever et reservoar der man har vannløsningen, en container med et uorganisk medium (grus, sand osv.), en elektrisk vannpumpe og rør for å tilføre vannløsningen fra reservoaret til containeren og tilbake (Jones, 2014, s.109).

Siden det er viktig at vannet dreneres på en riktig måte, må containeren være laget av et materiale som er solid nok til at containeren ikke deformeres. En deformasjon på bunnen av containeren kan føre til stagnerende vann og dermed til vekst av bakterier, alger og sopp.

Ulempen med dette systemet er dårlig forvaltning av vann og næringsstoff, risiko for sykdom ved feildrenering og behov for erstatning av mediet, i tillegg til at det har vist seg å være et vanskelig system å få til å fungere i praksis (Jones, 2014, s.110).

8. Anbefaling for produksjon i Norge

Ifølge et studie fra Graamans et al. (2018) er bruk av veksthus for hydroponisk dyrking i nordlige strøk (Sverige i dette studie) lite produktivt ettersom det er lite lys en god del av året (Graamans et al., 2018). Hovedpoenget med hydroponisk dyrking i Norge er at man unngår påvirkningen av eksterne forhold som lave temperaturer og lite lys. Dette forutsetter at man dyrker innendørs og ikke i veksthus.

Installasjonskostnader og materialer kan være dyre. Det er lite lønnsomt å drive et hydroponisk anlegg på et fruktbart jorde (Graamans et al., 2018). Valg av type system bestemmes i funksjon av vedlikeholdsbehov, vannforbruk, energiforbruk og risiko for smitte. Alt dette kommer til å påvirke kostnadene for bedriften. Det anbefales å sjekke hvilke vekster som kan gi best lønnsomhet ved å se på salgspriser og prosentandel av import i forhold til mengden som kan produseres per areal.

Den største fordelene med hydroponisk dyrking for forbrukeren, er ferske grønnsaker hele året. Det er derfor min mening at man utnytter potensialet til et slikt anlegg best ved å dyrke grønnsaker som har en kortvarig holdbarhet.

Hydroponisk produsert mat kan ikke selges som økologisk mat ettersom man tilsetter kjemisk næring i vannet. Likevel kan «lokalt», «ferskt» og «uten sprøytemidler» være labeler som kan øke salgspriisen på matvaren.

Frukt- og Grøntstatistikk for 2020 fra Opplysningskontoret for Frukt og Grønt viser at Norge produserte 4 589 tonn isbergsalat og 4 184 tonn av andre type salater. Samtidig importerte Norge 8 395 tonn isbergsalat og 2 922 tonn av andre salater. Det vil si at 64,7 % av isbergsalat og 41,1% av andre salater som ble solgt i Norge var importert fra utlandet (Opplysningskontoret for Frukt og Grønt, 2021). Hvis man satser på å erstatte den totale importen med lokal produksjon, er det derfor i teorien mulig å produsere og selge over 11 300 tonn salat per år i Norge med hydroponiske systemer. Salat er enkelt å dyrke med et hydroponisk anlegg, og de fleste kommersielle systemene, inkludert de enkleste typene, er godt egnet.

Et studie fra Barbosa et al. (2015) sammenlignet hydroponiske (i veksthus) og konvensjonell salatdyrking i Arizona, USA. Det er ikke nevnt i studiet hvilket hydroponisk system som ble brukt, men resultatene viser at per kvadratmeter og per år ble det dyrket 3,9 kg salat med konvensjonell dyrking og 41 kg salat med hydroponisk dyrking (Barbosa et al., 2015). Jeg antar at det hydroponiske anlegget var kun på én etasje siden det ikke ble nevnt noe annet. Det vil si at hvis man kan dyrker i et hydroponisk vertikalt dyrkingssystem med 3 etasjer, kan man produsere 123 kg per kvadratmeter. Det betyr at på et 100 kvadratmeters dyrkingsareal kan man i teori produsere 12,3 tonn salat hvert år med hydroponiske systemer i forhold til 390 kg med konvensjonell dyrking.

Ifølge Landbruksdirektoratet er produsentprisen på hjertesalat 14,75 kroner per 2 stykk (landbruksdirektoratet, 2021). En pakke hjertesalat på butikken med to stykk veier 150g, det vil si cirka 100 kroner per kilo. Så for 12300 kilo kan man i teorien oppnå en omsetning på $100 \times 12300 = 1\,230\,000$ kroner per år for 100 kvadratmeter dyrket areal på 3 etasjer.



Figur 5: Bildet viser et hydroponisk dyrkingsanlegg på flere etasjer. Av Pressmaster. (<https://www.colourbox.com/image/many-rows-of-green-seedlings-of-various-sorts-of-cabbages-growing-on-shelves-image-49454055>)

De fleste kilder jeg har funnet mener at den største ulempen med hydroponi er energiforbruk. Studiet av Barbosa et al. (2015) viser at energiforbruket er 81 ganger større for hydroponisk dyrking enn for konvensjonell dyrking. Fordelen i Norge er at kostnadene for energi i forhold til fleste land i Europa er lave, i tillegg til at strømmen vår kommer fra fornybare energikilder og har dermed lite negativt påvirkning på miljøet.

Ifølge Daly et al. er strømforbruket 20% av kostnadene i en hydroponisk produksjon. Samme studie mener at 70% av kostnadene kommer fra arbeidskraft (Daly et al.). Dette kan være en stor utfordring for norsk produksjon ettersom lønnskostnadene er mye høyere enn i de landene man importerer matvarer fra.

Valg av hydroponisk system i Norge bør derfor trolig ha fokus på høyest mulig automatisering. Ifølge Jones B. J. Jr. (2014) er Wick-systemet dårlig egnet til kommersiell bruk på grunn av høyt vann- og næringsstofforbruk, i tillegg til at det er stort behov for vedlikehold av vannløsningen gjennom vekstperioden (Jones, 2014, s.103). Aeroponi er det systemet som har største investerings- og driftskostnader og det er dermed etter min mening dårlig egnet for produksjon i Norge. Ebb and flow krever også mye vedlikehold ifølge Jones B. J. Jr. (2014) og dette er faktisk en av hovedgrunnene til at det ikke er mye brukt i kommersiell produksjon i dag (Jones, 2014, s.110).

Høy automatisering kan redusere antall ansatte på anlegget og dermed ha en stor påvirkning på kostnadene. Ifølge Maucieri et al. (2018) krever DFT lite vedlikehold og materialkostnader. Samme studie mener at NFT har stort potensiale for automatisering, dermed kan man med litt ekstra investering redusere arbeidsbehovet (Maucier et al, 2018).

Fordelen med NFT systemet er at det gir større muligheter til en mer variert produksjon (paprika, squash osv.). DFT og Wick-systemet er enklere enn NFT og krever mindre investeringskostnader, men egner seg kun til salat eller krydderdyrking (koriander, basilikum osv.) ettersom plantene står på et flytende isopor-brett (Graamans, 2015, s.14). Større planter kan dermed ikke vokse på grunn av stabilitet og tyngdeproblemer.

Hvis man skal dyrke salat i Norge, vil jeg anbefale DFT-systemet ettersom det krever lite vedlikehold i forhold til andre systemer. Hvis man ønsker å ha større fleksibilitet til å kunne dyrke forskjellige anbefaler jeg å investere i NFT-systemet.

Jeg har laget en tabell (tabell 8.1) som sammenligner de ulike systemene med hensyn på vedlikeholdsbehov, investeringskostnader, driftskostnader (vann og energi) og produktivitet. Tabellen har jeg laget basert på min forståelse etter å ha lest gjennom mange ulike vitenskapelige artikler, websider og blogger (Jones, 2014; Maucieri et al. 2019; Graamans, 2015; Soilless.org, 2016; Sensorex, 2019).

	Vedlikeholdsbehov (fra 1 til 5 der 5 krever mest vedlikehold)	Investeringskostnader	Driftskostnader (ikke arbeidskraft)	Produktivitet (fra 1 til 5 der 5 har høyest produktivitet)
NFT	2	\$\$	\$	4
DFT	2	\$	\$	3
Aeroponi	5	\$\$\$	\$\$\$	5
Ebb & Flow	3	\$	\$\$	2
Wick	3	\$	\$\$	1

(Tabell 8.1: Sammenligning av de ulike hydroponiske systemene)

9. Konklusjon

De viktigste faktorene for en optimal hydroponisk produksjon er vannløsningens egenskaper, lyset og mediet. Hoaglands formel er den fundamentale formelen som har vært brukt til å utlede ulike variasjoner av vannløsninger som foreslås i dag. Formelen gir en riktig næringsstoffbalanse og dermed også en gunstig pH. Vannløsningen lages i forhold til vannets egenskaper, det vil si hardheten og ion-konsentrasjonen dersom man ikke bruker destillert vann.

For lys er bruk av LED det beste valget, men også det dyreste. Enten bruker man rødt-blått lys eller hvitt. Hvitt lys er dyrere enn rødt-blått lys og har ikke vist betydelige fordeler som rettferdiggjør prisforskjellen. Mediet bestemmes av systemet som brukes. For frøvekst brukes vanligvis steinull, men perlitt kan også brukes. For systemer som Ebb and Flow der man bruker mediet ikke bare som plantestøtte, men også til tilføring av næring, er det best å bruke medier med bedre dreneringskapasitet for å redusere risiko for sykdom, for eksempel kokosfiber. NFT og DFT er de to systemene jeg vil anbefale for bruk i norsk hydroponisk dyrking ettersom disse systemene har størst potensial for automatisering og krever minst vedlikehold i tillegg til en stor produktivitet. Til kun salatdyrking kan DFT være tilstrekkelig, men hvis man vil variere sortene og dyrke større vekster som tomat eller squash, kan NFT være bedre egnet.

Kommersiell bruk av hydroponiske systemer er ganske nytt. Med økende antall produsenter og brukere av hydroponiske systemer kommer disse systemene til å bli bedre og billigere med tiden. Noen systemer som aeroponi, som per i dag egner seg dårlig til norsk produksjon, kommer trolig til å kreve mye mindre vedlikehold og få lavere kostnader i de neste ti-årene og dermed kanskje være et mer aktuelt system for bruk i Norge.

Det er mye rom for mer forskning og forbedringer rundt hydroponisk dyrking. Hydroponi i Norge har potensial til å kunne redusere import av matvarer og gjøre landet mer selvforsynt. Reduksjon av import vil øke verdiskapningen i Norge, samt redusere forurensning fra transport. Så lenge man bruker ren energi har hydroponisk dyrking lite negativt påvirkning på miljøet.

Litteraturliste

AcmePlastics (2021). What is HDPE?. AcmePlastics.com. Hentet fra:

[https://www.acmeplastics.com/what-is-hdpe#:~:text=High%20Density%20Poly%20Ethylene%20\(HDPE,%2C%20cutting%20boards%2C%20and%20piping](https://www.acmeplastics.com/what-is-hdpe#:~:text=High%20Density%20Poly%20Ethylene%20(HDPE,%2C%20cutting%20boards%2C%20and%20piping)

AlShrouf A. (2017). Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences*, Vol 27 No 1, s.247 - 255. Abu Dhabi Food Control Authority, R & D Division, AlAin, UAE. Hentet fra: <https://core.ac.uk/download/pdf/235050152.pdf>

AmHydro (2019, 26 mars). *NFT Systems and Hydroponic Farming* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=BkvsoShLojk&ab_channel=AmHydro

Baessler (2021). *Red Light vs. Blue Light: Which Light Color Is Better For Light Growth*. Gardeningknowhow.com <https://www.gardeningknowhow.com/garden-how-to/design/lighting/red-light-vs-blue-light.htm>

Barbosa G. L., Gadelha F. D. A., Kublik N., Proctor A, Reichhelm L., Weissinger E., Wohlleb G. M., Halden R. U. (2015). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(6): s. 6879 - 6891. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph120606879>

Cometti N. N., da Silva J. V., Zonta E., Cessa R. MA. (2020). *Evaluation of photosynthetic photon flux in lettuce cultivation at different shading levels*. *Hortic. Bras.* 38 (1). <https://doi.org/10.1590/S0102-053620200110>

Daly W., Fink J., Shamshak G. L. *Economic Assesment of Hydroponic Lettuce Production*. Goucher College, MD, USA. Hentet fra: https://www.scribd.com/document/340151435/Economic-Assessment-of-Hydroponic-Lettuce-Production?language_settings_changed=English

-
- Despommier D. (2009). The RISE of VERTICAL FARMS. Scientific American, Vol. 301, No 5, s. 80 - 87. Hentet fra:
https://www.jstor.org/stable/26001595?seq=1#metadata_info_tab_contents
- Ebba J. (2020, 28 april). *Growing Seedlings Under Lights*. University of New Hampshire, Durham. Hentet fra:
https://extension.unh.edu/resources/files/Resource008038_Rep11733.pdf
- Electrical conductivity meter (2021, 21 April). I wikipedia.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_conductivity_meter#:~:text=An%20electrical%20conductivity%20meter%20\(EC,or%20impurities%20in%20the%20water.](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_conductivity_meter#:~:text=An%20electrical%20conductivity%20meter%20(EC,or%20impurities%20in%20the%20water.)
- Excite (Hentet mai 2021). *The Story About PPF, PPFd, Lumens and Lux*. Excite LED Grow Lights. <https://www.exciteled.de/en/blog/led-grow-lights/the-story-about-ppf-ppfd-lumens-and-lux>
- FAO (2018). *The future of food and agriculture – alternative pathways to 2050*. Summary version. Rome. 60 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
<http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>
- FAO (2019). *New standards to curb the global spread of plant pests and diseases*. FAO, Roma.
<http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/#:~:text=FAO%20estimates%20that%20annually%20between,insects%20around%20US%2470%20billion.>
- FAO (2021). Food systems account for more than one third of gloval greenhouse gas emissions. FAO, Roma.
<http://www.fao.org/news/story/en/item/1379373/icode/>
- Feng T. (2016). *Study and optimization of lighting systems for plant growth in a controlled environment*. Chemical and Process Engineering. Univeristé Paul Sabatier – Toulouse III, 2016. English. NNT: 2016TOU30248.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01582072/document>
- Fluence (2021). *How Light Affects Taste*. Fluence By OSRAM.
<https://fluence.science/science-articles/how-light-affects-taste/>

- FN. (2017, 21 juni). World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100. Hentet fra:
<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html>
- Graamans L. J. A. (2015, 17 april). *VERTICAL – The re-development of vacant urban structures into viable food production centres utilising agricultural production techniques*. Delft University of Technology, Netherlands.
<http://resolver.tudelft.nl/uuid:f9dd86ce-22a9-4dfe-b66e-ef55230e3856>
- Graamans L., Baeza E., van den Dobbelsteen A., Tsafaras I., Stanghellini C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.003>
- Hoagland D. R. and Arnon D. I. (1950). *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. Circular 347, California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkley. Hentet fra:
<https://ia800306.us.archive.org/6/items/watercultureme3450hoag/watercultureme3450hoag.pdf>
- Husby I., Kjenseth A. H. (2020). *DATARAPPORT Drikkevannskvalitet i Oslo 2020* (Arkiv nr. 16/02241). Vann- og avløpsetaten. Hentet fra:
<https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13393078-1611742342/Tjenester%20og%20tilbud/Vann%20og%20avl%C3%B8p/Dr%20ikkevannskvalitet/Datarapport%202020.pdf>
- Jones B. J. Jr. (2014). *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. GruSystem Inc., Anderson, South Carolina, USA. Hentet fra:
<https://www.researchgate.net/profile/Arvind-Singh-21/post/Hydroponics-for-Radish/attachment/5ed08b130294e50001c34553/AS%3A896381426360321%401590725394972/download/1.pdf>
- Kafkaki U. (2008). Functions of the Root System. Raviv M. & Lieth J. H. (Red.), *Soilless Culture: Theory and Practice* (s.13 - 40). Elsevier.
- Khan F. A., Kurklu A., Ghafoor A., Ali Q., Umair M., Shahzaib (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture.

International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences.

Hentet fra: <http://dx.doi.org/10.31015/jaefs.18010>

Kuack D. (2012). *Maximizing Hydroponic Crop Production*. Greenhouse Product News. Gpnmag.com. <https://gpnmag.com/article/maximizing-hydroponic-crop-production/>

Landbruk.no (2019). *I dag er Norge helt avhengig av importert mat*. Landbruk.no. <https://www.landbruk.no/internasjonalt/i-dag-er-norge-helt-avhengig-av-importert-mat/>

Landbruksdirektoratet (2021). *Frukt og grønt*. Landbruksdirektoratet.no <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/industri-og-handel/marked-og-pris/priser-og-prisuttak/frukt-og-gront>

Massa G. D., Kim H.-H., Wheeler R. M., Mitchell C. A. (2008). Plant Productivity in Response to LED Lighting. *Hort Science*, Vol 43: Issue 7, s.1951 – 1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>

Maucieri C., Nicoletto C., Os E., Anseeuw D., Havermaet R.V., Junge R. (2019) Hydroponic Technologies. In: Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G.M. (eds) *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4

Norges Geologiske Undersøkelse (2020, 17 desember). *Hardt Vann*. NGU.no. Hentet fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/grunnvannskvalitet/hardt-vann>

NPS (2018). *Hydroponics: A Better Way to Grow Food*. National Park Service. nps.gov. <https://www.nps.gov/articles/hydroponics.htm#:~:text=Less%20water%3A%20Hydroponic%20systems%20use,and%20drain%20to%20the%20environment.>

Online Etymology Dictionary. Hydroponics (n.). Hentet fra: <https://www.etymonline.com/word/hydroponics>

Opplysningskontoret for Frukt og Grønt (2021). *Frukt- og Grønstatistikk 2020*. Hentet fra: https://frukt.no/globalassets/materiell/totaloversikten/endelig_frukt--og-grontstatistikk-2020_20210510.pdf?language=NO

Pedersen B. (2019, 30 september). *hardt vann*. SNL. Hentet fra:

https://snl.no/hardt_vann#:~:text=Hardhet%20av%20vann%20oppgis%20vanligvis,30%20%C2%B0d%20meget%20hardt.

Plant Growth. *Plant Growth as a Function of LED Lights*. Bates College, ME, USA.

<http://abacus.bates.edu/acad/depts/biobook/FP-LEDIt.pdf>

Sensorex (2019). *6 Types of Hydroponic Systems Explained*. Sensorex.com.

<https://sensorex.com/blog/2019/10/29/hydroponic-systems-explained/>

Siyuvala. *Electrolytes, ionisation and conductivity*. Hentet fra:

<https://intl.siyavula.com/read/science/grade-10/reactions-in-aqueous-solution/18-reactions-in-aqueous-solution-03>

Soilless (2016). *Types of Hydroponic Systems*. Soilless.org.

<http://www.soilless.org/hydroponics/types-hydroponics-systems/>

The Home Depot (Hentet mai 2021). *Types of Light Bulbs*. Homedepot.com.

<https://www.homedepot.com/c/ab/types-of-light-bulbs/9ba683603be9fa5395fab90e1115f39>

Vann- og avløpsetaten (2021). *Drikkevannskvalitet*. Oslo Kommune. Hentet fra:

<https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/drikkevannskvalitet/#gref>

Van Os E., Gieling T. H., Lieth J. H. (2008). Technical Equipment in Soilless Production Systems. Raviv M. & Lieth J. H. (Red.), *Soilless Culture: Theory and Practice* (s.157 – 207). Elsevier.

Figur- og Tabelliste

Figur:

Figur 1: Pressmaster. Over shoulder view of woman examining plants growing under LED lamps in greenhouse, Stock image. [Image]. Colourbox.com.

<https://www.colourbox.com/image/raising-plants-under-led-lamps-image-44444998>

Figur 2 : Mavadee. Root of hydroponic vegetables, Stock image. [Image]. Colourbox.com.

<https://www.colourbox.com/image/root-of-hydroponic-vegetables-image-5384467>

Figur 3: Chompipat P. Nutrient film technique is a hydroponic technique where in a very shallow stream of water containing all the dissolved nutrients required for plant growth. Education ..., Stock vector. [Illustrasjon] Colourbox.com.

<https://www.colourbox.com/vector/nutrient-film-technique-is-a-hydroponic-technique-education-info-graphic-vector-vector-29813801>

Figur 4: ArcadiYay. An example of deep water culture in lettuce production. [Image]

Wikipedia.com. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deep_water_culture.jpg

Figur 5: Pressmaster. Many rows of green seedlings of various sorts of cabbages growing on shelves inside large contemporary vertical farm or greenhouse, Stock image. [Image]

Colourbox.com. <https://www.colourbox.com/image/many-rows-of-green-seedlings-of-various-sorts-of-cabbages-growing-on-shelves-image-49454055>

Tabell:

Tabell 4.1 : Hovedelement Formel 1

Tabell 4.2 : Hovedelement Formel 2

Tabell 4.3 : Mikronæringsstoffformel A

Tabell 4.4 : Sluttkonsentrasjon i vannløsningen

Tabell 8.1 : Sammenligning av de 5 ulike hydroponiske systemer