

# Rapport

## Vertikal innendørs dyrking

Muligheter og begrensninger i et norsk perspektiv

### Forfattere:

Tore Kolås, Trine Kirkhus, Aleksander Lillienkiold

### Rapportnummer:

2025:00401 - Åpen

**Oppdragsgiver:** Landbruksdirektoratet –  
Forskningstilbudene for jordbruk og matindustri (FFL/JA)





SINTEF Industri  
Postadresse:  
Postboks 4760 Torgarden  
7465 Trondheim  
Sentralbord: 40005100  
info@sintef.no

Foretaksregister:  
NO 919303808 MVA

# Rapport

## Vertikal innendørs dyrking

Muligheter og begrensninger i et norsk perspektiv

### EMNEORD

Vertikal dyrking  
Innendørs dyrking  
Verikalt landbruk  
Plantefabrikk  
Veksthus

### VERSJON

1

### DATO

2025-04-11

### FORFATTERE

Tore Kolås, Trine Kirkhus, Aleksander Lillienkiold

### OPPDRAGSGIVER

Landbruksdirektoratet – Forskningsmidlene for  
jordbruk og matindustri (FFL/JA)

### OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Agros 246525

### PROSJEKTNUMMER

102030820

### ANTALL SIDER

40

### SAMMENDRAG

SINTEF har i 2024 gjennomført et prosjekt med støtte fra Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (FFL/JA), der hovedmålet var å kartlegge muligheter og utfordringer innenfor vertikal innendørs dyrking i Norge. Denne rapporten utgjør en av leveransene fra dette prosjektet. Som en del av prosjektet har vi gjennomført en spørreundersøkelse med næringen, og dette har gitt oss verdifulle tilbakemeldinger knyttet til erfaringer og muligheter i Norge. I tillegg har vi gjennomført en omfattende litteraturstudie på innendørs dyrking, med fokus på både muligheter og begrensninger. Basert på dette har vi drøftet denne dyrkingsmetoden i et norsk perspektiv, og vi har forsøkt å presentere et nyansert bilde av de mulighetene som denne metoden gir i Norge. En generell utfordring med denne dyrkingsmetoden har vært høye kostnader, og da i første rekke kostnader til arbeidskraft, elektrisitet og investeringer relatert til lokaler og utstyr. Vi har derfor valgt å rette et spesielt søkelys på disse tre områdene, og på hvordan nye løsninger, innovasjon og forskning kan bidra til å redusere de respektive kostnadene.

### UTARBEIDET AV

Tore Kolås

### SIGNATUR

Tore Kolås (Apr 11, 2025 11:23 GMT+2)

### KONTROLLERT AV

Marit Aursand

### SIGNATUR

### GODKJENT AV

Ruben Bjørge

### SIGNATUR

COMPANY WITH  
MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
ISO 9001 • ISO 14001  
ISO 45001

### RAPPORT NR.

2025:00401

### ISBN

978-82-14-07480-2

### GRADERING

Åpen

### GRADERING DENNE SIDE

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1	2025-04-11	Første versjon av rapporten

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon og bakgrunn.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Terminologi.....</b>	<b>6</b>
2.1	Benevnelser og forkortelser.....	6
2.2	Dyrkingsmetoder.....	7
2.2.1	Dyrking i lukkede og kontrollerte miljøer.....	7
2.2.2	Hydroponisk dyrking.....	7
2.2.3	Aeroponisk dyrking.....	7
2.2.4	Akvaponisk dyrking.....	8
<b>3</b>	<b>Internasjonale erfaringer beskrevet i litteraturen.....</b>	<b>9</b>
3.1	Fordeler og muligheter med vertikal innendørs dyrking.....	9
3.1.1	Krever mindre landareal.....	9
3.1.2	Kan dyrke nærmest overalt, uavhengig av jordsmonn og klima.....	9
3.1.3	Stabil produksjon gjennom hele året.....	10
3.1.4	Kan dyrke uten bruk av plantevernmidler.....	10
3.1.5	Gjør det mulig med stor grad av automatisering.....	10
3.1.6	Kan integreres i smarte strømnett.....	10
3.1.7	Krever mindre forbruk av vann.....	10
3.1.8	Kan oppnå effektiv tilførsel av næring til plantene.....	11
3.1.9	Kan øke produksjonen ved å tilføre CO <sub>2</sub> .....	11
3.1.10	Gjør det enklere å produsere nær forbrukeren.....	11
3.2	Begrensninger og utfordringer knyttet til vertikal innendørs dyrking.....	11
3.2.1	Begrensninger i hvilke sorter som kan dyrkes.....	11
3.2.2	Økonomisk bærekraftig produksjon.....	12
3.2.3	Krever store investeringer ved oppstart.....	12
3.2.4	Stort elektrisitetsbehov.....	13
3.2.5	Behov for manuelt arbeid.....	13
3.2.6	Landareal knyttet til elektrisitetsproduksjon.....	13
3.2.7	Plantevern og plantesykdommer.....	13
3.2.8	Forbruk av gjødsel og reduksjon av utslipp.....	14
3.3	Oppsummering av fordeler og ulemper med vertikal innendørs dyrking.....	14
<b>4</b>	<b>Erfaringer og muligheter i Norge.....</b>	<b>15</b>
4.1	Betraktninger rundt arealbehov for dyrking av salat.....	15
4.2	Mulig lokaler for innendørs dyrking i Norge.....	16
4.2.1	Rimelige lokaler, inkludert lokaler som i dag står ubrukt.....	16
4.2.2	Lokaler som benyttes av mennesker.....	16



4.2.3	Lokaler med fordelaktig plassering.....	17
4.2.4	Lokaler i tilknytning til tradisjonell veksthusproduksjon.....	17
4.2.5	Lokaler i nordlige deler av Norge.....	17
4.2.6	Nybygg designet for vertikal dyrking.....	17
4.3	Tilgang på grønn og rimelig elektrisitet .....	18
4.4	Lønnskostnader, arbeidskraft og automasjon .....	18
4.5	Logistikk, marked og markedstilgang.....	18
4.6	Matsikkerhet og regulatoriske forhold .....	19
4.7	Områder med behov for mer kompetanse og kunnskap.....	19
<b>5</b>	<b>Tema for ny forskning.....</b>	<b>20</b>
5.1	Bærekraftsanalyser .....	20
5.2	Mer kunnskap om planter og dyrking.....	20
5.3	Egnede lokaler for innendørs dyrking.....	21
5.4	Nye teknologiske løsninger .....	21
5.4.1	Oppvarming og kjøling.....	21
5.4.2	Mikroklima.....	22
5.4.3	Robotikk og automatisering .....	22
5.4.4	Sensorer, prosesskontroll og styring .....	23
5.4.5	Energieffektiv belysning og ulike planters respons på lys .....	24
<b>6</b>	<b>Oppsummering og konklusjon .....</b>	<b>26</b>
6.1	Reduksjon av kostnader knyttet til manuelt arbeid.....	26
6.2	Reduksjon av elektrisitetskostnader .....	26
6.3	Reduksjon av kostnader til lokaler.....	27
6.4	Konklusjon.....	27
<b>7</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>28</b>
<b>A</b>	<b>Spørreundersøkelse blant norske aktører.....</b>	<b>30</b>
A.1	Formålet med prosjektet, slik det ble presentert for deltakere i spørreundersøkelsen .....	30
A.2	Spørsmål og svaralternativ i spørreundersøkelsen.....	31
A.3	Sammendrag av resultater fra spørreundersøkelsen .....	33

# 1 Introduksjon og bakgrunn

Grøntsektoren i Norge har et stort potensial for økt markedsandel og selvforsyning. Grøntutvalget hadde i 2020 en ambisjon om omsetningsvekst på 75 % for grønnsaker, frukt og bær, og vekst i norskandelen på 50 % innen 2035 [1]. I 2019 var mindre enn halvparten av grønnsakene som ble solgt i Norge dyrket innenfor landegrensene.

Norge har en begrenset vekstsesong som følge av et kaldt klima og mangel på tilstrekkelig dagslys i vintersesongen. Dette gjør at det i Norge kan være mer interessant å dyrke innendørs. Grøntproduksjon i veksthus med tilgang på dagslys og ved bruk av kunstig belysning har de senere årene klart å oppnå helårsproduksjon av flere ulike grønntprodukter som agurk, tomat og salat.

Innendørs dyrking i lokaler uten tilgang på dagslys er en relativt ny metode for grønntproduksjon som de siste årene har fått stor oppmerksomhet. Typisk dyrkes det i flere vertikale nivåer – derav benevnelsen vertikal innendørs dyrking.

Vertikal innendørs dyrking byr på muligheter som at man kan produsere nærmest hvor som helst, inkludert i private boliger, i restauranter eller andre urbane lokaler med nærhet til forbruker. Man kan også produsere i rimelige lokaler som for eksempel i ubrukte lagerbygg eller landbruksbygg, eller på steder der overskuddsvarmen fra vertikalproduksjonen kan benyttes til andre formål. Vertikal dyrking kan dermed være et bidrag til å oppnå målet om matproduksjon over hele landet [2]. I tillegg har man full kontroll på tilført lys, vann, næring, luftkondisjonering og energi – og på avfall/avrenning fra produksjonen. Plantene kan da få optimale vekstforhold hele året og det med et betydelig redusert forbruk av vann, næringssalter og plantevernmidler [3].

På den andre side får man ikke automatisk levert lys, vann og næring fra naturen. Dermed vil det kreves både energi og arbeidskraft å sørge for dette. Det er fortsatt uavklart hvilket potensial vertikal innendørs dyrking har i Norge, og om denne typen dyrking vil kunne bidra til en signifikant økning i norskandelen av frukt og grønnt, og om slik produksjon kan gjøres bærekraftig.

SINTEF har i 2024 gjennomført et prosjekt med støtte fra Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (FFL/JA), der hovedmålet var å kartlegge muligheter og utfordringer innenfor vertikal innendørs dyrking i Norge. Tittelen på dette prosjektet er «Vertikal grønntproduksjon – begrensninger og muligheter i Norge», og prosjektet hadde to hovedmål.

Det første prosjektmålet var å presenter et bilde av ulike muligheter for hvordan denne næringen kan utvikle seg i Norge, og hva som eventuelt mangler av kunnskap og kompetanse. Det andre målet var å definere tema for nye forskningsprosjekter rettet mot å realisere bærekraftig vertikal grønntproduksjon i Norge. Tema for nye forskningsprosjekter skal ta utgangspunkt i hva som mangler av kunnskap og kompetanse, samt hva som mangler av teknologiske løsninger for å gjøre vertikal innendørs dyrking mer bærekraftig i Norge. Denne rapporten utgjør en av leveransene fra dette prosjektet.

## 2 Terminologi

Med vertikal innendørs dyrking tenker vi i denne rapporten først og fremst på dyrking som gjøres innendørs i flere vertikale nivåer, og med bruk av kunstig belysning. Typisk vil det være snakk om grøntproduksjon i kontrollerte omgivelser i lokaler uten tilgang på naturlig dagslys. Men det finnes likevel mange ulike framgangsmåter, og vi ønsker ikke å benytte en snever definisjon av vertikal dyrking. I denne rapporten kan derfor begrepet vertikal innendørs dyrking innbefatte alle varianter av dyrking som gjøres i flere nivåer innendørs, og med overvekt av kunstig belysning.

### 2.1 Benevnelser og forkortelser

Vertikal innendørs dyrking er en relativt ny metode for dyrking. På grunn av dette finnes det fortsatt mange ulike benevnelser som brukes jevnlig relatert til denne typen dyrking, ikke minst i Norge. Det kan være nyanseforskjeller mellom de ulike benevnelserne, og noen av benevnelserne er mer vanlige i andre deler av verden. Kjennskap til de ulike benevnelserne kan være greit å ha når man skal leite fram informasjon om denne dyrkingsmetoden. I Tabell 1 har vi samlet de mest vanlige benevnelserne både på norsk og engelsk.

**Tabell 1.** Noen vanlige benevnelser relatert til vertikal dyrking som benyttes på norsk og engelsk.

Norsk	Engelsk	Kommentar
Vertikal dyrking	Vertical farming	Dyrking i flere vertikale nivåer slik at man kan øke produksjonen per kvadratmeter grunnflateareal.
Vertikalt landbruk	Vertical farming	En annen betegnelse på vertikal dyrking.
Innendørs dyrking	Indoor farming	Innendørs dyrking, typisk i flere vertikale nivåer i lokaler med begrenset tilgang på dagslys.
Vertikal grøntproduksjon	Vertical farming	Produksjon av grøntprodukter ved bruk av innendørs vertikal dyrking.
Urbant landbruk	Urban farming	Dyrking av planter i urbane områder, inkludert innendørs dyrking med begrenset tilgang på dagslys, men også dyrking på hustak og i fasader.
Plantefabrikk	Plant factory	Produksjonsanlegg tilrettelagt for storskala vertikal dyrking av planter.
Vertikalanlegg	Vertical farming facility	Produksjonsanlegg for vertikal dyrking av planter, inkludert både storskala anlegg og mindre anlegg.
Renrom for dyrking	Agricultural cleanrooms	Dyrking i slike lokaler innebærer at man dyrker innendørs i et godt beskyttet miljø, der alle parametere kan kontrolleres.

På engelsk benyttes det ofte forkortelser, og nedenfor har vi listet opp noen av de mest brukte relatert til vertikal dyrking:

VF	Vertical Farming
PFAL	Plant Factory with Artificial Lighting
CEA	Controlled Environment Agriculture
CPPS	Closed Plant Production Systems

## 2.2 Dyrkingsmetoder

Vertikal grøntproduksjon kan gjøres ved bruk av ulike dyrkingsmetoder. Nedenfor følger en kort introduksjon til de mest vanlige metodene.

### 2.2.1 Dyrking i lukkede og kontrollerte miljøer

Innendørs dyrking av planter åpner opp for muligheten å dyrke i et lukket og kontrollert miljø. På engelsk benyttes ofte betegnelsen «controlled environment agriculture», med forkortelsen CEA. Dyrking i tradisjonelle veksthus gir mulighet til å kontrollere de fleste miljøfaktorene, i større eller mindre grad. Når man baserer seg på å utnytte mest mulig av tilgjengelig dagslys kan det likevel være vanskelig å få full kontroll over enkelte miljøfaktorer, ikke minst lysforholdene. Vertikal innendørs dyrking kjennetegnes ved at man kan oppnå svært god kontroll over alle relevante miljøfaktorer. Ettersom man baserer seg på kunstig belysning, har man her også god kontroll over lysforholdene.

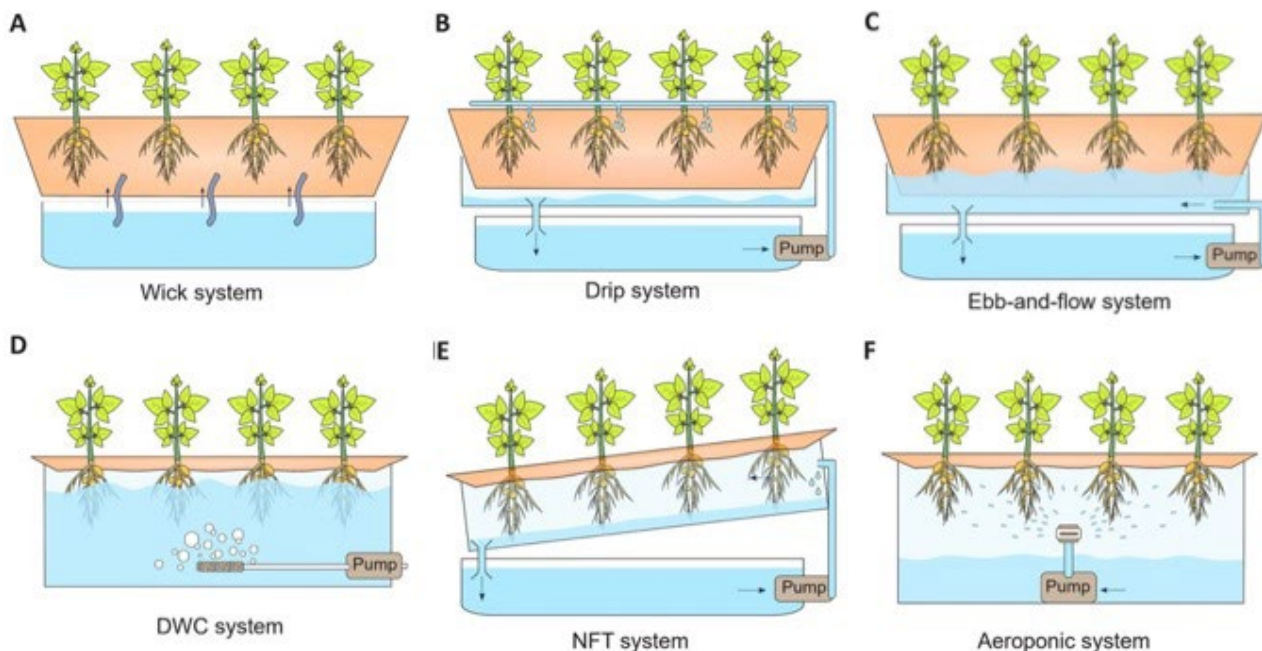
Det kontrollerte miljøet gir god beskyttelse mot utendørselementene og kan bidra til å opprettholde optimale vekstforhold for plantene som dyrkes hele året, uavhengig av geografisk plassering. Det kontrollerte systemet for dyrking gir også mulighet til å bruke mindre plass for å dyrke større mengder avlinger. Dette gjør det mulig å dyrke på mye mindre arealer enn det som trengs for tradisjonell dyrking i jord. Når man dyrker i kontrollerte miljøer dyrker man ofte også uten jord, ved bruk av ulike varianter av hydroponisk dyrking.

### 2.2.2 Hydroponisk dyrking

Hydroponisk dyrking er en metode der planter kan vokse uten å være avhengige av vanlig jord. I stedet for jord, bruker man et næringsrikt vannbad der plantene får den riktige mengden næringsstoffer. Hydroponisk dyrking gjør det mulig å bruke ressursene mye mer effektivt. Ved at plantene får næring direkte, kan vannforbruket reduseres betraktelig. Med hydroponisk dyrking unngår man at jorda absorberer mye av vannet før det når røttene, og kan tas opp av plantene. I tillegg er det mindre fordampning fordi vannet ikke trenger å gå gjennom jorden. Ved tradisjonell dyrking på friland er det også avrenning fra tilført næring, mens man i lukkede systemer kan gjenbruke «avrenningen» og dermed redusere bruken av næringsstoffer.

### 2.2.3 Aeroponisk dyrking

Aeroponisk dyrking er en variant av hydroponisk dyrking, der man altså dyrker uten vanlig jord. Men i stedet for å benytte et vannbad tilføres her vann og næring gjennom luft med vanndråper eller aerosoler, som sprayeres på røttene. Dermed har man mulighet til å dyrke med et enda lavere vannomsetning. Aeroponisk dyrking er kanskje også den mest effektive dyrkingsmetoden når det kommer til vekstrate og avling. Flere studier indikerer at aeroponisk dyrking kan gi høyere produksjon på samme tid, sammenlignet med hydroponisk dyrking. Rotsystemet ved aeroponisk dyrking er betydelig større enn ved hydroponisk dyrking, og dette gir en noe forsinket oppstart av toppvekst, men rotgrunnlaget gir en raskere og sterkere toppvekst når den først starter. Aeroponisk dyrking har dermed vist seg å gi raskere vekst, totalt sett [4] [5].



**Figur 1. Illustrasjon av ulike typer hydroponisk dyrking, samt aeroponisk dyrking.** A) er et vannbad med veker som trekker vann, disse gir konstant fuktighet til jordsmonnet, B) er et dryppsystem som sørger for at jorden ikke blir stående i vann, dette kan for enkelte planter skape mugg og råtnete røtter, C) et system hvor man har mer stående vann i jordsmonnet, D) dette er kalt dyppvannskultivering, E) næringsfilm-teknikk – her brukes rennende vann som kontinuerlig sirkuleres, D) og E) er tradisjonelt det vi kaller og forstår som hydroponi, F) illustrere et aeroponisk system hvor røttene står i en vanntåke. Illustrasjonen er gjengitt fra [6] under CC-lisens.

#### 2.2.4 Akvaponisk dyrking

Akvaponisk dyrking er en metode for planteproduksjon ved bruk av hydroponisk dyrking, der man samtidig drar nytte av nærliggende produksjon av akvatiske organismer.

Oppdrett av akvatiske organismer som fisk, kreps, snegler eller reker kan gi næringsrikt akvakulturvann som kan tilføres til planterøttene, og som dermed kan gi næring til hydroponisk dyrkede planter. Etter at vannet har passert gjennom det hydroponiske delsystemet, kan det bli rensert og resirkulert tilbake til akvakulturanleggene. For slike kretsløpssystemer er det viktig med en god balanse mellom akvatiske organismer og planter, for å opprettholde gode vekstbetingelser for både planter og de akvatiske organismene. Målet ved akvaponisk dyrking er å utnytte en mulig renseeffekt fra grøntproduksjon i sirkuleringsvannet til fisken. Slam, avføring og sedimenter blir tatt opp av planter eller alger. Denne symbiosen kan være viktig for å øke utnyttelsen av ressurser knyttet til eksempelvis smoltproduksjon i Norge.

Akvaponi er testet ut i mange ulike prototypenlegg, og denne metoden er fortsatt i et tidlig stadium. Metoden kan være ekstra interessant her i Norge ettersom vi har en stor akvakulturnæring. Mer informasjon om akvaponisk dyrking finnes i Goddek et al. [7].

### 3 Internasjonale erfaringer beskrevet i litteraturen

Vi har gjennomført en litteraturstudie på innendørs dyrking. Nedenfor rapporteres de viktigste resultatene fra denne studien innenfor noen utvalgte områder som er sentrale for målsetningen med arbeidet i prosjektet:

- Fordeler og muligheter med vertikal innendørs dyrking
- Viktige begrensninger og utfordringer med vertikal innendørs dyrking

En evaluering av innendørs dyrking bør gjøres sett i forhold til alternative metoder. Ulike metoder kan rangeres etter graden av kontroll man har på dyrkingsmiljøet. Dyrking på friland ligger her i den ene enden av skalaen, der man har liten kontroll på omgivelsene, og den laveste produksjonen per kvadratmeter landareal. Innendørs dyrking i et helt lukket miljø ligger i den andre enden av skalaen. Her har man svært god kontroll på omgivelsene og man oppnår også den høyeste produksjonen per dyrket areal. Mellom disse to ytterpunktene ligger det ulike varianter av dyrking med en viss grad av beskyttelse, som for eksempel dyrking i polytunneler eller ulike typer av veksthus.

#### 3.1 Fordeler og muligheter med vertikal innendørs dyrking

Vi vil her gi en kort beskrivelse av de mest sentrale fordelene og mulighetene med innendørs dyrking, først og fremst sammenlignet med dyrking på friland. Ved dyrking i ulike typer veksthus vil man i større eller mindre grad kunne dra nytte av de samme fordelene.

- Krever mindre landareal
- Kan dyrke nærmest overalt, uavhengig av jordsmonn og klima
- Kan oppnå stabil produksjon gjennom hele året
- Kan dyrke uten bruk av plantevernmidler
- Gjør det mulig med stor grad av automatisering
- Kan integreres i smarte strømnnett
- Kan oppnå effektiv tilførsel av næring til plantene
- Kan øke produksjonen ved å tilføre CO<sub>2</sub>
- Gjør det enklere å produsere nær forbrukeren

##### 3.1.1 Krever mindre landareal

Vertikal innendørs dyrking kan bidra til en mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig landareal. Landarealet som kreves for å oppnå en gitt produksjon er oppgitt å kunne være bare 1% av arealet som kreves ved frilandsproduksjon og omtrent 10% av arealet som kreves ved tradisjonell veksthusproduksjon [3]. Samtidig har man også muligheten til å dyrke på områder som ikke er egnet for utendørs dyrking. I et bærekraftperspektiv må man imidlertid også ta hensyn til hvilket landareal som er nødvendig for å produsere energien som går inn i produksjonen. Vi kommer tilbake til betraktninger rundt dette senere, se avsnitt 3.2.6.

##### 3.1.2 Kan dyrke nærmest overalt, uavhengig av jordsmonn og klima

Det at man er uavhengig av jordsmonn og klima gjør det mulig å dyrke nærmest overalt, så lenge det er tilgang på vann og elektrisk strøm. I Norge vil dette kunne bidra til å oppnå målet om matproduksjon over hele landet [2].

### 3.1.3 Stabil produksjon gjennom hele året

Ettersom man har svært god kontroll på miljøet, har man mulighet til å oppnå en stabil og forutsigbar produksjon av høy kvalitet gjennom hele året. Dermed blir man mindre avhengig av import i vintersesongen.

### 3.1.4 Kan dyrke uten bruk av plantevernmidler

Behovet for plantevernmidler er avhengig av hvordan man dyrker. Når man dyrker innendørs i et helt lukket miljø har man bedre muligheter til å beskytte planter mot sykdommer fra farlige bakterier, sopp eller insekter. Dermed kan man dyrke helt uten bruk av plantevernmidler, men dette forutsetter da at man følger gode og omfattende rutiner for å beskytte miljøet mot sykdommer.

### 3.1.5 Gjør det mulig med stor grad av automatisering

Automatisering er en voksende trend i landbrukssektoren, med nye maskiner og utstyr som blir stadig mer relevant. Maskinsyn og robotikk blir forsøkt brukt i veksthus for å redusere behovet for menneskelig inngrep og muliggjøre kontinuerlig drift, inkludert rask deteksjon av skadedyr eller sykdommer, men mye av dette er fortsatt på prototypstadiet [8]. Likevel kan vi si at dyrking innendørs i kontrollerte omgivelser kan gi muligheter for å benytte større grad av automatisering. Dette kan være spesielt viktig for høykostland som Norge der arbeidskraften utgjør en relativt høy andel av produksjonskostnadene.

### 3.1.6 Kan integreres i smarte strømnett

Mange planter har behov for hvileperioder der de ikke får lys. Hvileperiodene kan velges slik at de overlapper med tider på døgnet da det er størst belastning på strømmettet. Dermed kan et vertikalanlegg fungere som en aktiv komponent i et smart strømnett. Dette forutsetter at man har kunnskap om hvordan plantene håndterer ulike lyssykluser. En studie gjennomført av SINTEF viser at det kan være mye å spare på å belyse plantene i perioder som samsvarer med lavere energipriser [9]. Et system der anlegg for innendørs dyrking fungerer som «biobatterier» er en grunntanke i et nystartet forskningsprosjektet (FlexiFarm), som er ledet av NTNU.

### 3.1.7 Krever mindre forbruk av vann

Vertikal innendørs dyrking innebærer gjerne lukkede systemer for vanning, med stor grad av gjenbruk av vann. Dermed kan vannforbruket og vannbehovet reduseres betydelig i forhold til dyrking på friland [10]. Dette kan være en viktig faktor i områder med begrenset tilgang på vann. Eksempler på dette finner man i land ved Middelhavet, som ofte har perioder med vannmangel. Problematikken med vannmangel for jordbruk og matproduksjon i sørøstlige deler av Spania diskuteres av García-Vila et. al [11].

Vertikal dyrking kan redusere vannbehovet også i forhold til dyrking i tradisjonelle veksthus. Dette ble studert og diskutert av Graamans et. al [12]. De analyserte vannbehovet knyttet til produksjon av salat under ulike forutsetninger og for ulike geografiske lokasjoner, Sverige, Nederland, og De forente arabiske emirater. Studien konkluderte med at dyrking i vertikalanlegg gav muligheter for reduksjoner i vannbehovet i området 28-95 %, i forhold til tradisjonell veksthusproduksjon.

I Norge har vi ikke det samme problemet med vannmangel, så her er ikke vannbehovet like kritisk. Men produksjon i lukkede systemer vil også kunne redusere mengden miljøforurensende utslipp som spres med avløpsvannet, og dermed redusere miljøbelastninger fra denne typen utslipp.

### 3.1.8 Kan oppnå effektiv tilførsel av næring til plantene

Hydroponisk dyrking gjør det mulig å oppnå effektiv tilførsel av næring til plantene. Dermed kan man utnytte ressurser mer effektivt, og redusere mengden miljøskadelige utslipp. Hydroponi og lukket anlegg gir også gode muligheter til å resirkulere vannet slik at alt av næring blir brukt og ikke går til avrenning.

### 3.1.9 Kan øke produksjonen ved å tilføre CO<sub>2</sub>

Karbondioksid er essensielt for fotosyntese og vekst hos planter. I fotosyntesen bruker plantene vann og karbondioksid som tas opp, og ved hjelp av lys og omdannes til karbohydrater og oksygen. Singh et. al [13] studerte effekten av å tilføre CO<sub>2</sub> under produksjon av salat. To identiske veksthus ble brukt i denne studien, ett veksthus med naturlig mengde CO<sub>2</sub> (410 ppm), og ett veksthus med tilført CO<sub>2</sub> (800 ppm). Resultatene viser at tilførsel av CO<sub>2</sub> kan gi en betydelig økning i salatproduksjonen. For tre ulike typer salat økte ferskvekten av produsert salat med 29-40 % og tørrvekten med 34-40 % [13].

Når man dyrker i et lukket miljø, kan man altså øke produksjonen betydelig ved å tilføre CO<sub>2</sub> til luften i dyrkingslokalet. Både i tradisjonelle veksthus og i vertikalanlegg tilføres derfor ofte CO<sub>2</sub> til luften i dyrkingslokalet for å øke produksjonen.

### 3.1.10 Gjør det enklere å produsere nær forbrukeren

Det at man kan dyrke nærmest overalt innebærer også at man kan dyrke i eller nær byer eller andre tettbefolkede områder. I teorien vil man dermed ha mulighet til å kunne redusere transportbehovet, og dermed utslipp av CO<sub>2</sub> knyttet til transport. Dette forutsetter imidlertid at man har en god logistikk på distribusjonen som utnytter de mulighetene som finnes når produksjonen skjer nær forbrukeren. Dersom dyrkingen er lokalisert nær forbrukeren kan forbrukeren også få tilgang ferskere og mer næringsrike produkter, med økt holdbarhet, som igjen kan bidra til å redusere matsvinn.

## 3.2 Begrensninger og utfordringer knyttet til vertikal innendørs dyrking

De to viktigste kildene vi har brukt i dette kapitlet er boken Plant Factory (2019) [3], og en vitenskapelige artikkel av Stanghellini og Kazin (2024) [14], som gjør en kritisk analyse av vertikal dyrking, inkludert de miljømessige konsekvensen av denne typen dyrking.

### 3.2.1 Begrensninger i hvilke sorter som kan dyrkes

Planter som egner seg for kommersiell produksjon med innendørs vertikal dyrking er de som er 30 cm eller lavere i høyden, slik som ulike bladgrønnsaker, frøplanter og medisinske planter. Dette følger av at avstanden mellom de vertikale nivåene vanligvis er rundt 40 cm, for å maksimere plassutnyttelsen. Planter som egner seg for kommersiell produksjon bør også vokse godt ved relativt lave lysnivå og trives ved høy plantetetthet. Kort produksjonstid er også bra da det gir høyere gjennomstrømning og dermed større årlig produksjon. I dag består den kommersielle produksjonen hovedsakelig av salat, krydderurter og bær [15]. Et eksempel på bærproduksjon er selskapet Oishii, som i 2024 åpnet en ny høyteknologisk plantefabrikk på 22 000 m<sup>2</sup> for produksjon av jordbær i USA [16].

Basismatvekster som hovedsakelig konsumeres for kalorier, som hvete, ris og poteter, er normalt ikke egnet for kommersiell produksjon i vertikalanlegg, fordi de krever mer tid å vokse enn bladgrønnsaker, og den økonomiske verdien per kilogram tørrmasse generelt er mye lavere [3]. Planter i et tidlig stadium kan dra nytte av de kontrollerte forholdene i et vertikalanlegg. I områder i India hvor de har utfordringer med vanntilførsel jobbes det for eksempel med teknikker for hydroponisk dyrking av risplanter i tidlig stadium [17].

Vi kommer ikke utenom at planter med høy utsalgspris, der hele planten kan spises, vil foretrekkes fordi det da vil være en høyere andel av energi, gjødsel og vann som går til å produsere spiselig mat. Stanghellini og Kazin (2024) diskuterer forskjellen på hvor mye man kan produsere av bladgrønnsaker kontra korn med samme mengde tilført lys. De konkluderer med at lyset som kreves for å produsere 24 g salat bare vil være tilstrekkelig til å produsere 0,6 g hvete Korn. Dette følger av at andelen høstbar biomasse av den totale plantebiomassen er mye mindre for hvete enn for salat. I tillegg til dette tar de hensyn til markedsprisen per kilo, som de anslår er omtrent 30 ganger høyere for salat enn for hvete. Inntekten man får ved samme tilførte lysmengde blir dermed omtrent 1000 ganger høyere for salat enn for hvete. Det konkluderes dermed med at kommersiell produksjon i vertikalanlegg hovedsakelig vil være begrenset til bladgrønnsaker [14].

### 3.2.2 Økonomisk bærekraftig produksjon

Erfaringer fra andre land har så langt vist store variasjoner i økonomisk bærekraft for vertikalanlegg. Mange av vertikalprodusentene har måttet avvikle virksomheten, og det samme gjelder for flere av utstyrsleverandørene til denne bransjen. Kostnader for vertikalanlegg diskuteres i boken Plant Factory [3]. Det refereres der til et eksempel på en plantefabrikk i Japan med god drift der kostnadene for drift av anlegget var fordelt som følger:

Nedskrivning av investeringer:	21 %	(Investeringer til bygninger og landareal er ikke tatt med)
Elektrisitetskostnader:	21 %	
Lønnskostnader:	28 %	
Logistikk:	10 %	
Andre kostnader:	20 %	

Nyere tall for kostnader beskrives i en artikkel på nettstedet Vertical Farm Daily i 2024 [18]. Selskapet Growy har nylig bygd en plantefabrikk i Amsterdam med stort fokus på å redusere kostnader relatert til investeringer, energi og arbeidskraft. De hevder å ha redusert elektrisitetsforbruket betydelig de to siste årene, slik at det nå bare er 12-13 % av de totale kostnadene. Dette tilsvarer ifølge Growy 10 kWt per kilogram salat som produseres.

Det er mange faktorer som vil påvirke kostnadsbildet, inkludert lokale elektrisitetskostnader og lønnsnivå. Vi gjør flere betraktninger rundt dette i kapittel 4.

### 3.2.3 Krever store investeringer ved oppstart

Ved oppstart av et vertikalanlegg vil det være behov for relativt store investeringer til bygninger, annen infrastruktur og utstyr, som for eksempel lysanlegg, kjøleanlegg og hyllesystemer. Tilgang på kapital kan dermed være en utfordring for de som ønsker å starte opp med vertikal dyrking.

Investeringskostnader for vertikalanlegg diskuteres i boken Plant Factory [3]. Det refereres der til et eksempel på en plantefabrikk i Japan der nedskrivning av investeringer utgjør 21 % av de totale kostnadene for drift av anlegget. Det nevnes også at nødvendige investeringer for en plantefabrikk i Japan er omtrent 15 ganger større enn for et tradisjonelt veksthus på et tilsvarende stort landareal. Samtidig hevdes det at produksjonen også kan være omtrent 15 ganger større i plantefabrikken, slik at investeringskostnadene for et gitt produksjonsvolum er omtrent like store for et veksthus og en plantefabrikk. Dette er et grovt estimat, og både kostnadsnivået ved oppstart og forskjellen i produksjonen kan variere for ulike produksjonsanlegg [3].

### 3.2.4 Stort elektrisitetsbehov

Vertikal innendørs dyrking gjøres normalt uten utnyttelse av tilgjengelig sollys. Dermed blir det et stort behov for kunstig belysning hele året. Bare 1-2 % av energien fra lysanlegget omgjøres til kjemisk energi i plantene, mens de resterende 98-99 % av energien omgjøres til varme [3]. For innendørs lokaler med god varmeisolasjon vil det kunstige lyset dermed medføre et kontinuerlig varmeoverskudd, med et tilhørende behov for kjøling og avfukting. Elektrisitet til belysning utgjorde for noen år siden omtrent 70-80 % av det totale elektrisitetsbehovet i et vertikalanlegg [3]. Med mer effektive belysningsløsninger som er tilgjengelige i dag kan dette reduseres ned mot 50-60 %. Martin et. al (2023) gjorde livssyklusanalyser for et kommersielt vertikalanlegg i Sverige. Studien konkluderte med at det høye elektrisitetsforbruket var en viktig faktor med tanke på de miljømessige konsekvensene knyttet til storskala vertikalproduksjon [19].

### 3.2.5 Behov for manuelt arbeid

Behovet for arbeidskraft i vertikalanlegg diskuteres i boken Plant Factory [3]. For mindre vertikalanlegg har det vært vanlig at en stor del av operasjonene gjøres manuelt, og dette har medført et relativt stort behov for manuell arbeidskraft. I følge [3] utgjorde lønnskostnadene i 2019 typisk 25-30 % av de totale produksjonskostnadene i denne typen anlegg. Til sammenligning er produksjonen i storskala veksthusanlegg som regel mer automatisert, slik at behovet for manuell arbeidskraft er vesentlig mindre. Flere av dagens løsninger for automatisering av driften i veksthus kan ifølge [3] av plasshensyn ikke benyttes i vertikalanlegg. Men det jobbes med løsninger for automatisering av produksjonen i vertikalanlegg, inkludert bruk av avanserte robotteknologier, sensorteknologi, bildebehandling, 3D-modellering og stordataanalyse [3].

Den største utfordringen for automasjon ligger i interaksjonen med produktene og de mange oppgavene som krever fingernemhet. For å kunne redusere behovet for manuelt arbeid vil det være viktig å finne automasjon som er flyttbar og adaptiv, som kan brukes til flere oppgaver – ellers vil investeringen igjen kunne bli så store at de ikke vil være lønnsomme i et mindre vertikalanlegg.

### 3.2.6 Landareal knyttet til elektrisitetsproduksjon

Som nevnt i avsnitt 3.1.1 er landarealet som kreves for å oppnå en gitt produksjon oppgitt å kunne være bare 1% av arealet som kreves ved frilandsproduksjon. Effektiv utnyttelse av tilgjengelig landareal er altså en fordel som er framhevet med vertikalproduksjon. Men dersom man også tar hensyn til landarealet som er nødvendig for å produsere elektrisiteten som trengs for å drifte vertikalanlegget blir bildet et annet.

Kobayashi et. al [20] har gjort en studie som ser på arealbehovet som er nødvendig for å produsere elektrisiteten som trengs for å drifte et vertikalanlegg. Som nevnt ovenfor kan den energikrevende driften av et vertikalanlegg, og de tilhørende miljøpåvirkningene være en bekymring. Studien tok dermed utgangspunkt i at det er ønskelig å drive et vertikalanlegg basert på fornybar energi i form av solenergi eller energi fra vindkraft. Arealbehovet for vind- og solenergi ble vurdert for vertikalproduksjon av salat, tomat, potet og hvete, i vertikalanlegg lokalisert i henholdsvis Spania og Sverige. Konklusjonen var at samlede arealbesparelser bare kan oppnås for vertikalanlegg som produserer salat, og som baserer seg på bruk av kraft fra solenergi. For produksjon av tomat og hvete er arealbehovet knyttet til nødvendig elektrisitetsproduksjon så stort at man samlet sett må legge beslag på mer landareal for produksjon i vertikalanlegg enn det som trengs for tradisjonell frilandsproduksjon [20].

### 3.2.7 Plantervern og plantesykdommer

Som nevnt i avsnitt 3.1.4 har dyrking uten bruk av plantervernmidler vært brukt som et argument for innendørs vertikal dyrking. Når man dyrker i et lukket miljø kan man se for seg at det ikke behov for bruk av plantervernmidler for å beskytte plantene. Det er imidlertid flere studier som viser at man likevel ikke er

helt beskyttet mot sykdommer og skadedyr, selv om man dyrker i et lukket miljø. Roberts et. al [21] diskuterer utfordringer knyttet til plantesykdommer ved vertikalproduksjon. Nettsiden «Agri Farming» lister opp en rekke mulige skadedyr og sykdommer forbundet med lukket produksjon [22].

### 3.2.8 Forbruk av gjødsel og reduksjon av utslipp

Når det gjelder kjemiske utslipp kan vertikal dyrking være ekstremt effektivt med tanke på bruk av gjødsel. Ved å benytte et lukket system for vanning og gjødsling kan man også forhindre utslipp av gjødsel til det ytre miljøet. Stanghellini og Katzin (2024) påpeker imidlertid at de samme teknikkene med resirkulering av vann og næringsstoffer i lukkede systemer også kan benyttes i tradisjonelle veksthus [14].

## 3.3 Oppsummering av fordeler og ulemper med vertikal innendørs dyrking

Ved evaluering av vertikal dyrking sammenligner man ofte med utendørs dyrking på friland. I en slik sammenligning er det enkelt å se en rekke klare fordeler med vertikal dyrking, som høy produksjon per landareal, forutsigbar produksjon av høy kvalitet, og ikke minst, stabil produksjon gjennom hele året. Lavt forbruk og lave utslipp av gjødsel og plantevernmidler er også en åpenbar fordel med vertikal dyrking. På den negative siden kommer i første rekke de store investeringene som trengs for å bygge et anlegg for vertikalproduksjon, samt det store elektrisitetsbehovet som er nødvendig for å produsere med kunstig lys. I følge Stanghellini og Kazin (2024) er høyteknologiske lukkede veksthus en mer riktig målestokk for å evaluere vertikalanlegg. I disse evalueringene er hovedspørsmålet om fordelene ved å ekskludere sollys for å oppnå full kontroll over dyrkingsmiljøet kan oppveie de miljømessige ulempene og de økonomiske kostnadene relatert til det medfølgende behovet for omfattende bruk av elektrisk belysning [14]. Tabell 2 oppsummerer de viktigste fordelene og ulempene med dyrking i vertikalanlegg, kontra dyrking på friland og i ulike typer veksthus.

**Tabell 2.** Fordeler og ulemper med dyrking på friland, i ulike typer veksthus og i innendørs vertikalanlegg. Illustrasjonen gjengitt fra [14] under CC-lisens, CC BY 4.0.

	Open field	Low-tech greenhouse	High-tech greenhouse with closed-loop irrigation	High-tech closed greenhouse, closed-loop irrigation and recapture of transpired water	Vertical farm
Yield per land area	■	■■	■■■	■■■■	■■■■■
Certainty of production	■	■■	■■■	■■■	■■■■
Robustness to weather and climate	■	■■	■■■	■■■■	■■■■■
Water use	●●●●	●●●	●●	●	●
Nutrient use	●●●	●●	●	●	●
Pesticide use	●●●●	●●●	●●	●	●
Energy use	●	●●	●●●	●●●●	●●●●●
Capital investment per crop area	●	●●	●●●	●●●●	●●●●●

## 4 Erfaringer og muligheter i Norge

I dette kapitlet samler vi og diskuterer noen av de viktigste erfaringene med innendørs vertikal dyrking i Norge, og ser nærmere på noen fortrinn og muligheter vi har for slik dyrking i Norge. Vi har gjort en inndeling på ulike tema som vi mener er av spesiell betydning for vertikalproduksjon i Norge. Valg av tema, og konklusjoner innenfor hvert tema er basert på flere ulike kilder:

- Vi har gått gjennom litteratur som beskriver erfaringer med vertikal innendørs dyrking i Norge, inkludert ulike typer av artikler, nyhetsoppslag, faglige presentasjoner og veiledninger.
- Vi har gjennomført en spørreundersøkelse med næringen, og dette har gitt oss verdifulle tilbakemeldinger knyttet til erfaringer og muligheter i Norge. Spørreundersøkelsen, og resultater fra spørreundersøkelsen, beskrives nærmere i Vedlegg A.
- Det er videre gjennomført samtaler med flere norske næringsaktører, også dette som en del av arbeidet i prosjektet. Disse samtaler har gitt viktige bidrag til valg av tema med relevans for norske aktører.
- Som en del av prosjektet ble det gjennomført et nettseminar på vertikal grøntproduksjon. Dette seminaret gav oss flere nyttige innspill på hvilke muligheter vi har for slik dyrking i Norge.
- Som en del av arbeidet i prosjektet er det også gjennomført samtaler med fageksperter i SINTEF innenfor relevante områder.

Forfatterne av denne rapporten har sammenfattet viktige konklusjoner fra de ulike kildene, og i tillegg supplert dette med egne analyser og vurderinger.

### 4.1 Betrachninger rundt arealbehov for dyrking av salat

Av årsaker som er nevnt ovenfor er grønn salat en av de mest aktuelle sortene å dyrke vertikalt. For å sette arealbehovet i perspektiv vil vi her gjøre noen overslag og betrachninger rundt det samlede arealbehovet for innendørs dyrking av salat i Norge, og hva dette kan innebære.

Ifølge Opplysningskontoret for frukt og grønt omsettes det årlig omtrent 4 kg salat per person i Norge [23]. I tillegg til dette kommer salat i salatblandinger og salat som dyrkes til eget bruk. Vi anslår dermed at det trengs omtrent 5 kg salat per person for å dekke det årlige behovet for salat i Norge. I følge [14] kan man, under ideelle betingelser, og med utgangspunkt i frøplanter, dyrke 91 kg salat per kvadratmeter dyrkingsareal<sup>1</sup>. I praksis vil nok produksjonen være noe lavere, og vi antar derfor at man i et typisk vertikalanlegg kan produsere omtrent 50 kg salat årlig per kvadratmeter dyrkingsareal. Dermed vil en kvadratmeter dyrkingsareal være nok til å dekke salatbehovet til omtrent 10 personer.

Med et folketall i Norge på 5,6 millioner trengs det dermed et dyrkingsareal på omtrent 560 000 m<sup>2</sup> for å dekke hele Norges behov for salat. Dersom man dyrker i 10 nivåer i høyden (omtrent 4,5 meter høyt), og tar hensyn til behovet for areal som ikke benyttes til planter, tilsvarer dette et grunnflateareal på omtrent 70-90 000 m<sup>2</sup>. Dersom en plantefabrikk har en grunnflate på 1000 m<sup>2</sup> vil det altså være behov for omtrent 70-90 anlegg av denne størrelsen for å dekke hele Norges behov for salat.

---

<sup>1</sup> Forutsatt et lysnivå på 200 µmol/m<sup>2</sup>/s.

Alternativt kan man se for seg at all salaten produseres i private husholdninger. Vi antar her at man produserer i bare ett nivå i høyden, altså streng tatt ikke vertikalproduksjon. Vi antar også at man kan produsere halvparten så mye som i et kommersielt vertikalanlegg, altså 25 kg i året per kvadratmeter. Vi har omtrent 2,6 millioner private husholdninger i Norge. For å kunne produsere nok salat til å dekke hele behovet for salat i Norge ville det med de gitte antagelsene være tilstrekkelig at hver privathusholdning setter av omtrent 0,4 kvadratmeter til salatdyrking.

## 4.2 Mulig lokaler for innendørs dyrking i Norge

Et av spørsmålene i spørreundersøkelsen var hvilke typer lokaler som egner seg for vertikal grøntproduksjon i Norge. Nedenfor gjør vi noen betraktninger rundt dette.

### 4.2.1 Rimelige lokaler, inkludert lokaler som i dag står ubrukt

Som vi har sett er store oppstartskostnader og kapitalbehov en av de økonomiske utfordringene for nye vertikalanlegg. For å redusere investeringene kan det være hensiktsmessig å bruke rimelige lokaler, inkludert lokaler som i dag står ubrukt, og som kanskje ikke har så mange konkurrerende anvendelsesområder. Flere av de som deltok på spørreundersøkelsen nevnte at det finnes en del ubrukte lokaler i Norge, inkludert ubrukte industrilokaler, lagerbygninger og underjordiske fjellhaller. Disse lokalene har ofte høye tak og store åpne arealer som egner seg for å installere hyllesystemer for planteproduksjon.

Ubrukte landbruksbygg kan også være interessante lokaler for innendørs dyrking. Mange driftsbygninger på norske gårder står i dag ubrukte, som følge av omlegginger i husdyrproduksjonen. Slike lokaler kan være godt egnet til vertikal grøntproduksjon. Vertikalproduksjon i landbruksbygg kan være en ny næringsmulighet for norske bønder. En fordel for bønder er at de allerede har god kunnskap om matproduksjon, som kan være nyttig å ha med seg når man skal starte opp med innendørs dyrking.

### 4.2.2 Lokaler som benyttes av mennesker

Lokaler som benyttes av mennesker kan være godt egnet for dyrking av planter, fordi vi mennesker deler mange av de samme behovene som mange spiselige vekster. Typiske romtemperaturer i lokaler for oss mennesker sammenfaller godt med temperaturer som er egnet for dyrking. Vekstlys som rettes mot plantene kan også bidra til både lys og varme som kan være nyttig for belysning og oppvarming av lokalene. Mens vi mennesker bruker oksygen og produserer CO<sub>2</sub> er det stikk motsatt for plantene. Det relativt høye nivået av CO<sub>2</sub> som man kan få i lokaler med mange mennesker kan altså være gunstig for plantene som dyrkes der. Eksempler på denne typen lokaler der man kan dyrke planter inkluderer:

- Dagligvarebutikker og restauranter
- Skoler og forsamlingshus
- Boliger og leilighetsbygg
- Kontorbygg og andre næringslokaler

I Sverige finnes det en rekke eksempler på dagligvarebutikker som har installert vertikalanlegg. Vertikalanlegg i butikker og restauranter gjør det mulig med ekstremt kortreist mat. Dyrking i skoler og forsamlingshus kan, i tillegg til selve matproduksjonen, også bidra til å spre kunnskap om innendørs dyrking. Dyrking i private boliger har blitt en populær hobby for mange, en hobby som samtidig kan bidra til selvforsyning i husholdningen for flere typer av grøntprodukter. I større leilighetsbygg kan innendørs dyrking også være en sosial aktivitet som bidrar til fellesskap blant de beboere som ønsker dette. I kontorbygg og andre næringslokaler kan innendørs dyrking bidra til bedre velvære og bedre luftkvalitet.

En stor ulempe med dyrking i lokaler som i utgangspunktet er laget for mennesker er den store arealkostnaden for slike lokaler. Kvadratmeterprisen for kjøp eller leie av slike lokaler er som regel svært høy i forhold til de aller fleste andre lokaler. Vi ser derfor for oss at dyrking i slike lokaler bare kan gjøres i et relativt begrenset omfang. Men dersom mange nok setter av en kvadratmeter eller to til innendørs dyrking, kan dyrking i slike lokaler likevel utgjøre et bidrag til økt selvforsyning av enkelte matvarer.

#### 4.2.3 Lokaler med fordelaktig plassering

Vertikalanlegg kan dra nytte av en plassering som er fordelaktig på ulike områder. Et eksempel som ble nevnt i svar på spørreundersøkelsen er at det kan være fordelaktig å legge vertikalanlegg i bygninger som ligger nær teknologisentre, landbruksuniversitet eller andre kompetansemiljøer. Nærhet til slike miljøer gir fordelen av å kunne samarbeide med fagfolk og utnytte ny teknologi raskt. Disse områdene har også ofte gode infrastrukturforbindelser. Et annet eksempel på fordelaktig plassering er lokaler som har tilgang til rimelig fornybar energi eller andre innsatsfaktorer som er nyttige i produksjonen, som for eksempel CO<sub>2</sub> eller infrastruktur for effektiv kjøling og eventuelt utnyttelse av varmeoverskudd fra vertikalanlegget. En fleksibel løsning som har vært forsøkt er å dyrke i fraktcontainere. Vertikalproduksjon i containere har den fordelen at disse enkelt kan flyttes til andre lokasjoner ved endrede forutsetninger og behov.

#### 4.2.4 Lokaler i tilknytning til tradisjonell veksthusproduksjon

Lokaler i tilknytning til tradisjonell veksthusproduksjon er en svært interessant mulighet. Her har man en fordelaktig plassering ved at overskuddsvarme fra vertikalanlegget kan brukes i det tradisjonelle veksthuset for oppvarming som er nødvendig i store deler av året. Samtidig har man god fleksibilitet i produksjonen ved at plantene kan flyttes fra vertikalanlegget til det tradisjonelle veksthuset etter hvert som de vokser seg større. Dette konseptet med vertikal dyrking kombinert med tradisjonell veksthusproduksjon har fått betegnelsen «hybrid vekst». I Norge har vi et godt eksempel på slik produksjon hos Viken Gartneri på Frosta. SINTEF har også et forskningsprosjekt (HybriGrowth) som undersøker og videreutvikler dette konseptet [24].

#### 4.2.5 Lokaler i nordlige deler av Norge

I Norge vil helårsproduksjon i veksthus forutsette at man bruker kunstig belysning i vintersesongen. I tradisjonelle veksthus vil det i tillegg være behov for oppvarming i deler av året. I nordlige områder av Norge vil behovet for kunstig belysning og oppvarming om vinteren øke, og gjøre det vanskeligere med økonomisk bærekraftig helårsproduksjon i tradisjonelle veksthus. For innendørs vertikal dyrking har man ikke de samme klimatiske utfordringene. Et kaldt klima kan her tvert imot være fordelaktig med tanke på kjøling av vertikalanlegget, og et slikt anlegg baseres uansett på bruk av kunstig belysning gjennom hele året. I nordlige deler av Norge har man også gjerne god tilgang på fornybar og relativt rimelig elektrisitet. Samtidig vil transportkostnader for alternative importerte varer være større jo lenger nord man kommer. Vertikal dyrking kan dermed være en spesielt interessant mulighet i nordlige deler av Norge, og slik produksjon vil dermed også kunne bidra til målet om matproduksjon i hele landet.

#### 4.2.6 Nybygg designet for vertikal dyrking

Et nybygg som er tiltenkt vertikal dyrking kan konstrueres slik at det er spesielt godt egnet for dette formålet. Takhøyden i bygget kan tilpasses slik at den egner seg for det hyllesystemet som man tenker å benytte. Som nevnt tidligere vil de fleste vertikalanlegg i varmeisolerte lokaler ha et varmeoverskudd hele året. Dersom man bygger nytt kan man velge å isolere bygget slik at kostnader til oppvarming og kjøling minimaliseres. Tak og vegger kan dekkes av solcellepaneler som bidrar til å forsyne vertikalanlegget med elektrisitet. I tillegg kan man velge å plassere bygget akkurat der man ønsker, med de fordeler dette kan medføre med tanke på for eksempel rimelige tomtepriser eller tilgang på rimelig elektrisitet. I et nybygg kan man også lettere sørge for å tilfredsstille de krav man måtte ha til høy hygienegrad.

### 4.3 Tilgang på grønn og rimelig elektrisitet

Et stort elektrisitetsbehov er en av de store utfordringene med vertikal innendørs dyrking, både i forhold til tilgjengelighet, kostnadmessig og med tanke på karbonfotavtrykket.

Om vi ser litt tilbake i tid, har Norge hatt relativt lave elektrisitetskostnader. En undersøkelse utført i 2022 på oppdrag av Energi Norge konkluderte med at Norge har spesielt gode forutsetninger for etablering av kraftintensiv industri [25]. Årsaken til dette var oppgitt å være mye fornybar energi, lave kraftkostnader og forutsigbarhet i form av god tilgang på langsiktige fastpriskontrakter for strøm. Men dette er en situasjon som er under endring, og det er usikkert om de gode forutsetningene vi har hatt i Norge vil vedvare.

Angående CO<sub>2</sub>-utslipp relatert til innendørs dyrking er disse sterkt relatert til tilgangen på grønn elektrisitet. Stanghellini og Katzin gjør en sammenligning av CO<sub>2</sub>-utslipp for salat produsert i lokale vertikalanlegg i Nederland med salat produsert i polytuneller i Italia og transportert til Nederland. Konklusjonen er at den italienske salaten har lavest karbonfotavtrykk. Men interessant nok nevnes her Sverige og Norge som mulige unntak, som de to eneste landene med stor nok andel av grønn energi i energimiksen til å oppnå et balansert regnestykke angående CO<sub>2</sub>-utslipp. Dette er takket være store andeler elektrisitet fra vannkraft i Norge og Sverige, samt også kjernekraft i Sverige.

I et mer åpent europeisk energimarked kan man diskutere hvordan elektrisitetsbruk i Norge påvirker elektrisitetsbruk og tilhørende CO<sub>2</sub>-utslipp i andre europeiske land. Samtidig skal flere sektorer i Norge også elektrifiseres, så det er økende etterspørsel etter grønn elektrisitet. Men i den grad vi kan si at vi har tilgang på grønn elektrisitet i Norge vil dette være et argument for at vertikalproduksjon kan gjøres spesielt bærekraftig nettopp i Norge.

### 4.4 Lønnskostnader, arbeidskraft og automasjon

Som vi har sett i avsnitt 3.2.2 utgjør lønnskostnader en stor andel av kostnadene i vertikalproduksjon. I eksemplet gjengitt fra Japan var lønnskostnadene oppgitt til 28 % av de totale kostnadene. I Norge har vi relativt dyr arbeidskraft sammenlignet med de fleste andre land, og dermed vil det også være spesielt viktig å redusere behovet for manuelt arbeid i et vertikalanlegg i Norge. Ny teknologi som gjør det mulig med større grad av effektivisering og automatisering vil være spesielt aktuelt i Norge. Dette krever innovasjoner inne sensorteologi, robotikk og prosessteknologi.

Når teknologi integreres mer og mer i hverdagen for grøntproduksjon vil det være viktig å ha tilgang på arbeidskraft med relevant kompetanse. Svar i spørreundersøkelsen nevner at tilgang til godt kvalifisert arbeidskraft kan være en utfordring i dag. En av respondentene i spørreundersøkelsen foreslo å oppgradere gartnerutdanningen med større fokus på fag innen grønn teknologi, robotikk og databehandling. Hvordan styringsteknologien fungerer og hvordan den kan brukes vil bli viktig for de som skal jobbe med vertikal dyrking, og hvilken kompetanse som vil være nødvendig.

I avsnitt 4.2.2 diskuterer vi innendørs dyrking i boliger, leilighetsbygg, skoler og forsamlingshus. Her kan ulempene vi har i Norge med høye lønnskostnader reduseres ved at de som dyrker gjør dette på hobbybasis.

### 4.5 Logistikk, marked og markedstilgang

En av ulempene som er nevnt med tanke på vertikalproduksjon i Norge er at markedet er relativt lite, og spredt over store geografiske avstander. En stor plantefabrikk som skal forsyne en hel landsdel vil dermed ikke dra full nytte av mulighetene for «kortreist mat». Muligheter for kortreist mat er lettere å oppfylle for mindre vertikalanlegg som dekker et mindre geografisk område. Et eksempel vi har nevnt er dyrking i

landbruksbygg på norske gårder. For å dra full nytte av nærhet til forbruker må man da både ha god tilgang til et lokalt marked og samtidig gode og effektive løsninger for distribusjon.

## 4.6 Matsikkerhet og regulatoriske forhold

Norske myndigheter og forbrukere er opptatt av matsikkerhet, kvalitet og bærekraft. Vertikal grøntproduksjon kan oppfylle disse kravene ved å produsere mat i kontrollerte og hygieniske miljøer, uten bruk av skadelige plantevernmidler. I Norge har vi strenge regler for hva som kan brukes som næringsstoffer i matproduksjonen. Her kan det trolig ligge nye muligheter, for eksempel knyttet til dyrking i kompostert jord, eller bruk av næringsstoffer fra akvakultur. Manglende kjennskap til regelverk knyttet til vertikal dyrking, inkludert hygienekrav, krav til merking, og bruk av plantevernmidler i kontrollerte miljøer kan være en barriere.

Som nevnt i avsnitt 3.2.1 er det i dag store begrensninger i hvilke sorter det er økonomisk lønnsomt å dyrke i vertikalanlegg. Dersom vertikal innendørs dyrking er begrenset til salat, kan man diskutere i hvor stor grad dette kan bidra til matsikkerhet i Norge. Men helårs tilgang til lokalproduserte matvarer vil uansett gjøre oss mindre sårbare mot eventuell midlertidig produksjonssvikt i de områdene vi ellers ville importert fra. Etter hvert som vertikal innendørs dyrking blir en mer etablert dyrkingsmetode kan man også se for seg at flere andre plantesorter kan dyrkes på denne måten.

## 4.7 Områder med behov for mer kompetanse og kunnskap

Spørsmål 11 i spørreundersøkelsen ble laget for å kartlegge hvilke områder der det mangler kompetanse som er nødvendig for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge. Vi gjengir her i stikkordsform noen områder som pekte seg ut i svarene i spørreundersøkelsen. For noen flere underpunkter henviser vi til Vedlegg A.

- Økonomi og sirkulære kretsløp
- Digitalisering av logistikk
- Plantevitenskap og agronomi tilpasset vertikal dyrking
- Energioptimalisering og klimakontroll
- Automasjon og effektivisering
- Mattilsynets krav og sertifisering

## 5 Tema for ny forskning

I dette kapitlet vil vi diskutere noen områder der vi tenker at ny forskning kan bidra til å kunne realisere bærekraftig vertikal grøntproduksjon i Norge. Temaer for nye forskningsprosjekter tar her utgangspunkt i resultater beskrevet tidligere i denne rapporten. Dette inkluderer hva som mangler av kunnskap og kompetanse, samt hva som mangler av teknologiske løsninger for å gjøre vertikal innendørs dyrking mer bærekraftig i Norge.

### 5.1 Bærekraftsanalyser

Spørsmålet om vertikalproduksjon er bærekraftig i Norge trenger et nyansert svar. Svaret vil nok være avhengig av en rekke faktorer, inkludert effekten av nye teknologisk innovasjoner innenfor dette området, inkludert de områdene som er nevnt ovenfor. I avsnitt 3.2.6 henviser vi til en studie som har sett på arealbehovet som er nødvendig for å produsere elektrisiteten som trengs for å drifte et vertikalanlegg ved bruk av fornybar energi fra solceller [20].

I en ny bærekraftsanalyse kunne man overført disse betraktningene til norske forhold. Man kunne da også ta hensyn til landarealet som kreves for å produsere selve solcellene, samt infrastruktur og utstyr relatert til både solcelleanlegg og til selve vertikalanlegget. I tillegg til solkraft kunne man også evaluert andre former for elektrisitetsproduksjon som vi har i Norge, som for eksempel vannkraft og vindkraft. Dette er også energiformer som krever arealer. Og hvordan vil konkurransen om å få benytte den grønne energien være?

### 5.2 Mer kunnskap om planter og dyrking

I spørsmål 10 i spørreundersøkelsen spurte vi om hvilke behov som er de mest viktige å møte for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge. Et svaralternativ som mange var enige i var behovet for bedre kunnskap om planter og dyrking relatert til vertikal grøntproduksjon.

Også svarene på spørsmål 11 indikerer at det er behov for mer kunnskap innen plantevitenskap og agronomi tilpasset vertikal dyrking. Det nevnes blant annet at kompetanse innen utvikling og bruk av ikke-tradisjonelle plantevekstmedier er viktig. Slike plantevekstmedier er essensielle for å kunne dyrke planter effektivt i vertikalt oppsett. Et område som kan undersøkes nærmere er hvordan ulike dyrkingsmetoder og miljøfaktorer påvirker næringsinnholdet. Et annet område man også kunne sett på er hva som er best mulige klimaforhold i et lukket system, inkludert effekten av mikroklima på produksjonsvolum og kvalitet.

En av de store utfordringene med vertikalproduksjon er begrensninger i hvilke sorter som kan dyrkes, både med tanke på økonomisk og miljømessig bærekraft. En bedre forståelse for hvilke produkter som kan produserer kan være et mål for ny forskning. Planteforedling rettet mot å utvikle egenskaper som er bedre tilpasset for innendørs dyrking kan utvide spekteret av sorter som kan dyrkes bærekraftig. Tradisjonelle veksthusarter kan optimaliseres for innendørs dyrking ved å utvikle varianter som er mer kompakte, har raskere vekstsykluser og høyere avkastning. For eksempel kan dvergvarianter av tomater og paprika, som er bedre tilpasset de kontrollerte miljøene i innendørs landbruk, bidra til økt produktivitet og kvalitet [26]. Nye arter kan utvide produksjons- og markedsbredden. Eksempelvis kan proteinrike planter, samt medisinske urter og spesialiserte grønnsaker, dyrkes i vertikale systemer for å møte etterspørselen etter næringsrike og funksjonelle matvarer [27].

### 5.3 Egnede lokaler for innendørs dyrking

Identifisering av egnede lokaler er sentralt for utviklingen av bærekraftige og økonomisk lønnsomme vertikale dyrkingsanlegg. Vi tenker det kan være behov for forskning som undersøker hvordan tilgjengelige ubrukte lokaler kan tilpasses vertikal dyrking. Dette kan inkludere ubrukte fjellhaller, industrilokaler, lagerbygg og landbruksbygg. Sentrale faktorer som kan vurderes inkluderer bygningenes fysiske egenskaper og isolasjonsgrad. En robust gulvkonstruksjon er nødvendig, ettersom vertikale dyrkingssystemer medfører betydelig ekstra vekt fra planter, vann og tekniske installasjoner. Lokalenes hygieniske standard og vedlikeholdsvennlighet må også ivaretas, med overflater som lett kan rengjøres. I tillegg kreves stabil tilgang på elektrisitet, god logistikk for transport, og gjerne også muligheter for å utnytte overskuddsvarme til oppvarming av nærliggende lokaler. Forskingen som kan gjøres her er vil kunne bidra til å finne fram til hvilke egenskaper lokalene bør ha, og utvikle metoder for å vurdere ulike lokalers egnethet.

### 5.4 Nye teknologiske løsninger

Svarene på spørsmål 10 «*Hvilke behov er de mest viktige å møte for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?*» i spørreundersøkelsen viser at bransjen ser et stort behov for utvikling av nye teknologiske løsninger som ikke finnes i dag, i tillegg til bedre kunnskap om de teknologiske løsningene som allerede er tilgjengelige. Svarene i spørsmål 12 sier noe om hvilke områder der bransjen ser et behov for å utvikle nye teknologiske løsninger. Slik vi tolker besvarelsene er det behov for ny teknologi på mange områder, og det er ingen områder som skiller seg klart ut med tanke på teknologibehov.

Nedenfor gir vi en kort beskrivelse av mulige forskningsutfordringer innenfor fem av kategoriene med behov for ny teknologi i henhold til svarene i spørreundersøkelsen.

#### 5.4.1 Oppvarming og kjøling

Som vi har beskrevet tidligere vil vertikalproduksjon i varmeisolerte lokaler som hovedregel medføre et konstant behov for kjøling, uavhengig av årstid. Energieffektive løsninger for kjøling og avfukting av vertikalanlegg er et område man kunne se nærmere på. I tillegg ville det være hensiktsmessig å utnytte overskuddsvarmen fra vertikalanlegget til andre formål, og gode løsninger for å oppnå dette vil være av stor verdi med tanke på en mer bærekraftig vertikalproduksjon.

Konseptet «hybrid vekst», med vertikal dyrking kombinert med tradisjonell veksthusproduksjon, er beskrevet i en SINTEF-blogg av Sigurd Sannan [28]. En av begrensningene her er at det tradisjonelle veksthuset ikke har konstant behov for tilført varme fra vertikalanlegget. Varmebehovet er naturlig nok størst i vintersesongen, men kan også være til stede ellers i året, spesielt om natten når det ikke er solinnstråling og utetemperaturen er lavere. Dermed kan lagring av varme fra vertikalanlegget være en aktuell mulighet å se nærmere på, enten på daglig basis eller som sesonglagring.

Videre kan det være interessant å utforske utviklingen av integrerte systemer som kombinerer kjøling, oppvarming og energiutnyttelse i vertikal produksjon for å øke både energieffektiviteten og bærekraften. I tillegg vil det være relevant å se på optimale løsninger for CO<sub>2</sub>-beriking i vertikalanlegg, ettersom økte CO<sub>2</sub>-nivåer kan forbedre planteveksten og produksjonseffektiviteten, spesielt under kontrollerte forhold. Det vil også være aktuelt å undersøke alternative kilder for å tilføre CO<sub>2</sub> i vertikalanlegg, for eksempel ved bruk av biogent CO<sub>2</sub> eller utslipp fra industrielle prosesser.

### 5.4.2 Mikroklima

Mikroklimaet har stor betydning for produksjonen i et vertikalanlegg, og optimalisering av mikroklima kan bidra til økt produksjon. Her kunne man for eksempel undersøke hvordan gradienter i temperatur og fuktighet utvikles i et vertikalanlegg, og hvordan dette påvirker plantefysiologien. Det er ønskelig med små gradienter over vekstområdet, og dette bør oppnås på en energieffektiv måte. Nye systemer som gjør det mulig med kontrollert fordeling av luften er av interesse, og slike systemer kan utvikles basert på modelleringsarbeid, inkludert bruk av numerisk fluiddynamikk (CFD).

### 5.4.3 Robotikk og automatisering

Som beskrevet i avsnitt 3.2.2 utgjør lønnskostnader en stor andel av kostnadene ved vertikalproduksjon i et eksempel fra Japan. For høykostland som Norge der arbeidskraften utgjør en relativt høy andel av produksjonskostnadene, vil reduksjon av behovet for manuelt arbeid være spesielt viktig. Her beskrives noen muligheter innen robotikk og automatisering.

Hva finnes av robotikk som fungerer industrielt og kan tas i bruk i vertikal produksjon? I boken Plant Factory [3] sies at dagens løsninger for robotikk i drivhus er for store for vertikalanlegg uten at de sier noe om hvilket utstyr dette er. Det er skrevet akademiske oversiktsartikler over eksperimentelle robotikkløsninger i veksthus, som for eksempel Sánchez-Molina et. al [8]. Forfatterne tar her ikke stilling til kvaliteten på arbeidene gjort eller om prototypene har tatt veien videre ut av forskningslaboratoriene. Vi kan ikke finne at disse løsningene er brukt i kommersielle veksthus, så det er fortatt ikke mange tilgjengelige løsninger som for eksempel interagerer med plantene. Vi mener det er behov for forskning på hvordan man kan løse automatiseringsutfordringene på robuste måter som tåler overgangen fra «proof-of-concept» til kommersielle produksjonsanlegg. Det må også vurderes i hvor stor grad nye konsepter for å utføre oppgaver må utvikles heller enn å lage robotteknologi som etteraper hvordan mennesker gjør den aktuelle oppgaven. I vertikalanlegg har man i større grad kontroll på omgivelsene som belysning, plassering av planter og arbeidere enn i frilandsproduksjon. Vi mener derfor at dette er en god arena for utvikling av robotiserte og automatiserte løsninger.

Mindre bruk av menneskelig håndtering kan oppnås gjennom autonome systemer som frakter planter mekanisk fra a til b eller ved utvikling av robotteknologi kapable til direkte interaksjon med produktene. Det er spesielt innen temaet interaksjon hvor automasjonsløsninger må videreutvikles før det er industrielt robust. Her er det to spor vi ser trenger mer forskning: (i) forståelse av omgivelsene og objektene det skal interagere med og (ii) selve mekanismene for interaksjonen, som griping og flytting.

Dersom vi ønsker at automasjon skal komme til nytte for de mange små aktørene (slik som stort sett alle produsenter i Norge er på denne skalaen) kan vi finne automasjon som har flerbruksmuligheter. I dag brukes mennesker av akkurat denne grunn. I et lokale skal man en dag beskjære eller knipe sideskudd, neste dag skal man høste, neste dag skal kanskje noe av avlingen flyttes til i et kjølelager. Gode verktøy for å kunne håndtere slik automasjon er ennå ikke etablert.

Grøntnæringen er ikke alene om behovet for håndtering av matprodukter. Manuell interaksjon med produktene er vanlig i nærsagt alle varianter av matproduksjon, det være seg produksjon av kylling, gris, laks, torsk, tomat, salat og jordbær, se Figur 2. Felles for alle har de behovet for skånsom håndtering, og varierte arbeidsprosesser.



**Figur 2.** Manuelle arbeidsoperasjoner dominerer dagens oppgaver knyttet til håndtering av matvarer. Fordi oppgavene krever en varsom berøring, rask oppgaveveksling og evne til å lære nye operasjoner, finnes det foreløpig ingen maskiner som kan konkurrere med fleksibiliteten, presisjonen og forståelsen som menneskelig arbeidskraft tilbyr.

Enkelte produksjoner er i dag sesongbetont og krever tidvis høy bemanning. For vertikal grøntproduksjon kan man ha en jevn helårsproduksjon som åpner opp for tilpassede arbeidsstasjoner som kontinuerlig gjør en oppgave de er spesialisert for, og gjør denne oppgaven raskt og effektivt. Det er for eksempel mulig å tenke seg en form for automatisering mer lignende det man gjør i stykkproduserende industri eller matindustri. Forskning for å utvikle funksjonelle gripeverktøy kan her være sentralt for å kunne automatisere noen av operasjonene, se Figur 3. Vi tenker at det kan være behov for bedre innsikt i hvordan dyrkingsforholdene i et vertikalanlegg kan tilpasses for enklere automatisering, samt å identifisere hvilke deler av produksjonen som i dag er mest arbeidsintensive. Mer kunnskap om dette vil kunne legge grunnlaget for mer effektiv produksjon med lavere arbeidskraftkostnader.



**Figur 3. Sansing av interaksjon:** Å forstå interaksjonen gjennom taktil tilbakemelding er avgjørende for å sikre en varsom berøring. Matvarer krever høy grad av følsomhet for å bevare kvalitet og holdbarhet. Figuren ovenfor viser eksempler på griper med taktil sansing. Flere slike sensorer er tilgjengelige for forskningsformål, men brukes sjelden kommersielt i matindustrien. (a) Griper utviklet av Fieldwork Robotics og University of Plymouth, (b) griper fra RightHand Robotics – testet hos SINTEF på håndtering av matvarer, (c) nyutviklet griper fra MIT med visuell sensor, (d) GelSight, utviklet av MIT, fungerer som en kombinert visuell og taktil sensor, og (e) trykkfølsomme gelputer som gjør det mulig å delvis registrere kontaktpunktet mellom sensoren og objektet.

#### 5.4.4 Sensorer, prosesskontroll og styring

Det finnes mange muligheter for ny teknologi som gir bedre muligheter for prosesskontroll og styring, og nedenfor gir vi noen eksempler på mulige forskningsområder relatert til prosesskontroll og styring.

Når man har full kontroll og styring på innsatsfaktorene vil man også ha mulighet til å optimalisere produksjonen for å gjøre dyrkingen mest mulig lønnsom. Automatisk overvåking av plantene gir gode muligheter for utvikling av nye og forbedrede resepter for bruk og balansering av innsatsfaktorer som gjødsel, vann, lys, fuktighet og temperatur. Maskinsyn og kunstig intelligens/analyse kan legge grunnlag for å måle og optimalisere veksten, prediktere modenhet basert på fargeendringer og størrelse eller detektere visuelt synlige sykdommer som for eksempel soppsporer i veksthus [29]. Et eksempel på bruk av spesielt utviklede optiske sensorer for å måle kjemien direkte er måling av sukkerinnhold ved bruk av nær-infrarød-transfleksjon-spektroskopi uten kontakt med plantene [30] [31]. Kamera for overvåking kan enten være installert stasjonært i anlegget eller være festet på skinner eller på robotiserte enheter som forflytter seg rundt i anlegget.

Som vi har diskutert tidligere kan hydroponisk dyrking gjøre det mulig med resirkulering av vann og en betydelig reduksjon i næringsavfall. Dagens styring av næringsstoff er imidlertid hovedsakelig basert på målinger av elektrisk ledningsevne, som kan brukes til å kvantifisere den totale konsentrasjonen av oppløste næringsstoffer, men som ikke skiller mellom spesifikke makro- og mikronæringsstoffer blant annet fordi det krever samplingsmetoder. At vi har sirkulerende vann i vertikal produksjon, åpner for mer automatiske samplingsmetoder for kontinuerlige målinger av spesifikke næringsstoffer. En løsning for sanntidsovervåking av individuelle næringsstoffnivåer, kombinert med tilførsel av de manglende næringsstoffene, vil kunne redusere bruken av næringsstoff, og tilhørende næringsavfall.

#### 5.4.5 Energieffektiv belysning og ulike planters respons på lys

Som diskutert i avsnitt 3.2.2 og 3.2.4 utgjør elektrisitetskostnader en stor andel av kostnadene for å drive et vertikalanlegg. Elektrisitet til belysning utgjør omtrent 70-80 % av det totale elektrisitetsbehovet i et vertikalanlegg [3]. Varme fra belysningen resulterer typisk i et kjølebehov som igjen innebærer behov for mer bruk av elektrisitet. Nye energieffektive belysningsløsninger vil dermed bidra til reduserte elektrisitetsforbruk både direkte og indirekte. Martin et. al gjorde livssyklusanalyser for et kommersielt vertikalanlegg i Sverige, og konkluderte med at det høye elektrisitetsforbruket var en viktig faktor også med tanke på de miljømessige konsekvensene knyttet til storskala vertikalproduksjon [19].

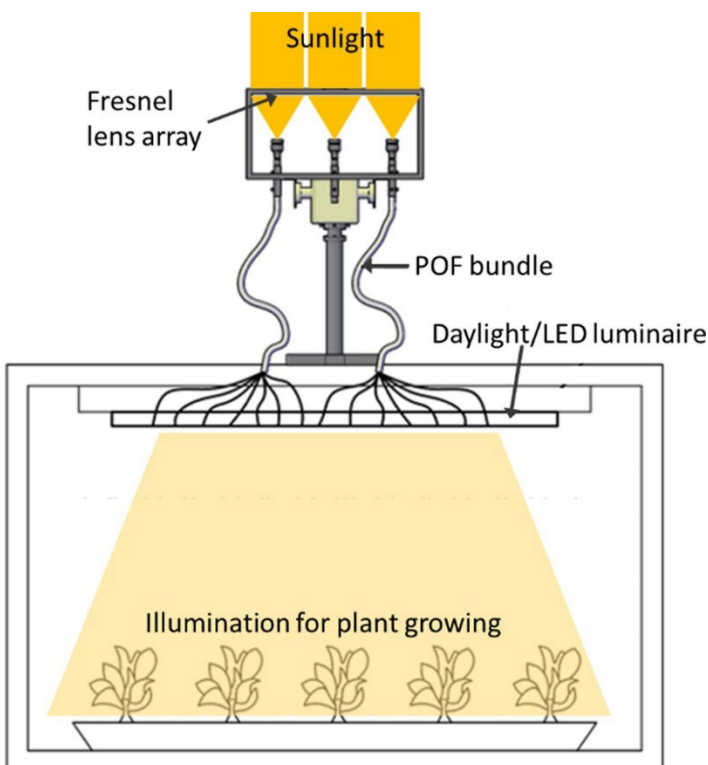
I dag belyser man som regel hele dyrkingsarealet og etterstreber et jevnt lysnivå. Høyreflekterende hvite overflater kan benyttes i dyrkingslokalet, og dette er en enkel men effektiv metode som kan bidra til høyere lysnivå på plantene.

Et jevnt lysnivå over dyrkingsarealet er en god belysningsmetode når plantene dekker hele arealet, se Figur 4, til venstre. Men i tidlige faser av vertikalproduksjon vil plantene ofte være så små at de bare dekker deler av dyrkingsarealet, som vist i Figur 4, til høyre. Dersom da hele dyrkingsarealet belyses med samme lysnivå vil en stor andel av lyset gå til spille. Det har derfor vært foreslått å utvikle smarte belysningsløsninger som detekterer posisjonen og størrelsen på plantene og tilpasser belysningen til dette [3]. Dersom slike lysløsninger ikke blir for kostbare, kunne de bidra til lavere energikostnader, mer bærekraftig produksjon og bedre totaløkonomi i innendørs vertikal dyrking.



**Figur 4.** Dyrking i tradisjonelt veksthus (til venstre) og i vertikalanlegg (til høyre). Foto: Sigurd Sannan.

Vertikal innendørs dyrking gjøres normalt uten utnyttelse av tilgjengelig sollys. Argumentasjonen er at bruk av sollys gir mindre kontroll på flere miljøfaktorer og at sollyset dermed gjør dyrkingsmiljøet ustabil og uforutsigbart [3]. Det finnes imidlertid tekniske dagslysløsninger som medfører at man har relativt god kontroll på sollyset. Et eksempel på dette er sollys som transporteres inn til plantene gjennom optiske lysledere. Tradisjonelle fiberoptiske lysledere er ikke godt egnet fordi kostnadene blir store og mengden lys som kan transporteres i en slik fiber er liten. Men det har blitt foreslått løsninger med bruk av lysledere laget i polymermaterialer som kan redusere kostnadene med slike løsninger betydelig [32], , se Figur 5. Dersom man kunne utvikle kostnadseffektive løsninger som gjør det mulig å transportere tilstrekkelige mengder sollys til plantene på denne måten vil vertikalanleggene kunne bli mer lønnsomme og ikke minst mer miljømessig bærekraftige.



**Figur 5.** Kontrollert utnyttelse av sollys ved innendørs dyrking av planter. Sollyset transporteres gjennom optiske lysledere laget av rimelige materialer. Illustrasjonen er gjengitt med tillatelse fra [32].

## 6 Oppsummering og konklusjon

Innendørs dyrking i lokaler uten tilgang på daglys er en relativt ny metode for grøntproduksjon, som de siste årene har fått stor oppmerksomhet, også her i Norge. Ved å dyrke i kontrollerte omgivelser i flere vertikale nivåer kan man oppnå bedre utnyttelse av tilgjengelig areal for dyrking, og øke produksjonen per kvadratmeter landareal betydelig. Samtidig kreves det store mengder elektrisitet, som også innebærer bruk av landarealer.

I Norge har vi et kaldt klima med liten tilgang på naturlig dagslys i vintersesongen. Det norske klimaet er dårlig egnet for utendørs grøntproduksjon, og da spesielt i vintersesongen. Dette gjør at vertikal innendørs dyrking blir mer aktuelt i Norge, spesielt dersom målet er å kunne produsere hele året. Lave og forutsigbare strømpriser, og god tilgang på fornybar energi, er også faktorer som bidrar til å gjøre Norge til et spesielt egnet sted for vertikal innendørs dyrking. Samtidig har vi et relativt høyt lønnsnivå i Norge, og med dagens teknologiske løsninger for innendørs dyrking kreves det fortsatt mye manuelt arbeid. Det høye lønnsnivået i Norge gjør at vi kan dra stor nytte av ny teknologi som kan redusere behovet for manuelt arbeid.

En av de store utfordringene med denne type dyrking har vært å oppnå en økonomisk lønnsom produksjon. De tre største kostnadspostene for drift av et typisk vertikalanlegg er:

- i. lønnskostnader
- ii. elektrisitetskostnader
- iii. nedskrivning av investeringskostnader

Vi tenker at det vil være hensiktsmessig å ha et spesielt fokus på disse tre områdene, og hvordan nye løsninger og innovasjoner kan bidra til å redusere de respektive kostnadene.

### 6.1 Reduksjon av kostnader knyttet til manuelt arbeid

Som nevnt over vil vi i Norge dra ekstra stor nytte av løsninger og innovasjoner som kan bidra til å redusere behovet for manuelt arbeid. Dette inkluderer ny teknologi innen områder som robotikk, sensorer, prosesskontroll og styring. Kunstig intelligens (KI) kan være et nyttig verktøy for å komme videre innenfor dette området. Vi tenker at det her vil være nyttig å bringe frem teknologi som kan gjøre skånsom håndtering av grøntproduktene, og dette vil samtidig være teknologi som flere andre typer av matvareproduksjon også kan dra nytte av. Videre kan man se på organisering og utvikling av fabrikk-konsepser for denne produksjonen for de oppgavene der vi har størst mulighet til å gjøre robotikk og automatisering lønnsomt, samt sensorutvikling for automatisk å kunne få den informasjonen som er viktig med tanke på å optimalisere innsatsfaktorene.

### 6.2 Reduksjon av elektrisitetskostnader

Et høyt elektrisitetsbehov er en av utfordringene med innendørs dyrking, ikke minst med tanke på klimaavtrykket. Dersom man baserer seg utelukkende på kunstig belysning vil dette utgjøre hovedandelen av det totale elektrisitetsbehovet i et vertikalanlegg. I tillegg bidrar belysningen til et varmeoverskudd slik at man også vil trenge elektrisitet til kjøling av vertikalanlegget. Nye løsninger og innovasjoner som kan redusere elektrisitetsbehovet i et vertikalanlegg vil derfor være svært nyttige. Dette kan inkludere smartere løsninger for kunstig belysning, men også innovative løsninger for utnyttelse og distribusjon av sollys i et vertikalanlegg. Løsninger som reduserer elektrisitetsbehovet vil bidra til mer lønnsom og miljømessig bærekraftig produksjon.

### 6.3 Reduksjon av kostnader til lokaler

Nedskrivinger av kostnader til lokaler og utstyr utgjør en stor kostnadspost for nye vertikalanlegg. Kostnader for utstyr som hyllesystemer og belysning vil trolig gradvis reduseres etter hvert som omfanget av vertikalproduksjon øker. Det samme kan også gjelde for kostnader relatert til utstyr for prosesskontroll og styring. Det som gjenstår da er kostnader til lokaler for innendørs dyrking.

For å redusere kostnadene til lokaler kan det være hensiktsmessig å bruke rimelige lokaler, inkludert lokaler som i dag står ubrukt, og som kanskje ikke har så mange konkurrerende anvendelsesområder. Flere kategorier av rimelige og ubrukte lokaler har blitt diskutert i denne rapporten. Dette inkluderer ubrukte industrilokaler, lagerbygninger, underjordiske fjellhaller og landbruksbygg. Vi tenker at det vil være nyttig å gjøre en systematisk undersøkelse på hvordan slike lokaler kan egne seg for innendørs dyrking.

### 6.4 Konklusjon

Vertikal innendørs dyrking gjør det mulig å dyrke hele året, uavhengig av jordsmonn og lokalt klima. Dette medfører at man kan dyrke nærmest overalt, så lenge det er tilgang på vann og elektrisk strøm. I Norge har vi et klima som gjør det svært vanskelig å dyrke utendørs, store deler av året. Dette gjør vertikal dyrking ekstra interessant i Norge, ettersom det gir oss mulighet til å dyrke hele året og i hele landet.

Per dags dato er det et begrenset antall plantesorter som kan dyrkes vertikalt med mulighet for økonomisk lønnsom produksjon. I dag består den kommersielle produksjonen hovedsakelig av salat, krydderurter og bær. I tillegg dyrkes det også spiselige blomster for bruk i restaurantnæringen. Basismatvekster som hovedsakelig konsumeres for kalorier, som hvete, ris og poteter, er derimot ikke egnet for kommersiell produksjon i vertikalanlegg, fordi de krever lang tid for å vokse, og den økonomiske verdien per kilogram tørrmasse er relativt lav.

Vertikal innendørs dyrking er fortsatt en relativt ny dyrkingsmetode. Etter hvert som det gjøres tekniske forbedringer og utvikles nye løsninger vil denne dyrkingsmetoden bli stadig mer konkurransedyktig, og dette kan gjøre det mulig å oppnå lønnsom produksjon av flere plantesorter. En mulighet som har vært nevnt er dyrking av ulike rotgrønnsaker. Utvikling av stadig rimeligere og mer effektive lyskilder basert på LED-teknologi er et eksempel på teknologiutvikling som har gjort denne dyrkingsmetoden til en mulighet. Likevel må man anta at omfanget av plantesorter som kan dyrkes med denne metoden vil være nokså begrenset, også i framtiden.

I Norge har vi noen fortrinn som kan bidra til å gjøre innendørs dyrking spesielt interessant her i landet. Vi har god tilgang på grønn og fornybar energi, og tradisjonelt har vi også hatt lave og stabile elektrisitetskostnader, noe vi også fortsatt har i deler av landet. Samtidig har vi også et høyt lønnsnivå, og dette gjør det ekstra viktig å benytte løsninger som reduserer behovet for manuell arbeidskraft.

De tre største kostnadspostene i et vertikalanlegg er lønnskostnader, elektrisitetskostnader og investeringskostnader relatert til lokaler og utstyr. Vi mener at man bør ha et spesielt søkelys på disse tre områdene, og hvordan nye løsninger og innovasjoner kan bidra til å redusere de respektive kostnadene.

Er vertikal innendørs dyrking en miljømessig bærekraftig dyrkingsmetode i Norge? Vi tenker at svaret på dette vil være avhengig av mange ulike faktorer. Som nevnt over har ny lysteknologi medført et betydelig lavere elektrisitetsbehov i dagens vertikalanlegg, og dette er et område der det fortsatt er potensial for nye løsninger og forbedringer som både vil øke lønnsomheten og samtidig gjøre dyrkingsmetoden mer bærekraftig.

## 7 Referanser

- [1] «Grøntsektoren mot 2035», Grøntutvalget, mar. 2020.
- [2] «Stortingsproposisjon 1 S (2022–2023)», *Regjeringa.no*. Landbruks- og matdepartementet, 6. oktober 2022. Åpnet: 10. januar 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-1-s-20222023/id2931701/>
- [3] T. Kozai, G. Niu, og M. Takagaki, *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press, 2019.
- [4] E. Ritter, B. Angulo, P. Riga, C. Herrán, J. Reloso, og M. San Jose, «Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers», *Potato Res*, bd. 44, nr. 2, s. 127–135, jun. 2001, doi: 10.1007/BF02410099.
- [5] M. Ali, E.-S. G. Khater, S. A. Ali, og Z. El-Haddad, «Comparison between Hydroponic and Aeroponic Systems for Lettuce Production», 2017. Åpnet: 27. mars 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.semanticscholar.org/paper/COMPARISON-BETWEEN-HYDROPONIC-AND-AEROPONIC-SYSTEMS-Ali-Khater/e9ae80d88ff78123e2dbdcefcd5822ef4c23732>
- [6] S. Rajendran, T. Domalachenpa, H. Arora, P. Li, A. Sharma, og G. Rajauria, «Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with Emphasis on potato mini-tuber cultivation», *Heliyon*, bd. 10, nr. 5, s. e26823, mar. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26823.
- [7] S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, og G. M. Burnell, Red., *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Cham: Springer International Publishing, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-15943-6.
- [8] J. A. Sánchez-Molina, F. Rodríguez, J. C. Moreno, J. Sánchez-Hermosilla, og A. Giménez, «Robotics in greenhouses. Scoping review», *Computers and Electronics in Agriculture*, bd. 219, s. 108750, apr. 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.108750.
- [9] G. Robbiani og E. Törn, «Intermittent Light Scheduling for Energy Cost Reduction in Vertical Farming», *IEEE Technology and Society Magazine*, bd. 43, nr. 3, s. 81–90, sep. 2024, doi: 10.1109/MTS.2024.3455103.
- [10] D. D. Avgoustaki og G. Xydis, «Chapter One - How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety?», i *Advances in Food Security and Sustainability*, bd. 5, M. J. Cohen, Red., Elsevier, 2020, s. 1–51. doi: 10.1016/bs.af2s.2020.08.002.
- [11] M. García-Vila, I. J. Lorite, M. A. Soriano, og E. Fereres, «Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain», *Agricultural Water Management*, bd. 95, nr. 4, s. 458–468, apr. 2008, doi: 10.1016/j.agwat.2007.11.009.
- [12] L. Graamans, E. Baeza, A. van den Dobbelen, I. Tsafaras, og C. Stanghellini, «Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency», *Agricultural Systems*, bd. 160, s. 31–43, feb. 2018, doi: 10.1016/j.agsy.2017.11.003.
- [13] H. Singh, M. R. Poudel, B. L. Dunn, C. Fontanier, og G. Kakani, «Effect of Greenhouse CO<sub>2</sub> Supplementation on Yield and Mineral Element Concentrations of Leafy Greens Grown Using Nutrient Film Technique», *Agronomy*, bd. 10, nr. 3, Art. nr. 3, mar. 2020, doi: 10.3390/agronomy10030323.
- [14] C. Stanghellini og D. Katzin, «The dark side of lighting: A critical analysis of vertical farms' environmental impact», *Journal of Cleaner Production*, bd. 458, s. 142359, jun. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.142359.
- [15] N. A. Nielsen, «Vertikalt landbruk viser potensial: Skal framtidens grønnsaker dyrkes i høyhus?», *forskning.no*. Åpnet: 10. januar 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.forskning.no/innovasjon-landbruk-miljoteknologi/vertikalt-landbruk-viser-potensial-skal-framtidens-gronnsaker-dyrkes-i-hoyhus/1775295>

- [16] «Our Farms», Oishii. Åpnet: 12. mars 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://oishii.com/pages/our-farms>
- [17] U. Debangshi, «Hydroponics Rice Nursery: A Novel Approach to Rice Cultivation in India», *Journal of Research in Agriculture and Animal Science*, bd. 9, nr. 4, s. 63–66, apr. 2022, doi: 10.5281/zenodo.6500060.
- [18] R. Boekhout, «We are now down to €1000 per m<sup>2</sup> in our farms», Vertical Farm Daily. Åpnet: 2. april 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.verticalfarmdaily.com/article/9665692/we-are-now-down-to-eur1000-per-m2-in-our-farms/>
- [19] M. Martin, M. Elnour, og A. C. Siñol, «Environmental life cycle assessment of a large-scale commercial vertical farm», *Sustainable Production and Consumption*, bd. 40, s. 182–193, sep. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.06.020.
- [20] Y. Kobayashi, T. Kotilainen, G. Carmona-García, A. Leip, og H. L. Tuomisto, «Vertical farming: A trade-off between land area need for crops and for renewable energy production», *Journal of Cleaner Production*, bd. 379, s. 134507, des. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134507.
- [21] J. M. Roberts, T. J. A. Bruce, J. M. Monaghan, T. W. Pope, S. R. Leather, og A. M. Beacham, «Vertical farming systems bring new considerations for pest and disease management», *Annals of Applied Biology*, bd. 176, nr. 3, s. 226–232, 2020, doi: 10.1111/aab.12587.
- [22] «Agri Farming: Management of Vertical Farming Pests and Diseases: Control, Prevention, and Treatment». Åpnet: 3. mars 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.agrifarming.in/management-of-vertical-farming-pests-and-diseases-control-prevention-and-treatment>
- [23] Opplysningskontoret for frukt og grønt, «Frukt- og grøntstatistikk 2023», 2023.
- [24] «HybriGrowth – Hybride veksthus: kombinert vertikal og tradisjonell veksthusproduksjon», SINTEF. Åpnet: 12. mars 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.sintef.no/prosjekter/2023/hybrigrowth-hybride-veksthus-kombinert-vertikal-og-tradisjonell-veksthusproduksjon/>
- [25] «Norge er best i verden for kraftkrevende industri». Åpnet: 11. mars 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.fornybarnorge.no/nyheter/2022/norge-er-best-i-verden-for-kraftkrevende-industri/>
- [26] E. Kaiser *mfl.*, «Vertical farming goes dynamic: optimizing resource use efficiency, product quality, and energy costs», *Front. Sci.*, bd. 2, sep. 2024, doi: 10.3389/fsci.2024.1411259.
- [27] C. Sowmya, M. Anand, C. Indu Rani, G. Amuthaselvi, og P. Janaki, «Recent developments and inventive approaches in vertical farming», *Front. Sustain. Food Syst.*, bd. 8, sep. 2024, doi: 10.3389/fsufs.2024.1400787.
- [28] S. Sannan, «Horisontal versus vertikal dyrking i veksthus – eller en hybrid kombinasjon?», SINTEF-blogg. Åpnet: 31. mars 2025. [Online]. Tilgjengelig på: <https://blogg.sintef.no/energi/horisontal-versus-vertikal-dyrking-i-veksthus-eller-en-hybrid-kombinasjon/>
- [29] G. Bouquet, K. Kaspersen, og K. H. Haugholt, «Optical measurement instrument for detection of powdery mildew and grey mould in protected crops», *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications*, bd. 20, nr. 1, s. 25, 2024.
- [30] J. P. Wold, K. W. Sanden, J. Skaret, M. Carlehøg, M. Tjåland, og A. Hansen, «Non-contact interactance NIR spectroscopy for estimating TSS and sensory sweetness in conveyor-belt transported cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* 'Piccolo')», *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, bd. 335, s. 125962, jul. 2025, doi: 10.1016/j.saa.2025.125962.
- [31] J. Petter Wold *mfl.*, «Inter seasonal validation of non-contact NIR spectroscopy for measurement of total soluble solids in high tunnel strawberries», *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, bd. 309, s. 123853, mar. 2024, doi: 10.1016/j.saa.2024.123853.
- [32] D. T. Vu *mfl.*, «Optimizing optical fiber daylighting system for indoor agriculture applications», *Solar Energy*, bd. 247, s. 1–12, nov. 2022, doi: 10.1016/j.solener.2022.10.015.

## A Spørreundersøkelse blant norske aktører

Som en del av arbeidet i prosjektet ble det gjennomført en spørreundersøkelse blant norske aktører. Tilbud om å delta i spørreundersøkelsen ble sendt ut på e-post til aktører vi mente har spesiell kunnskap eller interesse innenfor temaet innendørs vertikal dyrking. For å nå ut til relevante aktører brukte vi SINTEF sitt eget kontaktnett eller kontaktinformasjonen vi fant gjennom søk på internett.

Totalt ble 42 personer kontaktet med forespørsmål om å delta i spørreundersøkelsen, og av disse var det 17 som svarte på spørsmålene i undersøkelsen.

Personer som ble kontaktet kan deles inn i følgende kategorier:

- De som dyrker innendørs i dag, og da fortrinnsvis vertikal innendørs dyrking.
- Leverandører av utstyr beregnet for vertikal innendørs dyrking.
- Distributører av grøntprodukter.
- Kunnskapsformidlere til grøntsektoren fra ulike organisasjoner, men ikke de fra forskningsmiljøene.

Personer i forskningsinstitusjoner deltok altså ikke i spørreundersøkelsen, da vi primært var interessert i tilbakemeldinger fra ulike norske næringsaktører innen vertikal innendørs dyrking.

Nedenfor følger en beskrivelse av formålet med prosjektet, slik det ble presentert for deltakere i spørreundersøkelsen. Spørreundersøkelsen bestod av 15 spørsmål, som gjengitt nedenfor.

### A.1 Formålet med prosjektet, slik det ble presentert for deltakere i spørreundersøkelsen

Dette er et spørsmål til deg om du vil delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å se på muligheter og begrensninger relatert til vertikal grøntproduksjon i Norge. Med vertikal grøntproduksjon tenker vi her på innendørs dyrking basert på bruk av kunstig belysning.

Forskningsprosjektet gjennomføres av SINTEF med støtte fra Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (FLL/JA), og ser på muligheter og begrensninger relatert til vertikal grøntproduksjon i Norge. Med kaldt klima og begrenset tilgang på dagslys er vertikal grøntproduksjon en interessant løsning for å øke selvforsyningsgraden i Norge, samt å åpne opp nye muligheter for både hobbydyrkere så vel som bønder, veksthusgartnere og andre kommersielle aktører.

Prosjektet har som hovedmål å:

1. Presenter et bilde av ulike muligheter for hvordan denne næringen kan utvikle seg i Norge, og hva som eventuelt mangler av kunnskap og kompetanse.
2. Basert på hva som mangler av kompetanse vil det også beskrives forslag til forskningsprosjekter rettet mot å realisere bærekraftig vertikal grøntproduksjon i Norge.

Vi ønsker at du svarer på noen spørsmål relatert til hvordan vi i Norge kan tilpasse oss ved å ta i bruk innovative metoder for vertikal grøntproduksjon, som tillater helårsproduksjon av ulike grøntprodukter. Samtidig ønsker vi også tilbakemeldinger relatert til økonomiske og andre utfordringer som du ser kan ha betydning ved denne typen grøntproduksjon.

## A.2 Spørsmål og svaralternativ i spørreundersøkelsen

*Spørsmål 1. Driver du, eller firmaet du representerer, med egen grøntproduksjon?*

- Ja, jeg driver kommersielt
- Ja, jeg driver som hobbydyrker
- Nei, jeg driver ikke med egen grøntproduksjon

*Spørsmål 2. Hvis du driver med egen grøntproduksjon, hvilken form for grøntproduksjon?*

Velg gjerne flere alternativ

- Produksjon på friland (utendørs)
- Produksjon i tradisjonelle veksthus
- Vertikal grøntproduksjon (innendørs dyrking med kunstig belysning)

*Spørsmål 3. Hvis du (eller firmaet du representerer) ikke driver med egen grøntproduksjon, hvilken rolle har du?*

- Jeg er teknologileverandør til grøntsektoren
- Jeg er distributør/oppkjøper av grøntprodukter
- Jeg er kunnskapsformidler til grøntsektoren

*Spørsmål 4. Vurderer dere å begynne med vertikal grøntproduksjon?*

- Jeg driver allerede med vertikal grøntproduksjon
- Ja, jeg vurderer å begynne med vertikal grøntproduksjon
- Nei, jeg vurderer ikke å begynne med vertikal grøntproduksjon

*Spørsmål 5. Hva er de viktigste faktorer som må på plass for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?*

List opp opptil 3 av de viktigste faktorene:

*Spørsmål 6. Hva er de største hindringene for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?*

List opp opptil 3 av de største hindringene:

*Spørsmål 7. For Norge sammenlignet med andre steder - ser du noen spesielle utfordringer med vertikal grøntproduksjon her i Norge?*

List opp utfordringene:

*Spørsmål 8. For Norge sammenlignet med andre steder - ser du noen spesielle fordeler med vertikal grøntproduksjon her i Norge?*

List opp fordelene:

*Spørsmål 9. Hvilke typer lokaler egner seg spesielt godt til vertikal grøntproduksjon i Norge?*

List opp ulike muligheter både i eksisterende bygg, nybygg og eventuelt andre typer lokaler:

*Spørsmål 10. Hvilke behov er de mest viktige å møte for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?*

Velg gjerne flere alternativ dersom du synes de er omtrent like viktige, eller velg og skriv inn et annet viktig behov.

- Behov for bedre kunnskap om planter og dyrking relatert til vertikal grøntproduksjon
- Behov for bedre kunnskap om eksisterende teknologiske løsninger relatert til vertikal grøntproduksjon
- Behov for bedre kunnskap om økonomiske forhold relatert til vertikal grøntproduksjon
- Behov for utvikling av nye teknologiske løsninger som ikke finnes i dag

*Spørsmål 11. Innenfor hvilke områder tror du det mangler kompetanse som er nødvendig å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?*

*List gjerne flere områder.*

*Spørsmål 12. Innenfor hvilke av områdene nedenfor er det mest viktig å utvikle nye teknologiske løsninger?*

*Velg gjerne flere alternativ dersom du synes de er omtrent like viktige, eller velg og skriv inn et annet viktig område.*

- Bygningsteknologi, materialer og bygningsrelaterte løsninger
- Oppvarming og kjøling
- Belysning og ulike planters behov for og respons på lys
- Dyrkingsmedium og dyrkingsteknologi
- Mikroklima (lokal luftsirkulasjon, CO<sub>2</sub>, temperatur, fuktighet, etc.)
- Gjenbruk, renseteknologi og lukkede systemer
- Bærekraftige løsninger, inkludert livssyklusanalyser
- Sensorer, prosesskontroll og styring
- Robotikk og automatisering

*Spørsmål 13. Hvilke aktører (offentlige og/eller private) kan eller bør spille en sentral rolle dersom vi skal ha mulighet til å lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?*

*List opp opptil 3 av de mest viktige aktørene:*

*Spørsmål 14. Er det noen konkrete tiltak som du mener bør gjøres for å tilrettelegge for vertikal grøntproduksjon i Norge?*

*List opp opptil 3 konkrete tiltak:*

*Spørsmål 15. Dersom du synes det er greit at vi kontakter deg for en videre samtale om vertikal grøntproduksjon i Norge kan du skrive inn navn, e-post og telefonnummer her:*

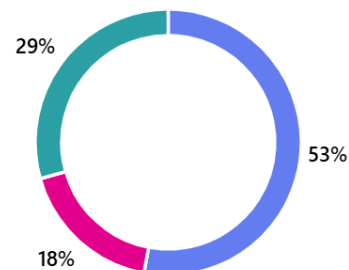
*Svarene i undersøkelsen vil uansett anonymiseres ved presentasjon av resultater fra undersøkelsen.*

### A.3 Sammendrag av resultater fra spørreundersøkelsen

Nedenfor gis et kortfattet sammendrag av resultater fra spørreundersøkelsen. For spørsmålene med definerte svaralternativ har vi angitt prosentvis fordeling for de ulike svaralternativene. For de åpne spørsmålene har vi listet opp de aller fleste momentene som ble nevnt i besvarelsene. Originalteksten i besvarelsene har imidlertid blitt noe omskrevet, forenklet og systematisert.

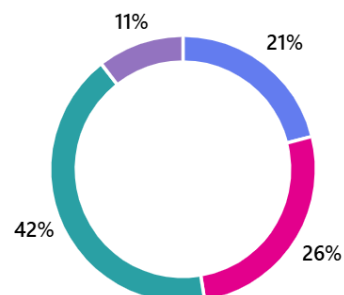
*Spørsmål 1. Driver du, eller firmaet du representerer, med egen grøntproduksjon?*

● Ja, jeg driver kommersielt	9
● Ja, jeg driver som hobbydyrker	3
● Nei, jeg driver ikke med egen grøntproduksjon	5



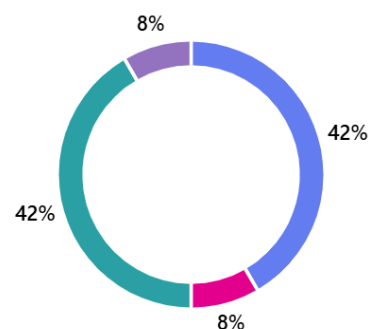
*Spørsmål 2. Hvis du driver med egen grøntproduksjon, hvilken form for grøntproduksjon?*

● Produksjon på friland (utendørs)	4
● Produksjon i tradisjonelle veksthus	5
● Vertikal grøntproduksjon (innendørs dyrking med kunstig belysning)	8
● Annet	2



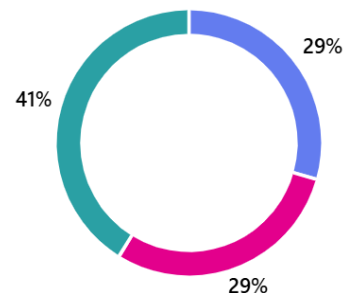
*Spørsmål 3. Hvis du (eller firmaet du representerer) ikke driver med egen grøntproduksjon, hvilken rolle har du?*

● Jeg er teknologileverandør til grøntsektoren	5
● Jeg er distributør/oppkjøper av grøntprodukter	1
● Jeg er kunnskapsformidler til grøntsektoren	5
● Annet	1



#### Spørsmål 4. Vurderer dere å begynne med vertikal grøntproduksjon?

<span style="color: blue;">●</span> Jeg driver allerede med vertikal grøntproduksjon	5
<span style="color: magenta;">●</span> Ja, jeg vurderer å begynne med vertikal grøntproduksjon	5
<span style="color: teal;">●</span> Nei, jeg vurderer ikke å begynne med vertikal grøntproduksjon	7



#### Spørsmål 5. Hva er de viktigste faktorer som må på plass for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?

Svar:

- **Økonomi**
  - Kost/nytte-vurderinger av lønnsomheten, som kan legge til rette for gode kostnadseffektive løsninger
  - Fokuserer på produkter som har høy verdi og tilstrekkelig etterspørsel i det norske markedet
  - De som dyrker vertikalt, må ha kommersielle motiver og ikke idealistiske motiver
  - Tilgang på kapital
  
- **Marked**
  - Dyrkere må ha markedstilgang for de produktene som produseres vertikalt
  - Betalingsvillighet for ferske, lokalproduserte grønnsaker
  - Produksjon som kan tilpasses etterspørselen
  - Må konkurrere på pris, kvalitet og bærekraft for å vinne markedsandeler
  
- **Kunnskap og kompetanse**
  - Tilgang på nødvendig ekspertise
  - Optimalisering av ressursbruk
  - Løsninger for reduksjon av manuelle prosesser
  - Kunnskap om planter og plantehelse
  - Muligheter knyttet til ulike typer industriell symbiose, inkludert utnyttning av CO<sub>2</sub> fra annen næringsvirksomhet
  
- **Teknologisk innovasjon**
  - Sensorer og automatisering for å overvåke vekstforhold
  - Utvikle løsninger for vertikal dyrking som fungerer sammen med ordinær veksthusproduksjon
  
- **Effektiv energibruk**
  - Løsninger for fornuftig bruk av overskuddsvarme fra vertikalanlegget
  - Energieffektiv lysteknologi (LED belysning)
  - Hvordan utnytte det naturlige sollyset når det er tilgjengelig?
  
- **Logistikk og distribusjon**

- Vertikalprodusenter må ha en effektiv forsyningskjede
- Nærhet til forbrukere (markedet)
- Effektive løsninger for lagring og transport
- Mulighet for rask levering

Spørsmål 6. Hva er de største hindringene for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?

Svar:

- Vertikal dyrking er en ny og lite praktisert metode i Norge.
- Vi mangler kompetansesentre som kan gi råd og veiledning.
- Krever store oppstartskostnader inkludert investering i teknologi og infrastruktur.
- Vertikal produksjon har kun sin berettigelse dersom den er mer energi- og miljøvennlig enn vanlig produksjon.
- Manglende tilgang på kapital, både fra private investorer og offentlige støtteordninger.
- Store geografiske avstander.
- Høye strømkostnader vil kunne være en hindring.
- Mangel på tilgang til markedet kan være en utfordring, spesielt for nyetablerte produsenter.
- Forbrukere som ikke ser noen ekstra verdi i vertikalproduserte produkter.
- Lave tomtepriser utenom byene kan her gjøre det mindre lønnsomt å øke dyrkingsarealet ved å produsere i flere etasjer.
- Et regelverk som gjør det vanskelig å benytte tilgjengelige bioressurser til næring og gjødsel for plantene.
- Manglende offentlig støtte i form av tilskudd og subsidier som kan være nødvendig for å gjøre denne typen produksjon økonomisk levedyktig på kort sikt. Samtidig må det også være mulig å drive 100% kommersielt dersom vertikal dyrking skal ha noen verdi.

Spørsmål 7. For Norge sammenlignet med andre steder - ser du noen spesielle utfordringer med vertikal grøntproduksjon her i Norge?

Svar:

- Norge har generelt høye lønnskostnader, noe som kan påvirke lønnsomheten til arbeidsintensive operasjoner. Høye lønnskostnader gjør det nødvendig å ha et fokus på effektivisering og automatisering.
- Norge har et relativt lite marked sammenlignet med større land, noe som kan begrense volumet av vertikalproduserte produkter som kan selges.
- Et langstrakt land med liten befolkning kan gjøre det vanskelig å oppnå en god distribusjon
- Tilgang til godt kvalifisert arbeidskraft kan være en utfordring.
- Manglende tilgang til markedet kan være en spesiell utfordring i Norge. Alle aktører som skal inn i det norske markedet er avhengig av å sikre seg en avsetning på produksjonen. Det innebærer at alle større aktører må ha en avtale med kunder i dagligvaremarkedet eller storhusholdning.

Spørsmål 8. For Norge sammenlignet med andre steder - ser du noen spesielle fordeler med vertikal grøntproduksjon her i Norge?

Svar:

- Norge har mer stabile og lavere strømpriser enn mange andre områder.
- Norge er langt fremme med fornybar energi, og her er det naturlige koblinger mot å utnytte vindkraft, hydrogen, fjernvarme med mer.
- Norge har også stor og stabil tilgang på fornybar energi, særlig fra vannkraft. Selv om strømprisene til tider kan være høye, er energien miljøvennlig og stabil, noe som passer godt med målet om å drive bærekraftig vertikal produksjon.
- Norge kan ha en fordel sammenlignet med land hvor produksjon er mer avhengig av fossilt brensel, og dermed har et høyere karbonavtrykk.
- Med lange og kalde vintre kan vertikal grøntproduksjon i kontrollerte innemiljøer være ekstra viktig i Norge, for å sikre en stabil og jevn tilførsel av ferske grønnsaker året rundt.
- Norske myndigheter og forbrukere er opptatt av matsikkerhet, kvalitet og bærekraft. Vertikal grøntproduksjon kan oppfylle disse kravene ved å produsere mat i kontrollerte og hygieniske miljøer, uten bruk av skadelige plantevernmidler.
- Norge har et kjølig klima, og er skjermet for mange sykdommer og skadedyr.
- I Norge finnes det en god del areal som ikke er utnyttet, og som lett kan brukes til vertikalt jordbruk. Eksempler er hustak, kjellere og ubrukte driftsbygninger.
- I Norge har vi en stabil politisk situasjon og forbrukere med god kjøpekraft.
- I Norge er det i dag en relativt høy andel av importerte produkter som kan erstattes av vertikalproduserte produkter.

Spørsmål 9. Hvilke typer lokaler egner seg spesielt godt til vertikal grøntproduksjon i Norge?

Svar:

- Bygninger med takhøyde på minst 4-6 meter er ideelle.
- Ubrukte industrilokaler og lagerbygninger er ofte godt egnet til vertikal grøntproduksjon, spesielt i bynære områder. Disse byggene har vanligvis høye tak, åpne arealer, og solid struktur, som er ideelt for å bygge vertikale hyllesystemer for planteproduksjon.
- Bygninger som ligger nær teknologisentre eller landbruksuniversiteter. Nærhet til forskningsmiljøer gir fordelen av å kunne samarbeide med fagfolk og utnytte ny teknologi raskt. Disse områdene har ofte gode infrastrukturforbindelser.
- Ubrukte fjellhaller og bunkere: Norge har mange fjellanlegg, bunkere og underjordiske lagre som står ubrukt. Disse anleggene gir en unik mulighet for vertikal grøntproduksjon, da de naturlig gir et stabilt klima.
- Lokaler i tilknytning til tradisjonell veksthusproduksjon, slik at man kan utnytte varmeoverskuddet fra vertikalanlegget i det ordinære veksthuset.
- Ubrukte landbruksbygg, inkludert driftsbygninger.
- Lokaler som har tilgang til rimelig fornybar energi eller andre innsatsfaktorer som kan brukes i produksjonen.
- Lokaler med høy hygienegrad.
- Nybygg designet for dette formålet fra begynnelsen av.
- Lokaler der mennesker allerede oppholder seg kan være godt egnet, fordi vi mennesker deler mange av de samme behovene som mange spiselige vekster. Eksempler på slike lokaler kan være:
  - Kontorbygg
  - Restauranter

- Boliger og leilighetsbygg
- Skoler og samfunnsentre

Spørsmål 10. Hvilke behov er de mest viktige å møte for å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?



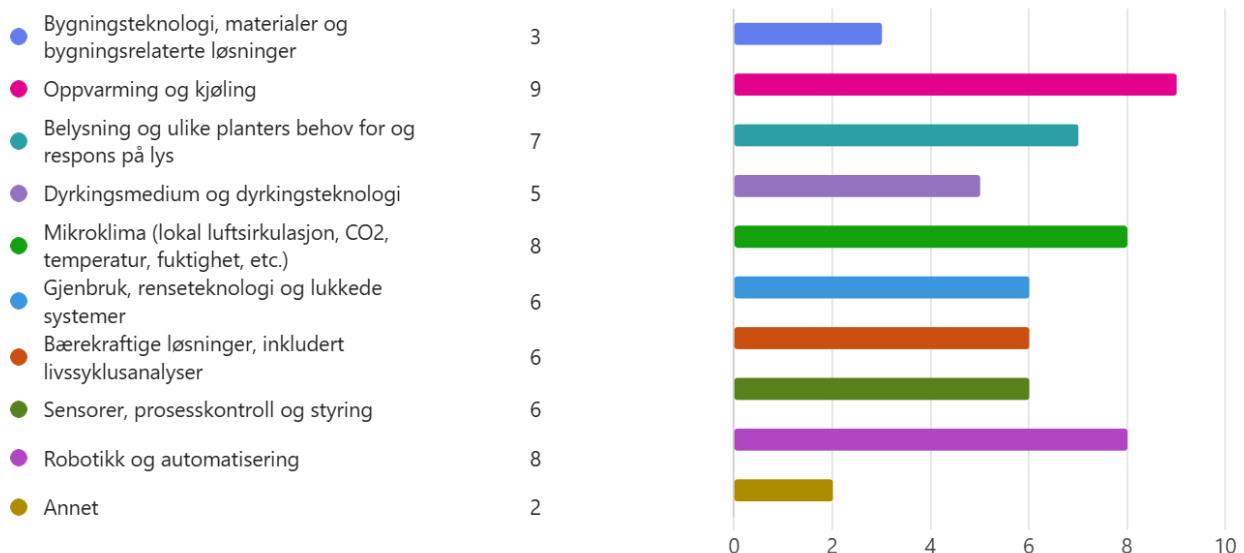
Spørsmål 11. Innenfor hvilke områder tror du det mangler kompetanse som er nødvendig å kunne lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?

Svar:

- Økonomi og sirkulære kretsløp
  - Holistisk syn på kost/nytte ved vertikal dyrking.
  - Forretningsmodeller for vertikal dyrking.
  - Konsekvenser av å bruke biogass fra landbruksnæringen til sirkulære kretsløp hvor dyrking er en del.
  - Bedre koblinger mellom produksjonsfasiliteter, teknologi og energieffektivisering.
  - Bærekraftig økonomisk erfaring med faktisk lønnsom virksomhet, de fleste tjener ikke penger i dag.
- Digitalisering av logistikk
  - For å holde oversikt over produksjon, lagerbeholdning, og leveranser, er digitalisering av logistikkprosessene viktig.
  - Erfaring med integrerte logistikksystemer og bruk av digitale plattformer for å effektivisere distribusjon, er essensielt.
- Plantevitenskap og agronomi tilpasset vertikal dyrking
  - Kompetanse innen utvikling og bruk av hydroponiske, aeroponiske eller andre ikke-tradisjonelle plantevekstmedier er viktig.
  - I Norge mangler vi erfaring med slike medier, noe som er essensielt for å kunne dyrke planter effektivt i vertikalt oppsett.
  - Kompetanse om plantefysiologi og kunnskap om plantedyrking knyttet til det man skal produsere allerede inn i utviklingsfasen av de tekniske løsningene.
  - Hvordan dyrking i eller uten jord påvirker næringsinnholdet.
  - Kunnskap om hvilke produkter som kan produseres.
- Energioptimalisering og klimakontroll
  - Kunnskap om energieffektive løsninger for belysning (f.eks. LED-lys), oppvarming, kjøling, og ventilasjon er avgjørende.

- I Norge har vi begrenset kunnskap om hvordan man opprettholder optimale klimaforhold i et lukket system.
- Automasjon og effektivisering
  - Grensesnittet mellom biologisk kompetanse og automasjonskompetanse.
  - Effekten av prosesskontroll på produksjonsvolum og kvalitet.
  - Bruk av kunstig intelligens i vertikal dyrking.
- Mattilsynets krav og sertifisering
  - Manglende kjennskap til regelverk knyttet til vertikal matproduksjon, hygiene, merking, og bruk av plantevernmidler i kontrollerte miljøer kan være en barriere.

Spørsmål 12. Innenfor hvilke av områdene nedenfor er det mest viktig å utvikle nye teknologiske løsninger? Velg gjerne flere alternativ dersom du synes de er omtrent like viktige, eller velg og skriv inn et annet viktig område.



Spørsmål 13. Hvilke aktører (offentlige og/eller private) kan eller bør spille en sentral rolle dersom vi skal ha mulighet til å lykkes med vertikal grøntproduksjon i Norge?

Svar:

- Offentlige aktører
  - Landbruks- og matdepartementet
  - Landbruksdirektoratet
  - Fylkeskommuner og kommuner
  - Mattilsynet
  - Innovasjon Norge
  - Forskningsrådet
  - Siva - Selskapet for industrivekst
- Bransjeorganisasjoner, nettverk og kunnskapsleverandører
  - Norsk Bonde- og Småbrukarlag
  - Lokale organisasjoner som støtter matinnovasjon
  - Konsulenter med kunnskap om plantedyrking

- De med kompetanse innen plantefysiologi
- Universiteter og høyskoler
  - NTNU
  - NMBU
  - UiO
  - UiT
- Forskningsinstitutter
  - SINTEF
  - NIBIO
- Private aktører
  - Finansielle institusjoner og investorer
  - Dagligvarebransjen
  - Grossister
  - Markedsaktører i dagens bransje. Spesielt de som kontrollerer markedsplassene i dagligvare og storhusholdning.
  - Gartnere og gartnerier
  - Private aktører som produserer grønt

Det er viktig at dagnes leverandørkjeder er proaktive, hvor aktører som Bama og ikke minst dagligvarebransjen er mer på framfoten. Ser man til andre land, er dagligvareaktørene kommet lengre, hvor aktører som Lidl i Tyskland har integrert vekstområder for microgreens i sine butikker.

Spørsmål 14. Er det noen konkrete tiltak som du mener bør gjøres for å tilrettelegge for vertikal grøntproduksjon i Norge?

Svar:

- Tilgang til investeringskapital og risikoavlastning
  - Opprette eller styrke eksisterende grønne investeringsfond, med et spesielt fokus på innovativ og bærekraftig matproduksjon. Dette kan tiltrekke investorer og gi kapital til vertikale produksjonsprosjekter.
  - Staten kan tilby risikoavlastningsordninger som reduserer risikoen for investorer i oppstartsbedrifter innen vertikal grøntproduksjon.
  - Enklere finansieringsordninger i form av grønne lån og stipend.
- Forskning og kompetanseheving
  - Økt finansiering til forskning og partnerskap med forskningsinstitusjoner.
  - Bevilge flere forskningsmidler gjennom Norges forskningsråd og Innovasjon Norge til prosjekter som utforsker nye dyrkingsmetoder, energieffektivisering, automatisering og optimalisering av vekstforhold i vertikale systemer.
  - Øremerkede FoU midler med fokus på regulering av dyrkingsmedium basert på næringsinnhold.
  - Øremerkede FoU midler for teknologi som utnytter naturlig sollys.
  - Mer forskning og utvikling innenfor sensorteknologi og plantevitenskap.
  - Mer støtte fra offentlige virkemiddelapparater for denne produksjonsformen.
  - Etablere innovasjonsmiljøer for deling av kunnskap.
  - Oppgradere gartnerutdanningen med grønn teknologi, robotikk og databehandling.
- Dagligvarebransjen og grossistene
  - Få dagligvarebransjen og grossistene mer med i diskusjonen.

- Teste ut nye områder og former for dyrking. Kunne for eksempel en dagligvarebutikk dyrket noe av sitt frukt/grønt direkte på eller i nærheten av butikken?
- Informering av forbrukere om hvor gode de vertikalt produserte produktene er i forhold til andre produkter.
- Andre tiltak
  - Regjering og myndigheter må legge mer trykk på at Norge skal være mer selvforsynt.
  - Det må sørges for at de som produserer vertikalt har tilgang til markedet.
  - Det må jobbes for at regelverket til Mattilsynet tilpasses de spesielle forholdene rundt vertikal grøntproduksjon. Dette kan inkludere utvikling av spesifikke retningslinjer og standarder som er tilpasset produksjon i kontrollerte miljøer.

Spørsmål 15. Dersom du synes det er greit at vi kontakter deg for en videre samtale om vertikal grøntproduksjon i Norge kan du skrive inn navn, e-post og telefonnummer her:

Svar:

De aller fleste av de som svarte på spørreundersøkelsen (13 av 17) la igjen kontaktinformasjon. Flere av disse ble fulgt opp i etterkant, og mer utfyllende svar og kommentarer ble dermed samlet inn gjennom telefonsamtaler. Disse momentene er tatt med som en del av bakgrunnsinformasjonen brukt i kapittel 4.