



## Forord

Denne oppgaven ble skrevet som en del av mastergradsstudiet ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i Ås.

Oppgaven ble gjort i samarbeid med NIBIO, og er en del av prosjektet «Biogas 2020». Yara har støttet oppgaven økonomisk via Yarastipendet, som jeg er takknemlig for å ha mottatt.

En stor takk til mine veiledere Trine Aulstad Sogn, Bente Førleid og Trond Børresen, som har tatt seg god tid til å diskutere, lese gjennom og hjelpe meg med oppgaven. Takk til Trine for å ha hjulpet meg i gang med forsøket og bidratt til en del av forsøksarbeidet i tillegg til veiledningen. Med Bente har jeg fått være med på konferanse i Sverige og spennende møter i NIBIO. Av Trond har jeg fått mange nyttige innspill om fysikken.

For å komme i mål med oppgaven har jeg fått hjelp av mange som fortjener en takk. Takk til Øyvind Vartdal, Monica Fongen og Jan Erik Jacobsen, som har hjulpet meg og holdt meg med selskap på labben. Kurt Johansen har vannet og tatt vare på plantene hele sommeren. Takk til Anine, Therese, Ragnhild og Håkon som har vannet, blandet vekstmedier og vasket røtter, og Truls som lånte meg pickupen sin da en pall med papirslam havnet på feil adresse. For å luke bort skrivefeil og tvilsom grammatikk har jeg fått hjelp av Pappa, Elisabeth, Hedvig, Åse Helene og Bjørn. Svein har hjulpet med så mangt; bæring av søppelsekk etter søppelsekk med materialer sene kvelder på jordfag, store mengder middagslaging, og han har måttet leve med en illeluktende bil i ukesvis etter at jeg lånte den for å skaffe det som trengtes av kompost og biorest.

Takk til bedriftene jeg har fått hente materialer hos og deres ansatte som har bidratt med mange nyttige innspill til diskusjonen. I denne sammenheng vil jeg nevne Espen Govasmark ved Romerike Biogassanlegg og Knut Vasdal, opphavsmannen til kompostene, spesielt.

## Sammendrag

Torv er det vanligst brukte vekstmediet i kommersiell drivhusproduksjon, men er ønsket utfaset på grunn av hensynet til miljøet. Samtidig er det et økt fokus på gjenvinning av organisk avfall, hvilket fører til at store mengder næringsrikt avfall er tilgjengelig for bruk. Det næringsrike avfallet kan brukes i vekstmedier.

Seks avfallsmaterialer ble undersøkt kjemisk, fysisk og med hensyn på spiring, og deretter satt sammen til åtte ulike vekstmedier. Vekstmedienes kvalitet ble vurdert ut ifra tilveksten til tomat og salat i mediene, deres fysiske egenskaper og kjemisk sammensetning. De seks materialene var to komposter basert på storfegjødsel, to biorester basert på matavfall, papirslam og kokosfiber. De fire førstnevnte ble brukt som næringskilde, mens de to sistnevnte ble brukt som strukturmateriale. Torv ble brukt som kontroll.

Biomassetilveksten var varierende, og ingen av vekstmediene fungerte like bra som torv. Fysisk holder vekstmediene seg relativt stabile gjennom en vekstperiode, og luftvekslingen er gjennomgående god. Vekstmedienes fysiske egenskaper regnes derfor ikke som hovedårsaker til lav biomassetilvekst. Årsakene lå derimot i stor grad i vekstmedienes kjemiske egenskaper. Høyt planteopptak av natrium og aluminium, manglende stabilitet og høy konsentrasjon av ammonium fremstår som sannsynlige årsaker til den svake biomassetilveksten. I vekstforsøket var planteopptaket av natrium spesielt høyt i planter dyrket i vekstmedier hvor papirslam inngikk. Planteopptaket av aluminium var høyt i enkelte vekstmedier, men dette var ikke knyttet til total konsentrasjon av aluminium i vekstmediet. Enkelte av materialene utviste fytotoksiske effekter grunnet manglende stabilitet i spireforsøket, og disse har ikke forsvunnet ved fortykning i et vekstmedium.

På tross av en biomassetilvekst som var lav sammenlignet med planter dyrket i torv, har enkelte vekstmedier et potensiale og vil være et godt utgangspunkt for videre undersøkelser.

## Abstract

Peat is the most commonly used substrate for commercial plant production. However, due to environmental concerns, peat use should be reduced. At the same time, there is an increased focus on recycling organic waste. This makes a lot of nutrient rich waste material available for use in commercial substrates.

Six waste materials were examined physically and chemically. Germination in the materials was also tested. The six materials included two composts based on cattle manure two digestates based on food waste, paper sludge and coconut husk. Thereafter, the six materials were put together into eight different substrates. The four former materials were used as a nutrient source, while the two latter materials were used as structure material. Peat was used as control.

The growth in the substrates varied, and none of the substrates worked as well as peat. Physically, the substrates remained relatively stable during the growth period, and the air capacity was generally good. The substrate's physical attributes are therefore not considered a main cause for the low growth in the substrates. The substrate's chemical composition, on the other hand, seems to cause problems for growth. A high plant uptake of sodium and aluminum, a lack of stability and a high concentration of ammonia seems to be the major causes of growth inhibition. During the growth experiment, plants grown in substrates based on paper sludge showed a high uptake of sodium. The plant uptake of aluminum was high in some of the substrates, but the uptake was not related to total concentration of aluminum in the substrates. Some of the materials showed a phytotoxic effect on germination, due to lack of stability. The phytotoxic effects did not cease totally when these specific materials was diluted in the substrates.

Despite low growth compared to plants grown in peat, some of the substrates shows potential to be used as container media. Some of these substrates will be a good starting point for further investigations.

## Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	3
1.1	Torv som vekstmedium – hvorfor en utfasing er ønsket .....	3
1.2	Fysiske og kjemiske krav til et vekstmedium.....	4
1.3	Organisk avfall – forventninger til hvordan avfallet vil fungere som vekstmedium...	8
1.4	Oppgavens formål.....	10
2	Materialer og metode .....	11
2.1	Materialer.....	11
2.2	Måling av fysiske egenskaper.....	13
2.3	Måling av kjemisk innhold .....	15
2.4	Spireforsøk.....	16
2.5	Vekstforsøk.....	16
2.6	Statistisk metode.....	19
3	Resultater.....	21
3.1	Fysiske egenskaper .....	21
3.1.1	Porestørrelsesfordeling og tetthet til organiske avfallsmaterialer .....	21
3.1.2	Porestørrelsesfordeling og tetthet i vekstmediene.....	22
3.2	Kjemiske egenskaper .....	24
3.2.1	Kjemiske analyser av materialene, før gjødsling og kalking .....	24
3.2.2	Kjemisk innhold i vekstmediene etter gjødsling .....	27
3.2.3	Kjemisk innhold i planter .....	28
3.3	Spireforsøk.....	31
3.4	Vekstforsøk.....	32
3.5	Sammenheng mellom materialenes egenskaper og spireprosent .....	33
3.6	Sammenheng mellom vekstmediets egenskaper og plantevekst .....	34
3.7	Sammenheng mellom plantenes konsentrasjon av stoffer og plantevekst .....	36

4	Diskusjon.....	37
4.1	Fysiske egenskaper .....	37
4.1.1	Materialer og spireevne .....	37
4.1.2	Vekstmedier og biomassetilvekst.....	37
4.2	Kjemiske egenskaper .....	39
4.2.1	Materialer og spireevne .....	40
4.2.2	Vekstmedier, planteopptak og biomassetilvekst .....	41
4.2.3	Stabilitet og modenhet.....	45
4.3	Gjødselvereforskriften .....	45
4.4	Spireforsøk.....	46
4.5	Vekstforsøk.....	48
4.5.1	HRA + Papirslam .....	48
4.5.2	Papirslam.....	49
4.5.3	Markkompost + Kokosfiber .....	50
4.5.4	HRA + Kokosfiber .....	51
4.5.5	RBA + Kokosfiber .....	52
4.5.6	RBA + Papirslam .....	53
4.5.7	Kufiber + Papirslam .....	53
4.5.8	Markkompost + Papirslam .....	54
5	Konklusjon .....	55
6	Referanser.....	56
7	Vedlegg .....	60
	Vedlegg I: Oversikt over metoder benyttet for å bestemme materialenes kjemiske egenskaper .....	60

# 1 Innledning

## 1.1 Torv som vekstmedium – hvorfor en utfasing er ønsket

Torv fra *Sphagnum*-mose har i flere tiår vært den viktigste bestanddelen i vekstmedier som benyttes til planteproduksjon i drivhus (Steiner & Harttung 2014). Torven egner seg spesielt godt til formålet fordi den er fysisk og kjemisk stabil, har god evne til å forsyne plantene med vann og oksygen, er vanligvis fri for sykdommer, skadedyr og ugress, veier lite og er enkel å håndtere. I tillegg er det et homogent og lett tilgjengelig produkt (Garcia-Gomez et al. 2002; Schmilewski 2008).

Bruken av torv er imidlertid kritisert. Ulike organisasjoner som Avfall Norge, Sabima og Fremtiden i våre hender (Måge 2016a) presser på for å få en slutt på bruk av torv i jordprodukter. Den norske regjering er bedt om å lage en plan for utfasing av torv bruk til hagejord eller vekstmedium (Måge 2016b). I Storbritannia ble en plan for reduksjon i bruk av torv vedtatt allerede i 1995. Helt siden 1990 hadde det vært påtrykk fra og kampanjer i regi av ulike naturvernorganisasjoner (Alexander et al. 2008). Dette har ført til en reduksjon i bruk av torv med 40-50% både i det profesjonelle og det private markedet (Måge 2016a).

Argumentasjonen for utfasing av torv tar i stor grad utgangspunkt i hensyn til miljøet. Ettersom myrer spiller en viktig rolle i regulering av globalt klima (Alexander et al. 2008; Joosten et al. 2015) og er viktige områder for naturmangfold (Alexander et al. 2008; Pers kom. Steel 2016), ønskes de bevart. Det er torvmyrenes evne til å lagre karbondioksid fra atmosfæren over lang tid som gjør at de spiller en så viktig rolle i klimaregulering (Holden 2005). Myrenes positive innvirkning på klima dempes imidlertid av at myrer i naturlig tilstand er en vesentlig kilde til utslipp av metan (Schlesinger & Bernhardt 2013). Over tid er allikevel den samlede effekten kjølede (Joosten et al. 2015). Det er primært høymyrer som benyttes til torvuttak til planteproduksjon (Pers kom. Tollersrud 2017). I disse finnes det en del sjeldne arter av mose, lav, sopp og insekter (Moen et al. 2010).

## 1.2 Fysiske og kjemiske krav til et vekstmedium

Kommersiell veksthusproduksjon krever pålitelige og kvalitetssikrede vekstmedier på grunn av et ofte svært trangt tidsskjema (Schmilewski 2008), og store økonomiske tap ved feilslått produksjon. Planter dyrket i potter er i tillegg ekstra følsomme ovenfor endringer i temperatur, vanninnhold og konsentrasjoner av løste stoffer på grunn av det begrensede volumet planten har tilgjengelig (Michel 2010). For å utvikle vekstmedier egnet til kommersiell veksthusproduksjon må man derfor blant annet ta hensyn til et stort antall fysiske og kjemiske egenskaper (Schmilewski 2008). I Norge er det også stilt krav til vekstmedier av organisk opphav gjennom Gjødselforeforskriften (Gjødselforeforskriften 2003). Utdypende informasjon om kravene i forskriften finnes i slutten av dette kapitlet.

### ***Fysiske egenskaper***

God vannlagringsevne, god luftveksling og strukturell stabilitet er viktige fysiske egenskaper for et vekstmedium (Schmilewski 2008). Mengden porer av ulik størrelse i vekstmediet (porestørrelsesfordeling) har stor betydning for mediets evne til å forsyne planten med vann og oksygen. Jo mindre en pore er, desto sterkere bindes vannet. Luftvolumet utgjøres av porer større enn 300  $\mu\text{m}$  ettersom disse raskt dreneres i en potte. Lett tilgjengelig vann finnes i porer mellom 60 og 300  $\mu\text{m}$ . Et reservelager av vann finnes i porer mellom 30 og 60  $\mu\text{m}$ . Vann i porer som er mindre enn 30  $\mu\text{m}$  er i praksis utilgjengelig for plantene. Vannet er der for sterkt bundet til at plantene kan benytte seg av det uten at det går ut over veksten (de Boodt & Verdonck 1972; Michel 2010). I et ideelt vekstmedium bør totalt porevolum være på 85 vol%, med 15-30 vol% porer større enn 300  $\mu\text{m}$ , 20-30 vol% porer mellom 300 og 60  $\mu\text{m}$  og 4-10% porer mellom 30 og 60  $\mu\text{m}$  (de Boodt & Verdonck 1972). Noguera et al. (2003) oppgir lignende verdier, og mener tettheten bør være lavere enn 0,4  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Det er i tillegg svært viktig at vekstmediet beholder gode fysiske egenskaper gjennom hele vekstperioden (Michel 2010).

### ***Kjemiske egenskaper***

Det er 17 grunnstoffer som er essensielle for at planten skal kunne fullføre livssyklusen. Mangel på et eller flere av disse fører til skade på plantene, og nedsatt vekst er et vanlig symptom. Plantene kan også ta skade av for store mengder næring, toksiske metaller eller andre giftstoffer. Vekstmediets syreinnhold, eller pH, har stor betydning for



plantetilgjengelighet av næring og toksiske metaller. Ved en pH rundt 6,0 er alle næringsstoffer godt tilgjengelige for planten, og det oppstår som regel ikke problemer med for mye fritt aluminium. Planteopptak, vanlige konsentrasjoner i planten og annen relevant informasjon for makronæringsstoffene er gjengitt nedenfor, mens informasjon om mikronæringsstoffene finnes i Tabell 1 sammen med informasjon om toksiske metaller.

*Nitrogen (N)* tas i hovedsak opp som nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) og ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). På tross av at ammonium er en viktig kilde til nitrogen kan de fleste planter få tegn på skade hvis ammonium er den eneste nitrogenkilden. Dette gjelder særlig tomat ved lav pH i vekstmediet (Magalhaes & Huber 1989). Det skal imidlertid være svært høye konsentrasjoner av ammonium for å forårsake direkte skade (Aasen 1997). Høye nivåer av ammonium kan også hemme opptak av andre viktige næringsstoffer, særlig kalium, men også magnesium og kalsium (Havlin et al. 2005). pH i rotsonen synker med opptak av  $\text{NH}_4$ , og forskjeller på opp mot 2 pH-enheter har blitt observert ved  $\text{NH}_4$ -opptak sammenlignet med  $\text{NO}_3$ -opptak (Havlin et al. 2005). Normal konsentrasjon av N i planter er 1,5% av tørrstoffet (Raven et al. 2005), men dette vil variere mellom planteslag. Aasen (1997) oppgir en konsentrasjon på 4,0-5,5% N i det øverste fullt utviklede bladet hos tomat som normalt. De første mangelsymptomene på N er klorose på eldre blader. Deretter får planten svak vekst, tynne stengler og et lite forgreinet rotsystem (Aasen 1997).

*Fosfor (P)*. Normal konsentrasjon av P i planter er 0,2% av tørrstoffet (Raven et al. 2005; Salisbury & Ross 1992), men kan variere fra 0,1 til 0,5% (Havlin et al. 2005). Mangel fører til nedsatt vekst og et lavt topp/rot-forhold (Aasen 1997; Havlin et al. 2005).

*Kalium (K)*. Normal konsentrasjon av K i planter er 1,0% av tørrstoffet (Raven et al. 2005). Mangel gir nedsatt vekst, mens overskudd kan hemme opptaket av andre stoff som kalsium og magnesium. Direkte skader av for høyt kaliumopptak er ikke kjent (Aasen 1997).

*Svovel (S), magnesium (Mg) og kalsium (Ca)*. Normal konsentrasjon av S, Mg og Ca i planten er hhv. 0,1%, 0,2% og 0,5% av tørrstoffet (Raven et al. 2005). Mangel fører til hemmet vekst (Havlin et al. 2005). Mangel på S gir i tillegg tydelig klorose. Magnesium-mangel ses som klorose mellom bladnervene (Aasen 1997), mens Ca-mangel kan gi forstyrrelse av mekanismer for næringsopptak (Havlin et al. 2005).

**Tabell 1** Konsentrasjon av sporstoffer som kan gi mangel og toksisitet. Stoffene hvor det ikke er angitt en grense for mangel, er ikke plantenæringsstoff. Tabellens innhold er sammenstilt etter Aasen (1997), Raven et al. (2005) og McBride (1994).

Konsentrasjon ( $\mu\text{g/g TS}$ )					
	Mangel (Aasen 1997)	Normal (Raven et al. 2005)	Toksisitet (McBride 1994)	Høyest tilgjengelighet ved (Aasen 1997)	Symptomer på mangel/toksisitet (Aasen 1997)
Al			50-200	Lav pH. Toksisitet mulig ved $\text{pH} < 5,5$	Nedsatt rotvekst. Salat er sensitiv.
As			5-20	Høy pH, anaerobe forhold	
B	<15-30 i overjordiske plantedeler <sup>2</sup>	20	50-200	Lav pH	
Ba			500		
Cd			5-30	Lav pH	Sterk veksthemning. Salat er sensitiv
Co			15-20	Lav pH	
Cr			5-30	Høy pH	
Cu	<2 i overjordiske plantedeler	6	20-100	pH 5-6	Toksiske konsentrasjoner hemmer spiring av frø
Fe		100	>1000		
Hg			1-3		
Mn	<15-25 i bladene	50	300-500	$\text{pH} < 5,5$ , lite oksygen	
Mo	<0,3	0,1	10-50	Høy pH,	Få symptomer på toksisitet
Ni			10-100	Lav pH	Skade på røtter
Pb			30-300		
Zn	<20 i fullt utvikste blader	20	100-400 200-500		

### **Modenhet og stabilitet**

For å kunne bruke organisk materiale som biorest og kompost som vekstmedium er det viktig at materialet er modent og stabilt (Wichuk & McCartney 2010). Begrepene «modenhet» og «stabilitet» benyttes som oftest om kompost, men vil her også bli benyttet for å beskrive biorestene. Stabilitet viser til en høy grad av nedbrytning, slik at materialet viser motstand mot videre nedbrytning (Sullivan & Miller 2001; Wichuk & McCartney 2010). Materialets modenhet er knyttet til dets potensiale for plantevekst. Et modent materiale har et godt

potensiale for plantevekst og er uten fytotoksiske forbindelser eller patogener (Bernal et al. 1998; Wichuk & McCartney 2010). Med økende modenhet synker saltinnholdet og pH, og potensialet for plantevekst øker dramatisk (ASCP 2001).

Bruk av en umoden og ustabil kompost som vekstmedium kan forårsake en rekke problemer. I en umoden kompost vil de mikrobielle nedbrytningsprosessen som regel fortsette (Mathur et al. 1993) gjennom plantenes vekstperiode. Nedbrytningen kan føre til anaerobe forhold, hvilket ofte fører til luktproblemer og/eller utvikling av toksiske forbindelser (Brinton 2000) som hydrogensulfid og nitritt (ASCP 2001; Mathur et al. 1993). Under nedbrytningen dannes det kortkjedete alifatiske syrer som eddiksyre og ulike fenoler, som kan ha en fytotoksisk effekt og dermed hemme spiring, rotforming og gi redusert avling (Butler et al. 2001; Mathur et al. 1993). Den umodne og ustabile komposten inneholder, eller danner, som regel også ammoniakk (Mathur et al. 1993) som kan være skadelig for planter (Vandereerden 1982). Ammoniakk kan utgjøre et problem når pH i komposten er høyere enn 7,5-8,0 (Sullivan & Miller 2001) og ammoniumkonsentrasjoner høyere enn 0,1 g / 100 g (Barker 1997).

### ***Forskrift om gjødselvarer av organisk opphav***

Forskriften om gjødselvarer mv. av organisk opphav (Gjødselvarerforskriften 2003) stiller krav til kvaliteten på gjødselvarer basert på organisk materiale. Gjødselvarer av organisk opphav inkluderer husdyrgjødsel, kompostprodukter, organiske og uorganiske dyrkingsmedier, anaerobt omsatt biomasse med mer. Altså er alle materialer og vekstmedier i oppgaven omfattet av forskriften. Et utvalg krav som er spesielt relevante for denne oppgaven er:

- a. Maksimumsgrenser for innhold av bestemte spormetaller (Tabell 2)
- b. Råvarer som inngår i produkter i kvalitetsklassene 0, I og II må ikke overskride innholdet av spormetaller i klasse II.
- c. Produktet skal være godt egnet til dyrkning av planter og må ikke ha veksthemmende effekt.
- d. Produktene må være stabilisert slik at de ikke forårsaker luktulempen eller andre problemer ved bruk.

**Tabell 2** Maksimumsgrenser for tillatt innhold av spormetaller, angitt i mg/kg TS  
(Gjødselvereforskriften 2003)

Kvalitetsklasser	0	I	II	III
			mg/kg TS	
Kadmium (Cd)	0,4	0,8	2	5
Bly (Pb)	40	60	80	200
Kvikksølv (Hg)	0,2	0,6	3	5
Nikkel (Ni)	20	30	50	80
Sink (Zn)	150	400	800	1500
Kobber (Cu)	50	150	650	1000
Krom (Cr)	50	60	100	150

### 1.3 Organisk avfall – forventninger til hvordan avfallet vil fungere som vekstmedium

Samtidig som torv ønskes utfaset, er det et økende fokus på gjenvinning av organisk avfall i Norge. Fra 2009 er det forbud mot deponering av biologisk nedbrytbart avfall (Avfall Norge 2017b), og et økende antall komposterings- og biogassanlegg både i Norge (Avfall Norge 2017a) og Europa (Grigatti et al. 2011) er etablert. Kompost og biorest, den delen av avfallet som ikke omdannes til biogass, kan begge være verdifulle som jordforbedringsmiddel og gjødsel (Avfall Norge 2017a; Mathur et al. 1993; Schnürer & Jarvis 2010).

Det er gjort mange forsøk på å lage torvfrie vekstmedier eller vekstmedier der andelen torv er redusert. Kokosfiber har hatt stor kommersiell suksess som torverstatning, og kan fungere like godt som torvbaserte vekstmedier (Meerow 1994). Forskjellige typer kompost kan erstatte deler av torven i et vekstmedium. For eksempel kan kompost basert på matavfall (Farrell & Jones 2010; Hicklenton et al. 2001) og bryggeavfall (gjær og malt) (Garcia-Gomez et al. 2002) erstatte opp til 75% av torven i vekstmedier til hhv. solsikke, vintermispel og ringblomst. En utfordring med bruk av komposter er imidlertid at det ofte er en høy pH og et høyt næringsinnhold, hvilket gjør at den som regel må blandes ut med f.eks. torv for å egne seg som vekstmedium (Schmilewski 2008). Som en følge av at gartnerbransjen har opparbeidet seg en større kunnskap om kompostering, har andelen torv gradvis sunket i sekker med hagejord i Norge (Pers kom. Tollersrud 2017).

Mens kompost i hovedsak er aerobt nedbrutt (Ryckeboer et al. 2003), er biorest brutt ned anaerobt (ASCP 2001). Bioresten vil da, uten ettermodning, inneholde betydelig høyere

nivåer av ammonium enn en kompost (ASCP 2001) og nesten ikke noe nitrat. Bioresten består som oftest av en blanding med delvis nedbrutt organiske materiale, mikrobiell biomasse og uorganiske forbindelser (Alburquerque et al. 2012b). Hvis bioresten er av god kvalitet, kan den brukes som gjødsel. Biorestens kvalitet påvirkes av mange faktorer, men spesielt av typen substrat, forbehandling, og forhold (temperatur, oppholdstid etc.) gjennom nedbrytning, etterbehandling og lagring (Schnürer & Jarvis 2010). Oppholdstiden i bioreaktoren kan noen ganger være for kort, slik at ikke alle lett nedbrytbare organiske forbindelser brytes ned. Dette skjer spesielt hvis det er fokus på effektiv energiproduksjon (biogass), fremfor produksjon av en biorest av høy kvalitet (Alburquerque et al. 2012a; Alburquerque et al. 2012b). Ettersom biorestens fytotoksisitet synker når mengden lett nedbrytbare forbindelser går ned (Abdullahi et al. 2008), vil det, på samme måte som for en kompost, være en fordel å la bioresten brytes ned til et stabilt produkt. Stabiliteten er i stor grad styrt av råmaterialet og tiden på nedbrytningsprosessen (Alburquerque et al. 2012a).

Biorest er svært våt, og enkelte anlegg separerer bioresten i en våt og en fast (tørrere) fraksjon (Schnürer & Jarvis 2010). Med *biorest* vises det heretter kun til den faste fraksjonen, ettersom det kun er denne som er benyttet i oppgaven. Biorestens konsistens varierer, men kan ligne på konsistensen til en kompost basert på f.eks. matavfall.

En hovedutfordring ved bruk av alternative vekstmedier er de fysiske egenskapene. De fleste materialer som brukes som vekstmedier er valgt ut enten på grunn av deres gode luftveksling eller gode vannretensjon. Få andre materialer enn torv innehar begge disse egenskapene (Michel 2010; Schmilewski 2008).

## 1.4 Oppgavens formål

Et overordnet mål er å kunne bruke organisk avfall som erstatning for torv i vekstmedier og dermed kunne bidra til en utfasing av torv. Dette vil gi en effektiv håndtering av organisk avfall, sikre økt resirkulering av næring som allerede er inne i næringskjeden, og samtidig bidra til regulering av globalt klima og bevaring av naturmangfold.

I denne oppgaven er seks ulike organiske avfallsmaterialer undersøkt. Disse materialene ble blandet til åtte ulike vekstmedier. Vekstmedienes kvalitet er vurdert ved å studere tilveksten av salat og tomat i et vekstforsøk. Forklaringer på god eller dårlig tilvekst er søkt funnet i kjemiske og fysiske egenskaper hos avfallsmaterialene og vekstmediene, samt på grunnlag av resultater fra et spireforsøk hvor materialenes fytotoksiske virkning er undersøkt. Torv er benyttet som kontroll i vekstforsøket.

Spørsmål som spesielt ønskes besvart er:

1. Er det mulig å sette sammen et vekstmedium som med hensyn på fysiske egenskaper ligner torv og dermed er like godt egnet til plantedyrking som torv?
2. Kan Papirslam fungere like godt som strukturmateriale i et vekstmedium som Kokosfiber?
3. Fungerer de næringsrike, organiske avfallsmaterialene forskjellig fra hverandre med hensyn på gjødselvirkning i vekstmedier?

## 2 Materialer og metode

### 2.1 Materialer

#### ***Biorest fra Romerike Biogassanlegg (RBA)***

Romerike Biogassanlegg (RBA) er Oslo kommunes anlegg for behandling av matavfall.

Avfallet brytes ned anaerobt til metan som brukes som drivstoff. Anlegget behandler avfall fra noen kommuner på Romerike i tillegg til avfallet fra Oslo kommune. Som forbehandling renses avfallet for plast, metall og andre fremmedlegemer, før det tilsettes vann for å få et flytende substrat. Substratet gjennomgår så termisk hydrolyse ved 148°C og et trykk på 3,5 barg (Pers kom. Govasmark 2016; Lalonde systhermique). Under hydrolysen sprenges celleveggene i det organiske avfallet slik at en høyere andel av karbonet i matavfallet blir tilgjengelig for omdanning til karbondioksid (CO<sub>2</sub> (g)) og metangass (CH<sub>4</sub> (g)).

Oppholdstiden i bioreaktoren er på 32 dager når anlegget kjører på 60% av full kapasitet, som er kapasiteten anlegget vanligvis kjøres på (Pers kom. Govasmark 2016). Bioresten komposteres i dag sammen med hageavfall i et blandingsforhold på om lag 40% biorest og 60% hageavfall. Temperaturen i rankene stiger raskt, og er etter kort tid oppe i mellom 50 og 80 grader (Pers kom. Moen 2017).

#### ***Biorest fra Hadeland og Ringerike Avfallsselskap (HRA)***

Hadeland og Ringerike avfallsselskap (HRA) sitt biogassanlegg bruker, i likhet med RBA, matavfall som substrat. Prosessen skiller seg imidlertid fra prosessen ved RBA på flere områder. Hos HRA holdes en termofil temperatur på 52-53°C i bioreaktoren, og substratet går ikke gjennom termisk hydrolyse. Oppholdstiden i reaktoren er på ca. 14 dager. Tidligere har HRA forsøkt å kompostere bioresten med hageavfall som strukturmateriale. Temperaturen steg imidlertid ikke i komposteringsprosessen, og det ble da konkludert med at det ikke var nok energi i bioresten til at den kunne komposteres (Pers kom. Reistad 2016).

#### ***Papirslam fra FollaCell AS (Papirslam)***

Ved FollaCell AS i Follafoss produseres kjemotermisk, mekanisk papirmasse (oversatt fra engelsk: ChemoThermicMecanicPulp) av treflis, som videre brukes i produksjon av papp og andre papirprodukter. Prosessen inkluderer blant annet vasking med sulfitt, oppvarming til 120°C, mekanisk raffinering, samt bleking med lut, peroksid og natriumsilikat. Underveis vaskes massen flere ganger. Vaskevannet sendes til et renseanlegg som gjennomfører sedimentasjon og biologisk rensing. Slammet fra vaskevannet presses gjennom en slampresse for å få ut vann, og det er dette papirslammet som brukes i forsøkene. Vanligvis forbrennes

slammet på fabrikken for å senke det eksterne energibehovet og håndtere avfallet (Pers kom. Selen 2016).

#### ***Varmkompostert fiber separert fra bløtgjødsel fra storfe (Kufiber)***

De varmkomposterte fibre stammer fra gården til Knut Vasdal i Skien. Han har bygget et lite biogassanlegg på gården for å kunne håndtere og utnytte bløtgjødsel fra storfe. I anlegget er første trinn å separere ut fiberfraksjonen fra bløtgjødsel ved å bruke en skrueseparator. Separatoren har silåpninger på én millimeter. Fibrene som ikke passerer silen varmkomposteres ved en temperatur på opp mot 50°C i tre uker. For å hindre omdanning av ammonium til ammoniakk legges et lag silo på fibre til temperaturen går ned. På den måten beholdes mer av nitrogenet i komposten (Pers kom. Vasdal 2016).

#### ***Markkompostert biorest basert på bløtgjødsel fra storfe (Markkompost)***

Fra biogassanlegget på gården til Knut Vasdal i Skien kommer også den markkomposterte bioresten. Den flytende fraksjonen som passerer skrueseparatoren brytes ned i en anaerob bioreaktor hvor det produseres CH<sub>4</sub> (g) og CO<sub>2</sub> (g). Reaktoren holder en temperatur på 35°C, og oppholdstiden er på 7-8 dager. Substratet går videre inn i en nitrifiseringsreaktor hvor massen kontinuerlig røres om og luft pumpes inn (Pers kom. Vasdal 2016). Oksygenet gjør at ammoniumet nitrifiseres til nitrat, og faren for tap av ammoniakk fra bioresten reduseres (Havlin et al. 2005). Metanutslipp fra bioresten reduseres også ettersom metanproduserende mikroorganismer er svært sensitive for oksygen (Schnürer & Jarvis 2010). Siste trinn er filtrering av gjødsel, hvor vannet brukes som overgjødning på gården, mens den faste delen markkomposteres i 40 dager (Pers kom. Vasdal 2016). Det er denne markkomposterte delen som benyttes i oppgaven.

#### ***Kokosfiber (Kokosfiber)***

Kokosnøttens skall består av fibre, som prosesseres for å trekke ut de lengste fiberne til bruk i industrien. Fibre av kort og medium lengde er avfall fra denne prosessen, og det er disse som brukes som vekstmedium i planteproduksjon (Noguera et al. 2003). Fiberne benyttet i oppgaven stammer fra India, og er importert av Jiffy Products International As (Pers kom. Brandager 2016). Kokosfiber er allerede anerkjent som en erstatning for torv og selges kommersielt som vekstmedium.



## 2.2 Måling av fysiske egenskaper

Analyser av fysiske egenskaper ble utført i to omganger. Først på materialene og så på vekstmediene. Det ble tatt prøver av vekstmediene både før vekstforsøket, dvs. av ubrukte vekstmedier, og etter vekstforsøket. Etter vekstforsøket ble prøvene tatt av pottene hvor det hadde vært dyrket salat. I tillegg til vannlagringsevne, porestørrelsesfordeling og luftinnhold ble også luftpermeabilitet målt. Etter metoden beskrevet av Børresen (2011) måles luftpermeabilitet og luftinnhold ved -100 hPa. Det oppsto imidlertid problemer ved at materialene krympet når trykket ble satt på, slik at målingene av luftpermeabilitet ikke ble gode. Derfor ble målingene av luftpermeabilitet og luftinnhold utført ved -20 hPa da prøvene av vekstmedier skulle analyseres. Problemet ble imidlertid ikke løst, og målingene av luftpermeabilitet blir ikke diskutert nærmere i denne oppgaven.

### ***Vannlagringsevne og porestørrelsesfordeling***

Vannlagringsevne ble bestemt ved å bruke en pF-analyse, som beskrevet av Børresen (2011). Vanninnholdet ved fem matrikspotensialer ble bestemt. pF1,3 (-20 hPa) og pF1,7 (-50 hPa) ble målt ved bruk av sandboks av merket Eijkelkamp, etter metoden beskrevet av Eijkelkamp (2007). pF2 (-100 hPa) og pF3 (-1000 hPa) ble bestemt ved bruk av trykkammer og keramiske plater av merket Soil Moisture Equipment Co. Etter veiing ved -1000 hPa, ble disse prøvene satt i et tørkekammer ved 105°C i tre døgn. Keramiske plater og trykkbeholdere ble benyttet for å bestemme visnegrense (pF4,2 – 15 000 hPa), men da på prøver som ikke hadde vært tørket. Vanligvis vil man bruke de samme prøvene til hele analysen ved å sikte prøvene etter tørking og så fukte de opp igjen (Børresen 2011). Oppfuktning av organisk materiale er vanskelig, og derfor ble ferskt materiale benyttet. Etter at prøvene hadde vært i trykkammeret, ble de tørket ved 105°C. Måling av vannlagringsevne og porestørrelsesfordeling ble utført likt for materialer og vekstmedier.

### ***Luftinnhold***

Et luftpyknometer ble benyttet for å bestemme luftvolumet etter metoden beskrevet av Børresen (2011). Pyknometeret måler luftrykk i prøven, og luftvolum kan da beregnes med hjelp av en kalibreringskurve basert på sylindere med kjent volum.

Kalibreringskurvene for materialer og for vekstmedier er gitt ved ligning 1 og 2.

$$1) \quad \text{Luftvolum ved 100 hPa [vol\%]} \quad 0,00066 * (\text{Trykk})^2 - 0,895 * \text{Trykk} + 297,83$$

$$2) \quad \text{Luftvolum ved 20 hPa [vol\%]} \quad 0,007 * (\text{Trykk})^2 - 0,921 * \text{Trykk} + 301,5$$

I ligningene er det trykket som er den ukjente, og det er dette som leses av på lufttryknometeret for hver enkelt prøve. Annengradsligninger er benyttet ettersom de gav en høyere forklaringsverdi ( $R^2$ ) enn lineære ligninger.

### ***Beregninger***

Beregningene nedenfor (ligning 3 til 8) er basert på pF-målinger og målinger av prøvenes luftvolum. Forutsetninger for beregningene er at sylinderen (prøvevolumet) er på 100 cm<sup>3</sup>, og at vannets tetthet er 1 g/cm<sup>3</sup>. Da tilsvarer 1 g vann 1 vol% vann. Vanligvis regnes porevolumet som er luftfylt ved pF2 som drenerbart eller luftfylt. pF2 tilsvarer imidlertid et sug på 100 cm, hvilket vil si at vannet i gjennomsnitt kan drenere fritt i en meter. I en potte som er ca. 30 cm høy, vil gjennomsnittlig drenering/sug være på 15 cm. pF1,2 tilsvarer et sug på 20 cm, og er den grensen som ligger nærmest suget i potta. Derfor regnes luftfylt porevolum ved pF1,2 som drenerbart porevolum i denne oppgaven.

$$3) \quad \text{Jordtetthet [g/cm}^3] \quad \text{Tørrvekt [g] / Sylindervolum [100 cm}^3]$$

$$4) \quad \text{Vannvolum ved gitt pF} \quad \text{Vekt ved gitt pF [g] - Tørrvekt [g]}$$

$$5) \quad \text{Porevolum [vol\%]} \quad \text{Luftvol. ved pF1,2 el. 2 + Vannvolum ved tilsvarende pF}$$

$$6) \quad \text{Fast materiale [vol\%]} \quad 100\% - \text{Porevolum [vol\%]}$$

$$7) \quad \text{Vanninnhold ved pF4,2 [vekt\%]} \quad \frac{100 * (\text{Vekt ved pF4,2 [g]} - \text{Tørrvekt [g]})}{\text{Tørrvekt [g]} - \text{Eskens vekt [g]}}$$

$$8) \quad \text{Vanninnhold ved pF4,2 [vol\%]} \quad \text{Vanninnhold ved pF4,2 [vekt\%]} * \text{Tetthet [g/cm}^3]$$

## 2.3 Måling av kjemisk innhold

### ***Måling av kjemisk innhold i materialene***

Prøver på én liter av hvert materiale ble sendt til laboratoriet Eurofins Environmental Testing Norway AS i Moss. Laboratoriet utførte de kjemiske analysene brukt i oppgaven. For oversikt over metodene, se Vedlegg I.

### ***Måling av konsentrasjon av stoffer i plantemateriale fra vekstforsøk***

Tørrstoffinnhold (TS) i plantene ble bestemt, samt innhold av karbon, hydrogen og nitrogen (CHN) og totalinnhold av en rekke grunnstoff. Analysene ble utført på malt prøve fra plantemateriale fra vekstforsøket. Plantene ble malt i en Cultatti-kvern, hvor rot og topp fra samme plante ble slått sammen til én prøve. Analysene ble utført ved laboratoriet til NIBIO.

CHN ble analysert etter metoden KAN20000 (NISK 2000). 0,5 mg plantepulver ble veid inn i tinnfolie. Folien ble lukket og presset sammen før prøvene ble satt inn i instrumentet, en Elementar Vario EL med TCD-detektor. Prøvene ble forbrent ved 950°C.

Totalinnhold av grunnstoff ble analysert ved bruk av Inductively Coupled Plasma – Atomic Emmission Spectroscopy (ICP-AES), etter metoden ICP21100 (NISK 2000). Instrumentet er fra Thermo Scientific, i serien iCAP 6000. Før ICP-analysen ble prøvene dekomponert.

0,1±0,001 g plantemateriale ble blandet med 2 ml 65% HNO<sub>3</sub>. Blandingen ble så dekomponert i en mikrobølgeovn av typen Milestone Ultrawave Digester Single Reactor Chamber. Trykket i ovnen var 41 bar, og prøvene ble i løpet av 20 minutter varmet opp til 240°C. Denne temperaturen ble holdt i 10 minutter. Når prøvene var avkjølte ble de blandet med 10 ml milli-q®-vann. Etersom kaliumnivået i plantene var utenfor instrumentets kalibreringsområde, ble prøvene fortynnet 1:10 med en standardløsning.

TS ble bestemt for å kunne presentere resultatene fra CHN- og ICP-analysene som mg/100 g TS. Mellom 0,5 og 3 gram malt planteprøve ble tørket ved 105°C i ett døgn, etter metoden NS 4764 (NISK 2000). Prøvene stod i vakuumsikator til tørrvekten ble veid.

## 2.4 Spireforsøk

Salat (*Lactuca sativa* L.) og tomat (*Solanum lycopersicum* L.) ble sådd direkte i materialene som er beskrevet i kapittel 2.1. Det var tre gjentak for hvert materiale og hver planteart, totalt  $6 \times 3 \times 2 = 36$  potter. Det ble sådd 15 frø i hver potte, jevnt fordelt. Det ble brukt 3,5 L store potter. Ved såing ble 2 dl materiale fjernet fra potten, overflaten av materialet ble jevnet ut, frøene ble lagt på, og de 2 dl materiale ble lagt tilbake i potten. Pottene ble satt randomisert. Frem til spiring stod pottene med et lokk løst liggende oppå, for å forhindre uttørking ved fordampning. Hver dag i totalt 21 dager ble antallet frø som hadde spirt telt opp.

## 2.5 Vekstforsøk

Salaten Amerikanske roodrand (*Lactuca sativa* L.) og tomatsorten Tiny tim (*Solanum lycopersicum* L.) ble dyrket i åtte forskjellige vekstmedier basert på materialene beskrevet i 2.1. Veksttorv av merket Floralux Naturtorv ble brukt som kontroll. Alle blandinger inkludert torv ble gjødslet med hvert enkelt næringsstoff slik at næringsinnholdet i hvert vekstmedium var like høyt som anbefalt av Aasen og Johansen (2015). Vekstmediene ble også kalket til pH 6,0. Etter i overkant av to måneder ble plantene høstet og topp og rot veid (friskvekt). Etter tørking ble topp og rot veid igjen (tørrvekt).

### **Bestemmelse av blandinger**

Særlig tre forhold var viktige i bestemmelsen av blandinger: god struktur, passende pH og et balansert innhold av næringsstoffer og spormetaller. Komposten og biorestene karakteriseres av å være næringsrike, ha høy pH, kompakt struktur og til dels noe høyt innhold av toksiske metaller som Cd og Al. Papirslam og Kokosfiber karakteriseres derimot ved et lavt næringsinnhold, lav pH og en luftig struktur. Sistnevnte gjelder særlig Kokosfiberet. Utgangspunktet ble derfor å lage blandinger med forskjellige kombinasjoner av næring og struktur. Kompost eller biorest fungerer som organisk gjødsel, mens Papirslam og Kokosfiber fungerer som strukturmateriale. Tabell 3 viser en oversikt over vekstmediene.

### **Bestemmelse av gjødselnivå**

Det er utarbeidet en gjødselnorm for enkelte vekstforsøk ved NMBU, beregnet på samme veksttorv som er brukt i dette forsøket (Aasen & Johansen 2015). Kontrollen (torv) og blandingen med kun Papirslam ble gjødslet etter anbefalt norm, mens blandingenes gjødseltilførsel ble justert ned ut ifra blandingenes eget innhold av de enkelte

plantenæringsstoffer. Konsentrasjoner av plantenæringsstoff ble målt i enkeltmaterialene (se kapittel 2.3), og regnet om til næringsinnhold i en potte med en bestemt blanding. Pottene var på 3,5 liter, og ble fylt opp med vekstmedium til 3 liter. Beregningene ble gjort for P, K, Ca og Mg målt med AL-metoden, og innhold av nitrat og ammonium, samt for Cu, Zn, B, Fe og Mn. Det ble ikke tatt hensyn til bufferkapasitet i beregningene. Ligningene 9 til 12 gir et eksempel på utregning for laktatløselig P (P-AL) i en blanding av 80% Papirslam og 20% biorest fra RBA.

**Tabell 3** Oversikt over blandingene av organiske materialer brukt i vekstforsøket, og forkortelser brukt for blandingene. Blandingene er laget på volumbasis.

Blanding (Vekstmedium)	Forkortelse
Torv (kontroll)	Torv
Papirslam	P
20% RBA + 80% Papirslam	RP
20% HRA + 80% Papirslam	HP
50% Markkompost + 50% Papirslam	MP
20% RBA + 80% Kokosfiber	RK
20% HRA + 80% Kokosfiber	HK
50% Markkompost + 50% Kokosfiber	MK
50% Kufiber + 50% Papirslam	KuP

$$9) \quad \text{Fosfor i 3 L biorest fra RBA} \quad \frac{0,98 \text{ g P}}{100 \text{ g TS}} \times \frac{0,18 \text{ g TS}}{\text{mL jord}} \times \frac{3000 \text{ mL}}{3\text{L}} = \frac{5,16 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}}$$

$$10) \quad \text{Fosfor i 3 L Papirslam} \quad \frac{0,041 \text{ g P}}{100 \text{ g TS}} \times \frac{0,13 \text{ g TS}}{\text{mL jord}} \times \frac{3000 \text{ mL}}{3\text{L}} = \frac{0,16 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}}$$

$$11) \quad \text{Fosfor i 3 L av 20\% RBA og 80\% Pap.} \quad \frac{5,16 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}} \times 0,2 + \frac{0,16 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}} \times 0,8 = \frac{1,16 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}}$$

$$12) \quad \text{Gjødslingsbehov} \quad \frac{0,075 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}} - \frac{1,16 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}} = \frac{-1,09 \text{ g P}}{3 \text{ L jord}}$$

Beregningen viser at denne blandingen ikke trenger gjødsling med fosfor. Det er mer fosfor i blandingen enn det gjødslingsnormen anbefaler.

### **Bestemmelse av kalknivå**

For å beregne mengden kalk som må tilføres, ble det tatt utgangspunkt i Yaras gjødselhåndbok (2014). Anbefalt kalking pr. daa myrjord for å øke pH med 0,1 enheter, er 40 kg CaO for lite omdannet torv og 90 kg CaO for godt omdannet torv. Materialene brukt i vekstforsøket er generelt lite omdannet, og anbefalingen på 40 kg/daa brukes. Anbefalingen ble regnet om fra kg CaO/daa til CaO/potte. Det regnes at kalkingen påvirker de øverste 20 cm på et jorde. Utregningene her (ligning 13 til 19) viser mengden kalk som må tilføres for å oppnå en økning i pH på 0,1 enheter i en potte med 3 L vekstmedium.

$$13) \quad \frac{40 \text{ kg CaO}}{0,2\text{m} \times 1000\text{m}^2} \times \frac{200 \text{ m}^3}{200.000 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{3\text{L}}{\text{potte}} = \frac{0,6 \text{ g CaO}}{\text{potte}}$$

Videre regnes kalkingen om fra CaO til CaCO<sub>3</sub> ettersom sistnevnte er kalkingsmiddelet tilgjengelig.

$$14) \quad \text{Molar masse CaCO}_3 \\ 40,08 \text{ [g Ca/mol]} + 12,01 \text{ [g C/mol]} + 3 * 16,00 \text{ [g O/mol]} = 100,9 \text{ [g CaCO}_3 \text{ /mol]}$$

$$15) \quad \text{Molar masse CaO} \\ 40,08 \text{ [g Ca /mol]} + 16,00 \text{ [g O /mol]} = 56,08 \text{ [g CaO /mol]}$$

$$16) \quad \text{Kalkingsbehov med CaCO}_3 \text{ for å øke pH med 0,1 enheter i en potte på 3 L} \\ 0,6 \text{ [g CaO]} * 100,09 \text{ [g CaCO}_3 \text{ / mol]} / 56,08 \text{ [g CaO /mol]} = 1,07 \text{ g CaCO}_3$$

pH i blandingene ble ikke målt direkte, men ble regnet om fra pH i de materialene den er satt sammen av. Utregningen går via konsentrasjonen av H<sup>+</sup> i materialene ettersom pH følger en logaritmisk skala. Alle vekstmediene (blandingene) ble kalket til de hadde pH 6,0.

Eksempelet under (ligning 17-19) viser utregning for blandingen med 20% RBA og 80% Papirslam.

$$17) \quad [\text{H}^+] \text{ i blanding} \quad 10^{-8,4} * 0,2 + 10^{-5,4} * 0,8 = 3,19 * 10^{-6}$$

$$18) \quad \text{pH i blanding} \quad -\log(3,19 * 10^{-6}) = 5,5$$

$$19) \quad \text{Kalkingsbehov} \quad (6,0-5,5) * 10 * 1,07 \text{ [g CaCO}_3 \text{ / potte]} = 5,35 \text{ [g CaCO}_3 \text{ / potte]}$$

### ***Gjennomføring av vekstforsøk***

Det ble brukt tette pottes med et volum på 3,5 liter. I hver potte ble det fylt 3 liter vekstmedium. Basert på volum ble materialer blandet sammen til en homogen masse, etter blandingsforholdene i tabell 3. Pottene ble plassert fritt randomisert, og det ble brukt tre gjentak. I hver potte ble det sådd 15 frø. Ved såing ble 2 dl vekstmedium tatt ut av potta, frøene ble lagt i, og vekstmediet ble lagt tilbake over frøene. Da det var klart hvilke spirer som vokste best, ble spirene tynnet slik at de tre med best vekst sto igjen i hver potte. Kort tid etter første tynning ble de to svakeste av de tre fjernet. Tidspunktet for tynning var avhengig av hvor raskt spirene vokste til, og var derfor ulikt i de forskjellige pottene. Det ble vannet med destillert vann minst hver andre dag. Daglig hvis plantene tok opp mer enn 3 dl per dag. Temperaturen i vekstrommet var ca. 21°C, og lyset var på 7-8000 lux med 16 timer dag og 8 timer natt.

### ***Måling av biomasse***

Etter i overkant av to måneder ble plantene høstet. Plantenes topp ble klipt rett over vekstmediet. Røttene ble manuelt vasket rene for vekstmedium. Den ferske massen av rot og topp på hver plante ble veid på en Sartorius Extend ED22025-CW vekt med to desimaler. Rot og topp ble så tørket på 50-60°C før den tørre massen av rot og topp ble veid.

## 2.6 Statistisk metode

Statistiske analyser er alle utført på et 0,05% signifikansnivå, og med tre gjentak. Samtlige analyser er utført, og samtlige figurer er laget i R studio, versjon 3.3.2 (R Core Team 2015). Følgende metoder ble benyttet:

### ***Variansanalyse (ANOVA) og Tukey HSD***

Variansanalyse ble brukt for å bestemme signifikans i forskjeller i

- Tetthet og porestørrelsesfordeling mellom de organiske avfallsmaterialene
- Tetthet og porestørrelsesfordeling mellom vekstmediene
- Kjemisk innhold mellom salat og tomat dyrket i de ulike vekstmediene
- Biomassetilvekst i de ulike vekstmediene i vekstforsøket

Shapiro Wilks test og Levenes test ble brukt for å teste modellantagelsene om hhv. normalfordeling av residualer og homogen varians. Dataene ble transformert ved en box-cox test hvis de ikke overhold modellantagelsene knyttet til normalfordeling og varians. ANOVA ble ikke benyttet dersom dataene fremdeles ikke oppfylte modellantagelsene. Som Post Hoc test ble Tukey HSD benyttet. I valget mellom Tukey HSD og multippel t-test ble Tukey valgt fordi den er mer konservativ når det gjelder å finne signifikante forskjeller (Crawley 2007).

### ***Parvis t-test***

Parvis t-test ble benyttet for å bestemme signifikante forskjeller i vekstmedienes porestørrelsesfordeling, jordtetthet og materialtetthet før og etter vekstforsøket.

### ***Korrelasjonsanalyse***

Pearsons korrelasjonstest ble benyttet for å bestemme signifikante korrelasjoner mellom:

- Materialenes fysiske egenskaper og spireevne i materialene
- Materialenes kjemiske egenskaper og spireevne i materialene
- Vekstmedienes fysiske egenskaper og tilvekst av biomasse i vekstmediene
- Konsentrasjon av stoffer i plantematerialet og tilvekst av biomasse i vekstmediene



## 3 Resultater

### 3.1 Fysiske egenskaper

#### 3.1.1 Porestørrelsesfordeling og tetthet til organiske avfallsmaterialer

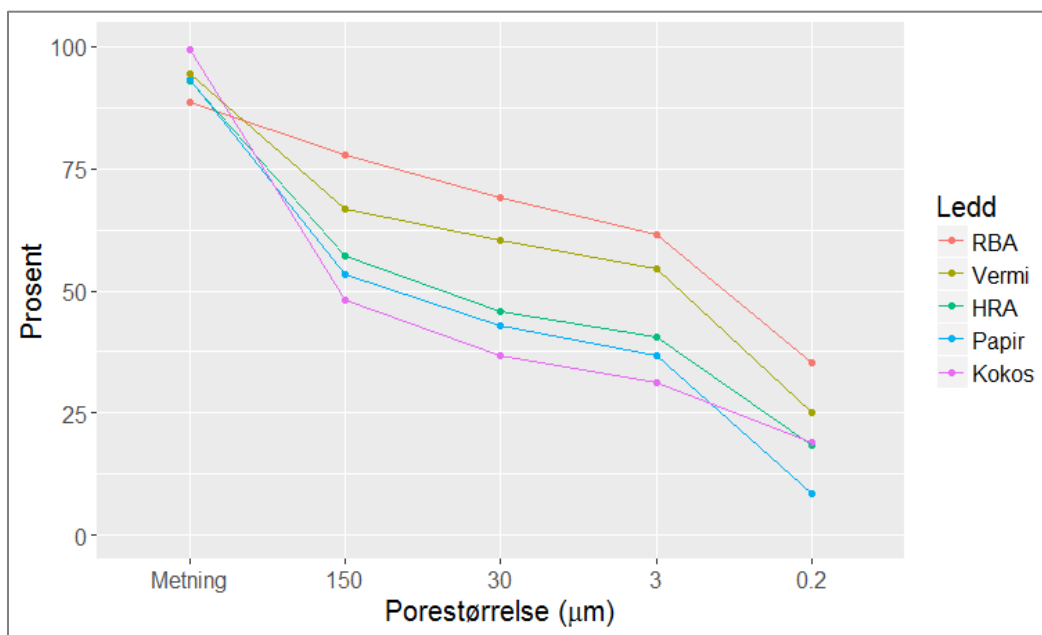
Analyser av de fysiske egenskapene til de organiske avfallsmaterialene ble utført før Kufiber var et aktuelt materiale. Kufiber er derfor ikke inkludert i resultatene i kapittel 3.1.1.

Materialenes porefordeling er vist i figur 1. Differansen mellom to porestørrelser, i prosent, viser hvor stor andel av porene som er i denne fraksjonen. Det er store forskjeller mellom de ulike materialene med hensyn på andelen porer større enn 150  $\mu\text{m}$ . Kokosfiber har den signifikant høyeste andelen porer større enn 150  $\mu\text{m}$ , med 51%. Deretter følger Papirslam med 39%, som er signifikant høyere enn andelen i RBA og Markk compost. HRA har 36% og Markk compost har 27%, begge signifikant høyere enn andelen hos RBA, som er på 11%. I fraksjonene 150-30  $\mu\text{m}$ , 30-3 og 3-0,2  $\mu\text{m}$  har materialene en nokså lik fordeling.

Markk compost har signifikant færre porer i fraksjonen 150-30  $\mu\text{m}$  enn Kokos, HRA og Papir.

RBA har en signifikant høyere andel porer mellom 30 og 3  $\mu\text{m}$  enn de øvrige materialene.

Kokosfiber har signifikant færre porer mellom 3 og 0,2  $\mu\text{m}$  enn de øvrige materialene. Utover dette er fordelingen av porer mellom 150 og 0,2  $\mu\text{m}$  ikke signifikant forskjellig mellom materialene.



**Figur 1** Porestørrelsesfordeling i de organiske avfallsmaterialene. Differansen i prosent mellom to punkter (kurvens helningsgrad) viser hvor stor prosentandel av porene som er mellom disse porestørrelsene.

Kokosfiber har den signifikant laveste tettheten ( $0,10 \text{ g/cm}^3$ ), HRA har en signifikant lavere tetthet ( $0,17 \text{ g/cm}^3$ ) enn RBA ( $0,18 \text{ g/cm}^3$ ). Tettheten i Papirslam og Markkompost er på hhv.  $0,14$  og  $0,12 \text{ g/cm}^3$ .

**Tabell 4** Tetthet i de organiske avfallsmaterialene. Tettheter som følger av den samme bokstaven er ikke signifikant forskjellige fra hverandre ifølge Tukey HSD.

	Tetthet ( $\text{g/cm}^3$ ) $\pm$ SD
RBA	$0,18 \pm 0,015$ a
HRA	$0,17 \pm 0,002$ b
Papirslam	$0,14 \pm 0,003$ ab
Markkompost	$0,12 \pm 0,004$ ab
Kokosfiber	$0,10 \pm 0,004$ c

### 3.1.2 Porestørrelsesfordeling og tetthet i vekstmediene

#### *Opprinnelig porestørrelsesfordeling og tetthet*

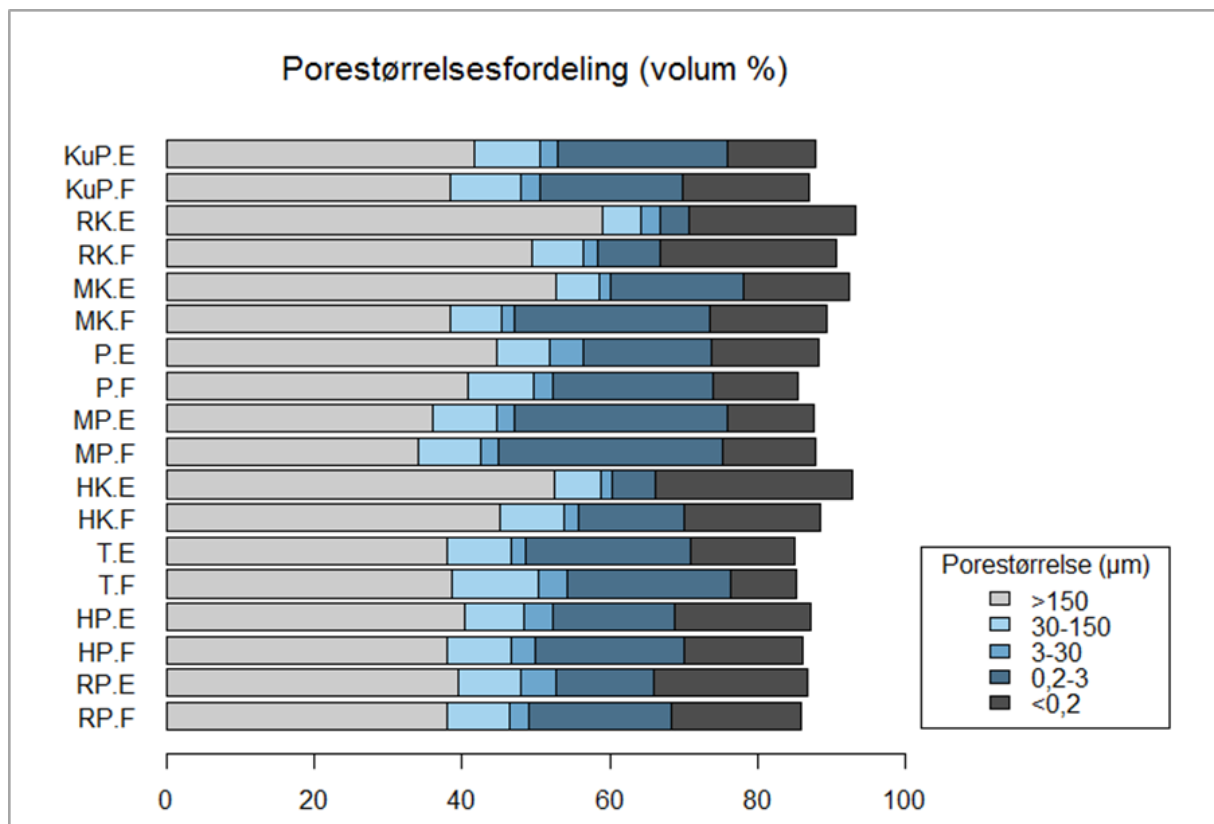
Porefordelingen i vekstmediene målt før og etter vekstforsøket er vist i Figur 2.

Torv skiller seg fra de andre vekstmediene ved en lav andel mikroporer (8,9%), signifikant lavere enn alle medier unntatt P og MP (se Tabell 3 for forklaring av forkortelser). RK har den høyeste andelen mikroporer, med 24%. I stedet har torv en høy andel porer i fraksjonene 30-150  $\mu\text{m}$  og 3-30  $\mu\text{m}$ . Dette er fraksjonene hvor vannet er lettest tilgjengelig for plantene og gir da generelt god tilgang på vann. Andelen er i begge fraksjonene signifikant høyere i torv enn i RK og MK, og i sistnevnte er det også høyere enn i MP og HK. Torv markerer seg imidlertid ikke som et medium med spesielt god tilgang til luft. Andelen luftfylte porer er 10 prosentpoeng høyere i RK (49%) enn i torv (39%).

Blant de øvrige vekstmediene er det få signifikante forskjeller i andel luftfylte porer og andel porer i de to fraksjonene med lettest tilgjengelig vann (30-150  $\mu\text{m}$  og 3-30  $\mu\text{m}$ ). RK har signifikant høyest andel (unntatt HK) luftfylte porer, og MP har en andel luftfylte porer som er signifikant lavere enn i RK og HK. For porestørrelsesfraksjonene 30-150  $\mu\text{m}$  og 3-30  $\mu\text{m}$  er det ingen signifikante forskjeller mellom de ulike vekstmediene, med unntak av torv. Blant fraksjonene mindre porer (0,2-3  $\mu\text{m}$  og  $<0,2 \mu\text{m}$ ) er det igjen større forskjeller mellom vekstmediene. I fraksjonen 0,2-3  $\mu\text{m}$  har RK 8,5%, mens MP kun har 30,5%. Volumandelen av porer mindre enn 0,2  $\mu\text{m}$  er lavest i torv (8,9%) og høyest i RK (24,0%). Tettheten i vekstmediene er vist i Tabell 5, og varierer fra 0,089 (HK) til  $0,131 \text{ g/cm}^3$  (HP).

### Endringer i porestørrelsesfordeling gjennom vekstforsøket

Før vekstforsøket ble startet opp var de største forskjellene i porestørrelsesfordeling knyttet til de minste porestørrelsesfraksjonene, mens det etter vekstforsøket var omvendt. Den eneste signifikante forskjellen knyttet til de to minste porestørrelsesfraksjonene er mellom MP og RK. MP har en høyere andel porer i fraksjonen 0,2-3 enn RK. MK fikk en signifikant lavere andel porer i denne porestørrelsesfraksjonen gjennom vekstforsøket, andelen endret seg fra 16% til 14,3%. Andelen drenerbare porer har økt signifikant gjennom forsøket i RK og MK. Etter forsøket var andelen drenerbare porer opp mot 55-60%. Vekstmediet HK har også en svært høy andel drenerbare porer, og det luftfylte porevolumet i RK, MK og HK er signifikant høyere enn i torv, RP, HP og MP. De fire sistnevnte mediene har omtrent like stor andel luftfylte porer (fra 36 til 40,4%). Papierslam kommer mellom disse med en andel luftfylte porer på 44,6%. Også for torv var det en signifikant nedgang i andelen luftfylte porer gjennom vekstforsøket. Andelen ble redusert fra 39% før vekstforsøket til 38% etter vekstforsøket. Porestørrelsesfordeling i vekstmediene før og etter vekstforsøket er vist i figur 2.



**Figur 2** Porestørrelsesfordeling i vekstmediene før og etter vekstforsøket. I radmarkørene viser bokstavene før punktum til vekstmediet. Etter punktum henviser F til før og E til etter vekstforsøket.

**Tabell 5** Gjennomsnittlig tetthet av vekstmediene før og etter vekstforsøket (n=3). Tettheter som følges av samme bokstav er ikke signifikant forskjellige fra hverandre ifølge Tukey HSD. Kolonnen markert med «Endring før dyrkning» viser til hvorvidt det har vært en signifikant endring i tetthet i vekstmediene fra før vekstforsøket til etter. Ns= ikke signifikant, p<0,05=signifikant.

	Før vekstforsøket		Etter vekstforsøket		Endring ved dyrkning
Torv	0,0931±0,014	c	0,147±0,0028	a	ns
P	0,124±0,0023	ab	0,118±0,0027	b	ns
RP	0,129±0,0017	a	0,121±0,0037	b	ns
HP	0,131±0,0054	a	0,134±0,0023	ab	ns
MP	0,111±0,0017	abc	0,0984±0,0049	c	ns
RK	0,0926±0,011	c	0,0668±0,0019	d	ns
HK	0,0889±0,00093	c	0,0784±0,0053	d	ns
MK	0,0920±0,0014	c	0,0729±0,0030	d	p<0,05
KuP	0,103±0,00081	bc	0,0981±0,0030	c	ns

Også etter vekstforsøket har torv en høy andel porer i størrelsesfraksjon 30-150 µm, like høy som MP. Både torv, RP, HP og MP har over 8% porer i denne fraksjonen. RK, HK og MK har kun 5-6% i denne porestørrelsesfraksjonen, signifikant lavere enn andelen i torv og MP. Volumandelen porer i denne fraksjonen har i torv sunket signifikant i løpet av vekstforsøket. Andelen porer mellom 3 og 30 µm varierer fra 1,7% (HK og MK) til 4,7% (RP). For RP er dette en signifikant økning i løpet av forsøket, fra 2,7% før vekstforsøket til 4,7% etter. Den eneste signifikante endringen i tetthet gjennom forsøket var i MK (Tabell 5), hvor tettheten sank fra 0,092 g/cm<sup>3</sup> før vekstforsøket, til 0,073 g/cm<sup>3</sup> etter vekstforsøket. Størst økning i tetthet i løpet av vekstforsøket var det i torv, men økningen var ikke signifikant.

## 3.2 Kjemiske egenskaper

### 3.2.1 Kjemiske analyser av materialene, før gjødsling og kalking

Resultatene fra kjemiske analyser av materialene er gitt i Tabell 6. RBA, HRA og Markkompost er materialene med høyest innhold av næring og spormetaller, hvilket generelt reflekteres i den høye elektriske konduktiviteten (160-190 mS/m). Papirslam, Kufiber og Kokosfiber har betydelig lavere konduktivitet (8-21 mS/m), og har da også i de fleste tilfeller de laveste konsentrasjonene av næring og spormetaller.

### ***Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca) og Svovel (S)***

RBA, HRA, Markkompost og Kufiber er nitrogenrike materialer. I biorestene RBA og HRA, som er anaerobt nedbrutt, foreligger mesteparten av det mineralske N som ammonium. I kompostene Markkompost og Kufiber foreligger det mineralske N i stor grad som nitrat. Papirslam og Kokosfiber inneholder lite N. Laktatløselig fosfor (P-AL) varierer fra 0,3 mg/100 ml i Kokosfiber opp til 176 mg/100 ml i RBA. Til sammenligning er en P-AL på 5-7 mg/100 ml jord er regnet som optimalt fosforinnhold i landbruksjord (Yara Norge AS 2014). På arealer hvor det dyrkes grønnsaker er imidlertid en P-AL opp mot 40 mg/100 mg<sup>1</sup> vanlig. I noen tilfeller kan P-AL også være opp mot 100 mg/100 mg (Riley et al. 2012). Når P-AL sammenlignes med konsentrasjonen av total P ser det ut som mesteparten av total P i materialet kan ekstraheres med AL-metoden. Fosforet bindes tydeligvis ikke så sterkt, og det meste av total P ser ut til å være tilgjengelig. I materialene er totalt K-innhold høyere enn K-AL, det samme gjelder i de fleste tilfeller også for Mg. Kompostene Markkompost og Kufiber har det høyeste innholdet av både K og Mg. De høyeste konsentrasjonene finnes hos RBA, og deretter HRA. Bortsett ifra Kokosfiber, har alle materialene en konsentrasjon av S som er i samme størrelsesorden.

### ***Kadmium (Cd), Bly (Pb), Kvikksølv (Hg), Nikkel (Ni), Sink (Zn), Kobber (Cu) og Krom (Cr) – metaller omfattet av gjødselvereforskriften***

Kokosfiber og Kufiber har de laveste konsentrasjonene av disse metallene. Av disse metallene er Zn, Cu og Ni essensielle plantenæringsstoffer (Aasen 1997). Konsentrasjonen av Pb, Cu, Cr og Ni er i samme størrelsesorden for Markkompost og Papirslam som for Kokosfiber og Kufiber. RBA og HRA har de høyeste konsentrasjonene av alle metaller unntatt Ni og Zn. Særlig er konsentrasjonen av Hg og Cd høy i RBA og HRA, sammenlignet med konsentrasjonen i Kufiber og Kokosfiber. Det er 135 ganger så mye Hg i RBA enn i Kufiber. Papirslam har også høye konsentrasjoner av Cd, Hg og Zn relativt til Kufiber/Kokosfiber. Det er HRA og Markkompost som har det høyeste innholdet av Zn, mens det for Ni er relativt liten variasjon. Nikkelkonsentrasjonen er noe høyere i RBA, HRA og Markkompost enn i de tre andre materialene.

---

<sup>1</sup> For jord/materialer med tetthet høyere enn 1 g/cm<sup>3</sup> oppgis P-AL som mg/100 g. Når tettheten er lavere enn 1 g/cm<sup>3</sup> benyttes mg/100 ml som enhet. En P-AL på 40 mg P/100 g tilsvarer derfor 40 mg P/100 ml i de organiske materialene benyttet i oppgaven.

**Tabell 6** Resultater fra kjemiske analyser av materialene (n=1). For metodeoversikt, se vedlegg 1.

Analyse	Enhet	RBA	HRA	Mark	Kufiber	Papirslam	Kokos
pH		8,4	8,4	9	7,9	5,4	6
NH <sub>4</sub> -N	mg/100 ml	114,53	84,51	0,26	0,51	0,17	0,03
NO <sub>3</sub> -N	mg/100 ml	0,09	0,25	45,40	22,46	0,05	0,61
P-AL	mg/100 ml	176	97	76	50	5	0,3
K-AL	mg/100 ml	108	99	540	252	5	8
Ca-AL	mg/100 ml	1278	612	168	144	40	70
Mg-AL	mg/100 ml	47	56	68	50	5	11
Na-AL	mg/100 ml	72	70	58	25	21	6
P	mg/100 ml	216	128	90	56	14	3
K	mg/100 ml	83	82	384	180	4	8
Ca	mg/100 ml	1134	612	240	115	43	99
Mg	mg/100 ml	38	60	62	41	6	11
S	mg/100 ml	99	78	64	38	48	8
As	mg/kg TS	3,5	4,9	1,2	0,83	<0,50	<0,50
Pb	mg/kg TS	18	12	2,5	2,6	2,7	1
Cd	mg/kg TS	1,2	0,4	0,14	0,09	0,6	0,035
Cu	mg/kg TS	54	86	28	19	16	7,3
Cr	mg/kg TS	11	16	5,5	2,1	3,4	4
Hg	mg/kg TS	0,135	0,051	0,017	0,001	0,030	0,002
Ni	mg/kg TS	7	6	7,5	4,6	3,2	2,1
Zn	mg/kg TS	350	260	240	130	100	14
Al	mg/kg TS	1800	3000	1000	450	520	1900
B	mg/kg TS	22	50	38	33	12	20
Fe	mg/kg TS	2400	6800	3000	1200	7400	2500
Mn	mg/kg TS	390	480	280	140	280	33
Glødetap	%	73,4	73	69,2	84,6	95,7	91,9
EC	mS/m	180	160	190	7,9	21	14
TOC	%	>40	>40	36	>40	>40	
Total	%	23,1	24,7	18,1	23,5	35,1	69,3
tørrstoff							
Kjeldahl-N	g/100 g TS	6,8	3,3	2,7	3,4	1	0,54

**Aluminium (Al) og Arsen (As)**

HRA har den høyeste Al-konsentrasjonen, etterfulgt av Kokosfiber og RBA. Konsentrasjonen av As er under deteksjonsgrensen i Papirslam og Kokosfiber, men er noe høyere i HRA og RBA.

**Bor (B), Jern (Fe) og Mangan (Mn)**

HRA inneholder mye B sammenlignet med de øvrige materialene, mens Papirslam har lave konsentrasjoner. De øvrige materialene ligger mellom disse ytterpunktene. Det er store konsentrasjonsforskjeller for Fe, hvor HRA og Papirslam har betydelig høyere

konsentrasjoner enn de øvrige materialene. HRA og RBA har de høyeste konsentrasjonene av Mn, mens Kokosfiber inneholder svært lite. I HRA er konsentrasjonen av B, Fe og Mn sammen med Mg, Cr og Al høyere enn i RBA.

### 3.2.2 Kjemisk innhold i vekstmediene etter gjødsling

**Tabell 7** Beregnet innhold av næring- og sporstoffer i vekstmediene. Makronæringsstoff (variabler over streken, med unntak av pH) er oppgitt i g/potte, sporstoffene (variabler under streken unntatt EC, Kg TS/potte og Na) er oppgitt i mg/potte. Na er oppgitt i mM. Alle verdier i tabellen er beregnet ut i fra verdiene fra kjemisk analyse gitt i Tabell 6. Innholdet i torv (T) er hentet fra varedeklarasjonen, hvor ikke alle grunnstoff som er målt for de øvrige materialene er oppgitt.

	<b>Torv</b>	<b>P</b>	<b>RP</b>	<b>HP</b>	<b>MP</b>	<b>RK</b>	<b>HK</b>	<b>MK</b>	<b>KuP</b>
pH	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
NH <sub>4</sub> -N	0,00	0,01	0,69	0,51	0,01	0,69	0,51	0,00	0,01
NO <sub>3</sub> -N	0,32	0,30	0,00	0,00	0,68	0,02	0,02	0,69	0,42
N-min	0,32	0,31	0,69	0,51	0,69	0,70	0,52	0,69	0,43
P	0,08	0,54	1,67	1,13	1,58	1,36	0,83	1,39	1,29
K	0,35	0,41	0,59	0,58	5,82	0,68	0,67	5,87	3,43
Ca	0,33	1,39	7,91	4,78	4,29	9,18	6,05	5,09	2,85
Mg	0,15	0,24	0,39	0,52	1,04	0,49	0,62	1,10	0,87
S	0,21	1,76	1,84	1,71	1,73	0,79	0,66	1,08	1,50
As	-	0,00	0,38	0,50	0,22	0,38	0,50	0,22	0,19
Pb	-	1,13	2,85	2,13	1,02	2,18	1,46	0,60	1,15
Cd	-	0,25	0,33	0,24	0,15	0,14	0,05	0,03	0,15
Cu	22,67	27,02	20,21	21,15	20,40	27,58	22,52	21,14	20,64
Cr	-	1,43	2,33	2,77	1,70	2,15	2,59	1,59	1,19
Hg	-	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01
Ni	-	1,34	1,83	1,69	2,02	1,26	1,12	1,67	1,71
Zn	24,7	56,2	71,4	60,1	64,2	49,2	29,9	45,3	50,3
Al	4	218	369	481	289	650	762	465	210
B	1,6	6,1	6,4	9,1	9,4	7,2	9,9	9,8	9,9
Fe	447	3135	2746	3180	2094	883	1294	915	1824
Mn	18	133	136	143	109	50	57	55	90
EC	-	21	52	48	106	47	43	102	14
Kg									
TS/potte	0,57	0,42	0,45	0,52	0,39	0,35	0,34	0,33	0,44
Na	-	9,6	13,9	13,9	17,4	7,0	8,3	13,9	11,7

Torv og Papirslam ble gjødslet etter vanlig praksis i karforsøk ved MINA<sup>2</sup> (Aasen & Johansen 2015). Med unntak av Cu, har alle vekstmediene et naturlig høyere totalinnhold av samtlige næringsstoffer enn torv (Tabell 7). Næringskonsentrasjonen i noen av vekstmediene er ganske høy. K-konsentrasjonen varierer med en faktor på 17, P med en faktor på 20 og Ca med en faktor på 24 mellom de ulike vekstmediene. Innholdet av Mg, Fe og Mn varierer med en faktor på 6-8 mellom vekstmediene. Vekstmediene MP og MK har en høyere konduktivitet enn de andre vekstmediene. Konduktiviteten i disse to vekstmediene er likevel lavere enn toleransegrensene til tomat og salt, hhv. 250 og 130 mS/m (Havlin et al. 2005). på 50 mS/m. Na og Cl er ikke målt i vekstmediene, men konsentrasjonen av K og Mg er spesielt høy i MP og MK. Noen vekstmedier har høye konsentrasjoner av andre grunnstoff, men likevel en betydelig lavere konduktivitet. Papirslam har antageligvis en EC høyere enn oppgitt i tabellen, ettersom mediet ble gjødslet etter at EC var målt.

### 3.2.3 Kjemisk innhold i planter

Det er variasjoner i konsentrasjonene mellom planteslagene. Tomat har signifikant høyere konsentrasjoner av B, Ba, Ca, Cu, Fe, Mg, P, S og Zn enn salat. Salat har høyere konsentrasjoner av K, Na, C og Mn enn tomat. Derfor fremstilles konsentrasjonene i tomat og salat i separate tabeller (Tabell 8 og 9). Grunnstoff hvor samtlige prøver har konsentrasjoner under deteksjonsgrensen (Be, Ga, Ni, Sc, Se og Y) eller kun noen få prøver har konsentrasjoner over deteksjonsgrensen (V, Cr, As, Pb) er ikke gjengitt her.

#### ***Nitrogen, fosfor og kalium***

Plantematerialets N-konsentrasjon varierer, og er nok litt lav for plantene dyrket i HK. Variasjonen i C/N-forhold er i stor grad styrt av forskjeller i plantenes N-konsentrasjon. Alle vekstmediene, med unntak av P, gir et plantemateriale med P-konsentrasjoner som er betydelig høyere enn konsentrasjonen i planter dyrket i torv. Kalium-konsentrasjonen er også høy i enkelte planter sammenlignet med optimale verdier (Tabell 1).

#### ***Natrium, mangan og svovel***

Salat og tomat dyrket i T har generelt signifikant lavere konsentrasjoner av Na enn alle de andre plantene. For salat er det plantene dyrket i P og HP som har den signifikant høyeste Na-konsentrasjonen, mens for tomat er det plantene dyrket i RP som har den høyeste Na-

---

<sup>2</sup> Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, NMBU



konsentrasjonen. I plantene dyrket i KuP, MK og MP er det relativt lav Mn-konsentrasjon. Mn-nivåene ligger under konsentrasjonsnivåene som vanligvis gir mangel (Aasen 1997). For plantene dyrket i torv er Mn-konsentrasjonen svært høy, betydelig høyere enn anbefalt og over nivået som vanligvis gir toksisitet (McBride 1994). Konsentrasjonen av S er høy i salat og spesielt tomat dyrket i P sammenlignet med konsentrasjonen i planter dyrket i torv.

**Tabell 8** Salatplantenes kjemiske innhold (konsentrasjon). Radmarkøren henviser til hvilket vekstmedium salaten er dyrket i (n=3). Konsentrasjoner etterfulgt av like bokstaver er ikke signifikant forskjellige ifølge Tukey HSD. N, P, K, S og Ca er oppgitt i % av plantenes TS. De øvrige stoffene er oppgitt i µg/g TS. Stoffe markert med \* oppfyller ikke betingelsene for bruk av anova.

	N	P	K*	S	Ca
Torv	4,2±0,6 abc	0,34±0,07 c	2,9±0,7	0,35±0,03 ab	1,7±0,18 a
P	3,7±0,8 bc	0,41±0,03 c	5,4±0,7	0,48±0,08 a	0,9±0,02c
RP	6,3±0,4 a	0,82±0,03 ab	8,9±0,8	0,36±0,01 ab	1,3±0,04 b
HP	3,6±2,1 bc	0,72±0,18 ab	6,3±2,4	0,27±0,09 bc	0,9±0,15 bc
MP	2,7±0,7 c	0,62±0,10 b	8,6±1,1	0,27±0,06 bc	0,3±0,04 d
RK	6,0±0,2 ab	0,64±0,06 b	8,4±0,4	0,32±0,04 bc	1,8±0,24 a
HK	1,7±0,1 c	0,63±0,02 b	4,3±0,1	0,16±0,01 c	0,9±0,06 c
MK	5,4±0,5 ab	0,85±0,02 ab	10,3±0,5	0,30±0,01 b	0,4±0,01 d
KuP	5,7±1,1 ab	0,95±0,03 a	9,7±0,6	0,35±0,01 ab	0,6±0,10 cd

	C/N*	B	Fe	Mg	Mn
Torv	10,7±1,7	38,3±4,6 a	94±23 a	0,60±0,06 a	560±65 a
P	12,4±2,4	30,4±1,6 b	119±20 a	0,19±0,01 e	151±17 b
RP	6,4±0,6	21,8±0,7 cd	95±4 a	0,32±0,04 bc	124±43 bc
HP	14,6±8,7	22,5±3,4 cd	91±9 a	0,26±0,08 cde	39±15 d
MP	15,6±3,7	27,4±2,0 bc	104±58 a	1,16±0,01 e	14±2 e
RK	6,5±0,3	22,7±0,3 cd	94±19 a	0,38±0,03 b	64±18 cd
HK	25,2±1,3	20,0±1,2 d	44±4 b	0,19±0,01 de	77±7 bcd
MK	7,1±0,6	27,1±1,4 bc	53±3 b	0,22±0,01 cde	13±3 e
KuP	6,9±1,7	22,0±1,2 cd	144±125 a	0,30±0,03 bcd	12±6 e

	Cu	Zn	Al	Na	Cd
Torv	10,5±1,6 bc	90±14 bcd	36±20 abc	2107±453 d	0,23±0,06 c
P	8,6±0,4 bc	102±8 ab	22±8 c	13272±2916 a	1,60±0,25 a
RP	13,1±1,1 abc	97±8 abc	49±22 abc	7710±788 bc	0,50±0,10 b
HP	8,8±2,2 bc	67±24 cde	26±10 bc	11868±2150 a	0,33±0,15 bc
MP	9,3±2,9 bc	38±8 e	89±48 ab	5141±667 c	0,20±0,00 c
RK	16,7±5,3 ab	128±6 a	139±94 a	6141±685 c	0,30±0,10 bc
HK	6,4±1,9 c	40±3 e	40±18 abc	6130±321 c	0,20±0,00 c
MK	10,6±1,4 bc	61±9 de	26±0 bc	5514±537 c	0,20±0,00 c
KuP	19,5±4,6 a	48±8 e	89±43 ab	9286±357 ab	0,23±0,06 c

**Aluminium, kadmiu, sink, kobber** I enkelte vekstmedier er det

toksiskekonsentrasjonsnivåer av disse metallene (se Tabell 1 for grenseverdier). KuP, MP og RK har høye verdier av Al. Konsentrasjonen i salat og tomat er imidlertid ikke signifikant høyere enn i plantene dyrket i torv. Salat i Papirslam har signifikant høyere konsentrasjon av Cd enn salat dyrket i de andre vekstmediene. For tomat dyrket i MK og P er det tydelig høyere konsentrasjoner enn i tomat dyrket i andre vekstmedier. Tomat dyrket i P har spesielt høy Zn-konsentrasjon, signifikant høyere enn alle de andre tomatplantene. Cu-konsentrasjonen er høyere enn grensen for toksisitet oppgitt i Tabell 1 (McBride 1994) i tomatplanter dyrket i KuP, MK, P, RP og torv. Cu-konsentrasjonen i tomat dyrket i disse mediene skiller seg imidlertid ikke signifikant fra hverandre.

**Tabell 9** Tomatplantenes kjemiske innhold (konsentrasjon). Kolonnemarkøren henviser til hvilket vekstmedium plantene er dyrket i (n=3). Tomatplantene dyrket i MP er ikke analysert, ettersom de døde. Konsentrasjoner etterfulgt av like bokstaver er ikke signifikant forskjellige ifølge Tukey HSD. N, P, K, S og Ca er oppgitt i % av plantenes TS. De øvrige stoffene er oppgitt i µg/g TS. Stoffet markert med \* oppfyller ikke betingelsene for bruk av anova.

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>Ca</b>
Torv	4,5±0,7 cd	0,38±0,05	3,1±0,7 d	1,07±0,05 bc	3,8±0,1 ab
P	3,5±0,1 de	0,59±0,05	5,2±0,6 c	2,01±0,18 a	2,6±0,3 c
RP	6,6±0,2 a	0,90±0,13	4,9±0,3 c	0,81±0,16 cd	4,2±0,2 a
HP	3,3±0,3 e	0,82±0,12	3,9±0,3 cd	1,24±0,15 b	3,3±0,4 bc
RK	6,3±0,4 ab	0,92±0,22	4,5±0,4 c	0,71±0,11 cd	4,5±0,3 a
HK	1,9±0,3 f	0,92±0,09	3,1±0,5 d	0,90±0,16 bcd	2,9±0,5 c
MK	5,4±0,2 bc	0,88±0,08	9,9±0,7 a	0,54±0,06 d	0,5±0,1 d
KuP	5,9±0,6 ab	0,98±0,04	8,4±0,3 b	0,91±0,04 bc	0,9±0,1 d

	<b>C/N</b>	<b>B</b>	<b>Fe</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>
Torv	9,5±1,6 c	53±2 ab	147±95 a	0,43±0,02 bc	354±21 a
P	11,6±0,2 c	55±8 ab	248±39 a	0,39±0,58 cd	117±39 b
RP	5,8±0,1 a	35±5 cde	176±58 a	0,53±0,35 ab	71±22 c
HP	12,3±1,0 c	48±6 abc	203±30 a	0,50±0,32 abc	37±8 cde
RK	6,1±0,4 ab	29±3 de	211±119 a	0,59±0,03 a	66±9 cd
HK	20,8±2,8 d	31±6 de	83±27 a	0,57±0,07 a	46±7 cde
MK	7,3±0,4 b	26±1 e	113±7 a	0,54±0,02 a	17±2 de
KuP	6,7±0,6 ab	41±1 bcd	136±44 a	0,54±0,04 a	11±2 e

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Al</b>	<b>Na</b>	<b>Cd*</b>
Torv	28±2 ab	116±14 b	25±3 a	700±207 e	0,43±0,12
P	34±4 a	245±2 a	24±12 a	4496±263 cd	1,80±0,17
RP	27±9 ab	91±2 cd	39±32 a	8268±1525 a	0,43±0,06
HP	18±4 bc	69±6 de	45±10 a	6730±839 ab	0,20±0,00
RK	18±1 bc	111±12 bc	109±83 a	5040±666 bcd	0,20±0,00
HK	11±1 c	41±8 f	60±24 a	4243±695 cd	0,57±0,12
MK	24±3 ab	70±1 de	61±7 a	3227±206 d	2,00±0,53
KuP	26±3 ab	61±5 ef	85±97 a	5511±197 bc	0,20±0,00

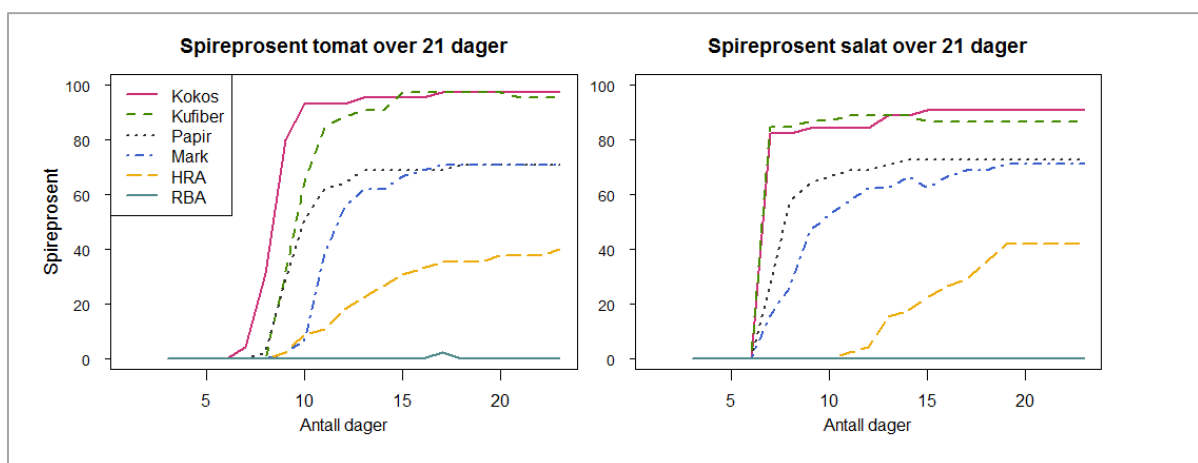
### **Arsen, Krom, Kobolt og Bly**

Konsentrasjonen av As, Cr, Co og Pb i plantematerialet ligger generelt svært nær eller under deteksjonsgrensen (hhv. 0,7, 1,1, 0,2 og 0,4 µg/g), med unntak av Cr i salatplanter dyrket i KuP, Cu i tomatplanter dyrket i torv, og Pb i tomatplanter dyrket i RK. Konsentrasjonene i disse plantene er imidlertid langt under grenser for toksiske konsentrasjoner (Tabell 1)

Konsentrasjonen av Cd ligger nært deteksjonsgrensen for de fleste plantene, men er noe høyere i salat dyrket i P og i tomat dyrket i P og MK. Også disse konsentrasjonene er imidlertid under grense for toksisitet (McBride 1994).

### 3.3 Spireforsøk

Da spireprosenten etter 21 dager verken hadde normalfordelt feil eller konstant varians, selv etter transformasjon av dataene, ble det ikke kjørt ANOVA på dataene fra spireforsøket. Fra Figur 3 kan man likevel se en tydelig forskjell i hvor godt det spirer i de ulike materialene, med en lik trend for de to vekstene salat og tomat. I Kokosfiber og Kufiber var det raskt en høy spireprosent. Det spirte også godt i Papirslam og Markkompost, men spiringen var noe hemmet sammenlignet med Kokos- og Kufiber. I bioresten fra HRA var det det en tydelig spirehemming. I bioresten fra RBA var det ingen spiring, med unntak av ett tomatfrø. Dette spirte, men visnet raskt. I både HRA og RBA ble det raskt etter oppstart dannet en tykk skorpe på overflaten. Denne skorpen kan ha bidratt til spirehemmingen.



**Figur 3** Spireprosent i de forskjellige materialene over en periode på 21 dager. Figuren viser gjennomsnittet for hvert materiale (n=3).

### 3.4 Vekstforsøk

Biomasseproduksjonen varierte betydelig mellom de ulike vekstmediene (Tabell 10).

Tilveksten av salat i torv er signifikant høyere enn i alle de andre vekstmediene. Tilveksten av tomat er signifikant høyere i torv enn i HK, RK, KuP, RP og MP. Blant torvalternativene er tilveksten av salat signifikant høyere i HP enn i RK, KuP, RP og MP, mens tilveksten av tomat er signifikant høyere i HP enn i HK, RK og KuP. Topp/rot-forholdet til salat produsert i HK og MP er signifikant lavere enn i salat produsert i torv. Topp/rot-forholdet til tomat er ikke signifikant forskjellig fra det i tomat produsert i torv sammenlignet med tomat produsert i andre vekstmedier.

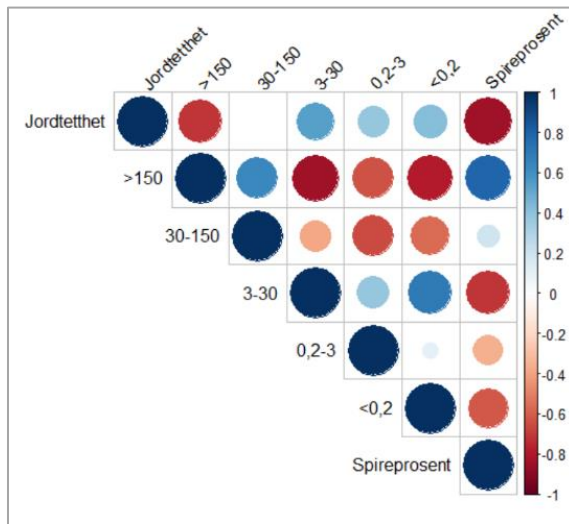
**Tabell 10** Biomassetilvekst (g TS/potte) og plantenes topp/rot-forhold i de ulike vekstmediene ( $\pm$ SD, n=3). Tall etterfulgt av samme bokstav (innen hver kolonne) er ikke signifikant forskjellige, ifølge Tukey HSD.

	Biomasse (g TS) $\pm$ SD		Topp/rot $\pm$ SD	
	Salat	Tomat	Salat	Tomat
Torv	9,4 $\pm$ 2,2 a	9,1 $\pm$ 1,8 a	11,8 $\pm$ 2,4 a	7,0 $\pm$ 0,9 ab
HP	7,1 $\pm$ 4,1 ab	4,9 $\pm$ 1,2 b	8,2 $\pm$ 3,6 ab	7,2 $\pm$ 1,9 ab
P	5,3 $\pm$ 1,3 abc	3,5 $\pm$ 0,8 bc	8,1 $\pm$ 0,7 ab	6,0 $\pm$ 0,7 ab
MK	5,0 $\pm$ 1,9 abc	3,3 $\pm$ 1,0 bc	8,5 $\pm$ 0,2 ab	5,3 $\pm$ 0,3 ab
HK	3,7 $\pm$ 1,3 bc	1,6 $\pm$ 0,4 c	3,5 $\pm$ 0,2 b	4,1 $\pm$ 0,9 b
RK	1,6 $\pm$ 0,9 c	0,8 $\pm$ 0,7 c	11,0 $\pm$ 0,7 a	8,1 $\pm$ 2,1 ab
KuP	1,2 $\pm$ 0,4 c	0,4 $\pm$ 0,1 c	11,5 $\pm$ 2,1 a	10,5 $\pm$ 6,8 ab
RP	0,9 $\pm$ 0,2 c	1,7 $\pm$ 1,8 bc	12,1 $\pm$ 1,7 a	9,4 $\pm$ 3,1 a
MP	0,5 $\pm$ 0,2 c		4,6 $\pm$ 1,6 b	

### 3.5 Sammenheng mellom materialenes egenskaper og spireprosent

#### *Fysiske egenskaper*

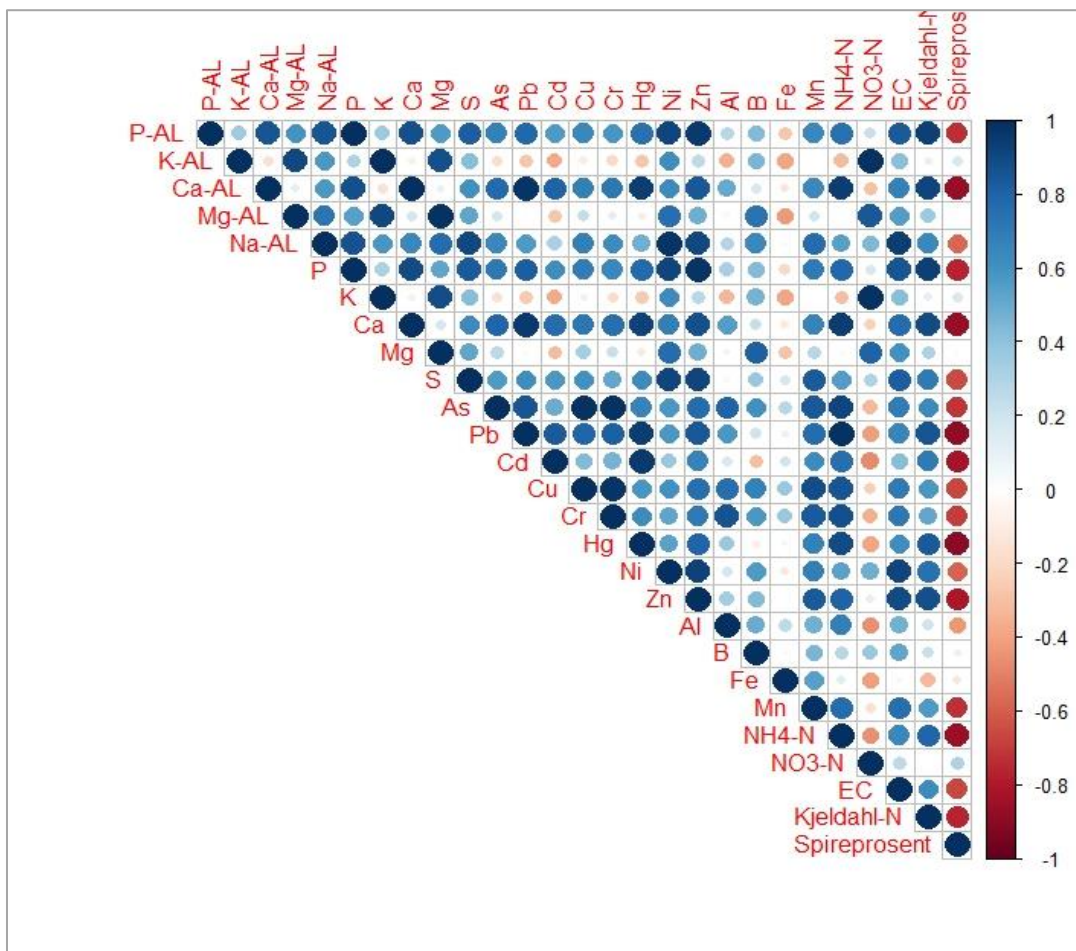
Spireprosent i materialene er signifikant korrelert med materialenes tetthet, andelen porer større enn 150  $\mu\text{m}$ , andelen porer mellom 3 og 30  $\mu\text{m}$  og andelen porer mindre enn 0,2  $\mu\text{m}$ . Korrelasjonskoeffisientene er på hhv. -0,84, 0,79, -0,71 og -0,61 (Figur 4). Det vil si at det er en positiv korrelasjon mellom spireprosent og store porer, og en negativ korrelasjon mellom høyere tetthet og høyere andel små porer. Kufiber er ikke inkludert ettersom det ikke ble gjort pF-analyse av materialet.



**Figur 4** Korrelasjoner mellom porefraksjonene, tettheten og spireprosent i materialene.

#### *Kjemiske egenskaper*

I en korrelasjonsanalyse mellom spireprosent og kjemisk innhold i alle materialene kommer det fram at spireprosenten er negativt korrelert med P-AL, Ca-AL, Na-AL, Ca, Pb, Cd, Hg, Zn, og NH<sub>4</sub>-N i materialene. Spireprosenten er svakt positivt korrelert med K-AL, K og nitrat-N i materialene. Når spireprosent plottes mot innholdet av disse stoffene i mediet, viser det seg at korrelasjonene er sterkt påvirket av det mediet RBA inneholder. I RBA var spireprosenten null (Figur 3). Dette gjør at de stoffene RBA inneholder mye av ofte får en negativ korrelasjon med spireprosent. En ny korrelasjonsanalyse (Figur 5) viser korrelasjoner som gjelder for alle materialene utenom RBA. Da kommer det fram at materialenes konsentrasjon av K-AL, Ca, As, Pb, Cu, Cr, Hg, Mn og NH<sub>4</sub>-N korrelerer sterkest med spireprosent.



**Figur 5** Korrelasjoner mellom kjemisk innhold i materialene, elektrisk konduktivitet og spireprosent.

### 3.6 Sammenheng mellom vekstmediets egenskaper og plantevekst

#### *Fysiske egenskaper*

Tilveksten av biomasse i vekstforsøket er signifikant korrelert med andelen porer mellom 30 og 150  $\mu\text{m}$  før vekstforsøket (0,40), andelen porer mellom 3 og 30  $\mu\text{m}$  før vekstforsøket (0,52), andelen porer mindre enn 0,2  $\mu\text{m}$  før vekstforsøket (-0,53) og vekstmedienes tetthet etter vekstforsøket (0,48). Korrelasjonskoeffisientene er gitt i parentes. Som for spireforsøket er det altså en positiv korrelasjon mellom store porer, og negativ med små porer. I motsetning til i spireforsøket er korrelasjonen med tetthet positiv.

## Kjemiske egenskaper

For å kunne vurdere hvor effektivt plantene utnyttet næringsstoffer, evt. tok opp skadestoffer fra de ulike vekstmediene ble det beregnet inn-ut-budsjetter for N, Al og Cd (Tabell 11).

For hver potte ble det beregnet hvor mye (mg) næring/stoff det var tilstede i vekstmediet, dvs. konsentrasjon i mediet [mg/kg TS] \* mengde vekstmedium i karet [kg TS]. Planteopptaket ble beregnet ved å multiplisere plantenes konsentrasjon (Tabell 8 og 9) [mg/kg TS] med biomasse produsert i karet [kg TS].

Plantens opptak av N, Al og Cd er varierende, både med hensyn på totalt opptak og opptaksprosent. Høyest N-opptak har plantene dyrket i torv, deretter plantene dyrket i HK og MK. MP har det laveste opptaket, hvilket skyldes svak plantevekst i dette vekstmediet. Det høyeste opptaket av Al er også i planter dyrket i torv, grunnet høy biomassetilvekst. Planter dyrket i vekstmedier hvor Papirslam og/eller RBA inngår har det høyeste opptaket av Cd. Høyest planteopptak er det i kombinasjonen av RBA og Papirslam, RP. Opptaksprosent følger ikke total konsentrasjon verken for N, Al eller Cd.

**Tabell 11** Inn – ut – budsjett for utvalgte stoffer. Tabellen viser hvor stor mengde det er av et stoff i vekstmediet opprinnelig, hvor mye som er tilført med gjødsel, og hvor stort planteopptaket er. For nitrogen er mengden i vekstmediet fordelt på ammonium (NH<sub>4</sub>-N) og nitrat (NO<sub>3</sub>-N). Merk at enheten for Cd er µg/potte mens den for de øvrige stoffene er mg/potte.

<b>N (mg/potte)</b>		<b>Torv</b>	<b>P</b>	<b>RP</b>	<b>HP</b>	<b>MP</b>	<b>RK</b>	<b>HK</b>	<b>MK</b>	<b>KuP</b>
	NH <sub>4</sub> -N	0	0	675	403	7	671	399	4	13
	NO <sub>3</sub> -N	15	2	2	2	695	15	16	703	456
	Gjødsel (NO <sub>3</sub> -N)	300	300							
Salat	Opptak	40	17	6	26	1	10	6	27	7
	Opptaks%	12,5	5,5	0,1	6,4	0,2	1,4	1,4	3,8	1,5
Tomat	Opptak	41	12	11	16	-	5	3	18	2
	Opptaks%	13,0	3,9	1,6	4,0	-	0,7	0,7	2,5	0,4

<b>Al (mg/potte)</b>		<b>Torv</b>	<b>P</b>	<b>RP</b>	<b>HP</b>	<b>MP</b>	<b>RK</b>	<b>HK</b>	<b>MK</b>	<b>KuP</b>
	Medie	4	218	369	481	289	650	762	465	210
Salat	Opptak	0,34	0,12	0,04	0,19	0,05	0,22	0,15	0,13	0,11
	Opptaks%	8,50	0,055	0,011	0,040	0,017	0,034	0,020	0,028	0,052
Tomat	Opptak	0,23	0,08	0,07	0,22	-	0,09	0,10	0,20	0,03
	Opptaks%	5,75	0,034	0,019	0,051	-	0,014	0,014	0,040	0,013

<b>Cd (µg/potte)</b>		<b>Torv</b>	<b>P</b>	<b>RP</b>	<b>HP</b>	<b>MP</b>	<b>RK</b>	<b>HK</b>	<b>MK</b>	<b>KuP</b>
	Medie	-	2700	3400	2500	1600	1300	400	300	1600
Salat	Opptak	2,2	8,5	0,5	2,3	0,1	0,5	0,7	1,0	0,3
	Opptaks%	-	0,31	0,01	0,09	0,006	0,04	0,18	0,33	0,02
Tomat	Opptak	3,9	6,3	0,7	1,0	-	0,2	0,9	0,7	0,8
	Opptaks%	-	0,23	0,02	0,04	-	0,02	0,23	0,23	0,05

### 3.7 Sammenheng mellom plantenes konsentrasjon av stoffer og plantevekst

Det er i liten grad korrelasjon mellom biomassetilvekst og konsentrasjon av stoffer i plantematerialet. Signifikante korrelasjoner vist i Tabell 12. Flere av korrelasjonene, som korrelasjonen mellom Mn, P og biomassetilvekst i tomat og salat, er i stor grad styrt av en spesielt høy eller en spesielt lav konsentrasjon av stoffet i plantene dyrket i torv.

**Tabell 12** Resultat fra korrelasjonsanalyse mellom konsentrasjon av stoffer i plantene og biomassetilvekst. Signifikansnivåene er på 0,05 (\*), 0,01 (\*\*), og 0,001 (\*\*\*).

	<b>Tomat</b>	<b>Salat</b>
Ba	0,58 **	0,29 *
K	-0,52 **	-0,42 **
Li	0,58 **	0,44 **
Mn	0,74 ***	0,62 ***
Na	-0,78 ***	-0,39 **
P	-0,63 ***	-0,66 ***
Sr		-0,28 *
N		-0,41 **



## 4 Diskusjon

### 4.1 Fysiske egenskaper

#### 4.1.1 Materialer og spireevne

pF-grensene som ble benyttet her er de som vanligvis benyttes i feltforsøk på agronomiske forsøksarealer. Litteraturverdier for optimal mengde porer ved gitte pF-grenser i vekstmedier egnet for veksthusproduksjon følger imidlertid ofte andre pF-grenser enn de som ble benyttet i forsøket. Det gjør direkte sammenligning vanskelig. Unntaket er for porer mindre enn 30  $\mu\text{m}$ . De kan sammenlignes direkte. I følge Noguera et al. (2003) burde 25-31% av porene være mindre enn 30  $\mu\text{m}$ . Dette var ikke tilfellet for noen av materialene benyttet her. Materialene varierer fra 37% (Kokos) til 69% (RBA). Totalt porevolum bør være minst 85% (de Boodt & Verdonck 1972), og varierte i materialene her fra 89% (RBA) til 99% (Kokos). Dette gjenspeiles også i tettheten som varierer fra 0,10  $\text{g}/\text{cm}^3$  i Kokos til nesten det dobbelte (0,18  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) i RBA.

300  $\mu\text{m}$  er en vanlig grense for luftfylte porer i litteraturen, mens 150  $\mu\text{m}$  ble benyttet i forsøket. Ifølge de Boodt og Verdonck (1972) burde 15-30% av vekstmediets volum bør bestå av porer større enn 300  $\mu\text{m}$ , og da er det logisk at andelen porer større enn 150  $\mu\text{m}$  må være minst like stor. Det var den ikke i RBA. I RBA var andelen luftfylte porer på 11%. På tross av variasjoner i andelen porer større enn 150  $\mu\text{m}$  blant de øvrige materialene (27% i Markkompost til 51% i Kokosfiber) var det vanskelig å avgjøre om andelen er for liten eller ikke, basert på verdiene oppgitt av (de Boodt & Verdonck 1972). Generelt vil det være en ulempe med for stor andel porer mindre enn 0,2  $\mu\text{m}$ , ettersom det da blir færre porer som kan tilføre planten vann og/eller oksygen. I denne fraksjonen varierte mediene her fra 8% til 35% (hhv. Papirslam og RBA).

#### 4.1.2 Vekstmedier og biomassetilvekst

Samtlige vekstmedier her hadde mer enn 25-31% porer mindre enn 30  $\mu\text{m}$ , også torv. Torv, P, RK og HK hadde en andel mellom 34 og 36%. RP, HP og KuP hadde en andel på 39-40%, og MP og MK hadde en andel på 44-45% av porer mindre enn 30  $\mu\text{m}$ . Det er ifølge Noguera et al. (2003) en høyere andel enn ideelt. Det ser imidlertid ikke ut til at den høye andelen små porer har gått ut over tilgang til luft. Det var tvert imot svært god tilgang på luft i enkelte vekstmedier sammenlignet med torv, spesielt etter vekstforsøket. Dette skyldes at andelen

porer større enn 150  $\mu\text{m}$  var høyere i flere av vekstmediene etter vekstforsøket enn før vekstforsøket.

En sammenligning med ideell porefordeling oppgitt av de Boodt og Verdonck (1972) gir heller ingen indikasjoner på at andelen luftfylte porer er for lav. Før vekstforsøket var den laveste andelen 34%, og etter vekstforsøket var den laveste andelen 38% (begge i MP). Det er dermed ingen grunn til å tro at andelen porer større enn 300  $\mu\text{m}$  er lavere enn 15-30%, selv om dette ikke er målt.

I målingene fra før vekstforsøket hadde RK og MK en lavere vannlagringsevne enn torv, med en signifikant lavere andel porer i fraksjonen mellom 30 og 150  $\mu\text{m}$ . Det er derfor mulig at tilgjengeligheten av vann har vært begrensende for planteveksten i disse mediene.

Det kan se ut som det i MP har vært problemer med fordeling av vann i vekstmediet. Da røttene ble tatt ut av vekstmediet etter endt vekstforsøk var det tydelig at det meste av vannet hadde samlet seg i bunnen av potta. Ut fra hvordan mediet nederst i potta så ut og luktet, kan det ha vært anaerobe forhold nederst. Luftvekslingen var god lenger oppe i mediet.

Vekstmediene har stort sett holdt seg stabile gjennom vekstforsøket. Det var små endringer i porestørrelsesfordeling og tetthet målt før og etter vekstforsøket. En økning i tetthet indikerer at mediet har klappet sammen. Det var kun HK og torv som viste en økning i tetthet, og ingen av disse økningene var signifikante. For de øvrige mediene hadde tettheten tvert imot sunket, hvilket tyder på at mediene kan ha fått økt porevolum i løpet av forsøket. Det bør imidlertid ikke trekkes for sikre konklusjoner fra sammenligningen av tetthet før og etter vekstforsøket. Målingene før forsøket ble gjort på blandinger som ble pakket sammen i sylindere slik man ville pakket de i en potte, mens sylindere fra etter vekstforsøket ble tatt ut øverst i potta mellom plantens stamme og kanten av potta, for å kunne ta ut en prøve uten for mye røtter. Det er vanskelig å ta ut en uforstyrret prøve hvis det er for mye røtter som ikke lett kuttes av når man setter ned sylindere. Det er ikke gitt at disse sylinderprøvene er representative for hele potta.

Det er imidlertid heller ikke grunnlag til å konkludere med at mediene er fysisk ustabile. Tvert imot tyder målingene på at mediene generelt er relativt stabile og ikke klapper sammen gjennom vekstsesongen, men resultatene må altså tolkes med forsiktighet.

## 4.2 Kjemiske egenskaper

Innhold av stoffer både i materialer og planter ble målt, mens innholdet i vekstmediene ble beregnet. En del stoffer kan utelukkes som forklaring på spireevne og biomassetilvekst. Årsaken kan være at variasjonen var svært liten mellom vekstmediene, at konsentrasjonen var så lav at den regnes som ubetydelig sammenlignet med verdier gitt i litteraturen (se f.eks. Tabell 1), eller at konsentrasjonen var lavere enn måleinstrumentets deteksjonsgrense. Andre stoffer kan ha en uklar rolle hvor det ikke er tydelig at stoffet har påvirket spireevne eller biomassetilvekst, men kan likevel ikke helt utelukkes. Til sist er det noen stoffer som det virker sannsynlig at de kan ha påvirket spireevne og biomassetilvekst.

For å avgjøre hvilken rolle stoffene spiller har konsentrasjoner i vekstmediene blitt sammenlignet med konsentrasjoner i kontrollen (torv) og/eller med litteraturverdier, og det benyttes korrelasjons-, regresjons- og variansanalyse. De statistiske metodene gir en pekepinn i retning av hvilke stoffer som har betydning, men sammenligninger med torv og litteratur vil bli tillagt størst verdi. Det skyldes at materialene, vekstmediene og plantene har svært ulik kjemisk sammensetning. Statistisk signifikante korrelasjoner vil ofte være styrt av vekstmediene som utgjør ytterpunktene i spireevne og biomasse.

Ved vurdering av konsentrasjon av stoffer i plantene må man huske at plantene er på svært forskjellige steder i utviklingen selv om de ble sådd samtidig. At det er en lavere fosfor- og nitrogenkonsentrasjon i planter dyrket i torv på ett gitt tidspunkt kan for eksempel ha sammenheng med at disse plantene er mest utviklet på det gitte tidspunktet og at plantene derfor også naturlig kan ha en annen sammensetning.

I dette kapittelet vil først analysene av materialene diskuteres generelt i forhold til spireprosent. Deretter vil beregningene av innhold i vekstmediene og analyser og planter diskuteres generelt i forhold til biomasseproduksjon. I kapittel 4.5 og 4.6 diskuteres hvert enkelt materiale og hvert enkelt vekstmedium mer inngående for å kunne vurdere hva som er veksthemmende med det materialet spesielt.

#### 4.2.1 Materialer og spireevne

##### ***pH og salinitet***

Materialets pH kan ha betydning for frøenes spireevne. I en review-artikkel beskriver Justice og Reece (1954) at tomat spirer best ved pH 6, men i artikkelen var det uklart om spireevnen var signifikant lavere ved pH 4, 5 og 7 enn ved pH 6. I artikkelen var det beskrevet et forsøk hvor salat hadde en spireprosent på minst 95% ved alle pH-verdier testet (3,5 til 7,5).

Ettersom flere av materialene (RBA, HRA, Markkompost og Kufiber) hadde en pH høyere enn pH-verdiene omtalt av Justice og Reece (1954) er det uklart hvorvidt en høy pH har hatt en hemmende effekt på spireevnen i materialene. Salttoleransen til tomat og salat er på hhv. 250 og 130 mS/m (Havlin et al. 2005). Samtlige materialer brukt i spireforsøket hadde lavere saltinnhold (eller EC) enn toleransegrensen for tomat, mens RBA, HRA og Markkompost lå over grensen for salat. Spireprosenten til salat var imidlertid lik eller høyere enn spireprosenten til tomat i disse tre mediene.

##### ***Konsentrasjoner av enkeltstoffer i materialene***

Det var en tydelig negativ korrelasjon mellom spireevne og konsentrasjon av Hg, Pb, Cd, Zn, Cr, Cu og Ni (fra -0,89 til -0,59, metallene er sortert etter synkende korrelasjon) i materialene. Da RBA/HRA representerte ytterpunktene både med hensyn på konsentrasjon av disse spormetallene og spireprosent, var nok det hovedårsaken til den sterke negative korrelasjonen mellom spiring og innhold av spormetaller.

Ifølge Pahlsson (1989) har vekstmediets konsentrasjon av disse metallene liten betydning for spireevne. Likevel er det vist at høyt innhold av Cd og Hg kan hemme spiring av *Arabidopsis* (Li et al. 2005), og at høyt innhold av Cd, Cu og Cr hemmet spiring av Alfafa ved konsentrasjoner på hhv. 10, 10, 20 og 20 ppm (Peralta et al. 2001). Imidlertid fant hverken Li et al. (2005) eller Peralta et al. (2001) at Zn hemmer spiring, selv ikke ved høye konsentrasjoner. Konsentrasjonen av Hg var svært lav i samtlige materialer. På grunnlag av disse funnene er det derfor lite sannsynlig at Zn- og Hg-konsentrasjonen har redusert spireevnen, men derimot kan høye konsentrasjoner av Cd og muligens Cu og Cr ha hatt en hemmende effekt på spiringen.

#### 4.2.2 Vekstmedier, planteopptak og biomassetilvekst

Det var generelt en mye høyere konsentrasjon av de fleste næringsstoffer i vekstmediene blandet (gjødslet) med bioest og kompost, enn i torv og Papirslam alene. Dette gav utslag i at planteopptaket av flere stoffer var høyere i de førstnevnte vekstmediene enn i de sistnevnte. I mangel av gode referanseverdier tolkes resultatene mot verdier i torv eller planter dyrket i torv. Torven kan anses som balansert gjødslet, og de fleste vekstmediene nokså ubalansert gjødslet. Det skal ikke ha vært direkte mangel på noen næringsstoffer i noen av vekstmediene, men noen planter har likevel fått mangel på enkelte næringsstoff. Dette kan skyldes at stoffet ikke var plantetilgjengelig i vekstmediet, eller at opptaket var hemmet på grunn av høyt opptak av andre næringsstoffer (antagonisme). I tillegg til å hemme opptak av annen næring, kan et høyt næringsinnhold også være direkte skadelig for planten. Antagonisme er ikke i noen særlig grad diskutert i oppgaven. Diskusjonen er i hovedsak fokusert på opptak av hvert enkelt stoff for seg. Det legges også mest vekt på plantenes opptak av stoffer, fremfor konsentrasjonen i vekstmediet, ettersom totalkonsentrasjon i mediet ikke nødvendigvis har sammenheng med biotilgjengelig konsentrasjon. Av stoffer i vekstmediene er det kun makronæringsstoffet nitrogen, næringsstoffet som oftest begrenser planteveksten, som diskuteres i de følgende avsnittene.

##### ***pH og salinitet i vekstmediene***

Vekstmedienes pH var beregnet til 6,0 i alle medier ved forsøkets start. pH i vekstmediene var beregnet ut i fra målt pH i materialene. Utrekningen tar ikke hensyn til materialenes bufferkapasitet (som heller ikke er målt), og beregnet pH er derfor noe usikker. Ideelt sett skulle pH vært målt i vekstmediene ved forsøkets oppstart og ved vekstforsøkets slutt. Tilgjengelighet av mange stoffer er avhengig av pH. Hvis pH synker raskt i et materiale vil det ha betydning for plantenes opptak av næring og frigjøring av toksiske metaller som aluminium i vekstmediet. pH kan ha sunket mer i vekstmedier hvor hoveddelen av N foreligger som ammonium sammenlignet med vekstmedier hvor hoveddelen av N foreligger som nitrat (Havlin et al. 2005; Magalhaes & Huber 1989). I vekstmediene varierer saliniteten fra 14 mS/m til 106 mS/m (hhv. KuP og MP). På tross av store variasjoner har alle medier en lavere salinitet enn det salat og tomat tåler (hhv. 250 og 130 mS/m (Havlin et al. 2005)). Høy salinitet ser derfor ikke ut til å ha hemmet tilveksten av biomasse i vekstmediene.

### ***Nitrogen i vekstmediene***

I torv, P, MP, MK og KuP forekom det meste av N som nitrat, men i RP, HP, RK og HK forekom N i hovedsak som ammonium. De fleste planter kan få symptomer på toksisitet hvis ammonium er den eneste nitrogenkilden. Det var likevel ikke noen tydelig sammenheng mellom form av N i vekstmediet og tilvekst av biomasse. For eksempel var nitrat hovedkilde til nitrogen i KuP og MP. Dette var vekstmediene med den laveste biomassetilveksten. Tilsvarende var ammonium hovedformen i HP og P. Disse mediene hadde den høyeste biomasseproduksjonen, etter torv. Det ser heller ikke ut til å være sammenheng med nitrogenopptaket i plantene og formen for nitrogen i vekstmediet.

### ***Stoffer uten betydning for biomassetilveksten***

Basert på konsentrasjon i plantene har enkelte stoffer trolig ikke hatt betydning for tilveksten. Konsentrasjonen av Cr, Hg, Ni og Pb var generelt for lav i alle vekstmediene i henhold til konsentrasjoner oppgitt i Gjødselforskriften (Gjødselforskriften 2003), til at de skulle kunne gitt noen problemer for planteveksten. Dette ble også reflektert i svært lave konsentrasjoner av Cr (Tabell 8 og 9) og Pb i samtlige planter. Konsentrasjonen av Hg og Ni ble ikke målt i plantematerialet. Konsentrasjonen av As, Co, Ba var også svært lav i samtlige planter sammenlignet med verdiene oppgitt for toksisitet (Tabell 2). Stoffene As, Ba, Co, Cr og Pb antas derfor å ikke ha noen forklaringsverdi for biomassetilvekst. Konsentrasjonen av B var normal i alle ledd. Stoffene Li, Sr og Ti er ikke kjent som verken essensielle næringsstoff eller å ha noen toksisk effekt på planter. På tross av variasjoner i konsentrasjoner diskuteres derfor ikke disse grunnstoffene videre.

### ***Stoffer som har noen betydning for biomassetilvekst***

Betydningen til konsentrasjon av Fe, Ca og Zn var mer uklar. Ved å sammenligne konsentrasjonen i plantene med oppgitte konsentrasjoner i tabell 1, kan mangel på Fe og overskudd av Ca og Zn ikke utelukkes som betydningsfulle i enkelte ledd. Det var salat dyrket i HK og MK som potensielt hadde jernmangel, mens tomat dyrket i P hadde noe høye sinkkonsentrasjoner. Dette er diskutert mer utfyllende under diskusjonen av de enkelte vekstmediene.

Kalsiumkonsentrasjonen varierte fra 0,4% (salat i MK) til 4,5% (tomat i RK), mens konsentrasjonen vanligvis oppgis å variere fra 0,2 til 1,0% med 0,5% som mest vanlig konsentrasjon (Havlin et al. 2005; Salisbury & Ross 1992). To variansanalyser for Ca i hhv. tomat og salat viste imidlertid at ingen planter har signifikant høyere Ca-konsentrasjon enn

plantene dyrket i torv. Det er heller ikke kjent at for høy Ca-konsentrasjon kan føre til direkte skade i planter (Aasen 1997). Det antas derfor at det ikke har vært et direkte skadelig overskudd av kalsium i noen planter.

Konsentrasjonen av P var noe høyere i enkelte planter (f.eks. 0,95% av TS i salat dyrket i KuP) enn normal konsentrasjon på 0,2% oppgitt av Raven et al. (2005). Det er likevel ikke grunn til å tro at det høye opptaket har forårsaket veksthemning. Den høyeste P-konsentrasjonen i vekstmediene var i 1,67 g/potte (RK). Etersom mengden vekstmedie per potte var 3 L tilsvarer dette en konsentrasjon på 56 mg P/100 ml. Sammenlignet med hva som er vanlig på arealer som benyttes til grønsaksproduksjon er ikke dette en spesielt høy P-konsentrasjon (Riley et al. 2012). Konsentrasjonen av K og S i plantene (Tabell 8 og 9) var i alle planter høyere eller lik normal konsentrasjon av disse stoffene (Riley et al. 2012). Skader av mangel på K og S utelukkes derfor. Etersom direkte skade ved overskudd av K og S er ikke påvist (Aasen 1997) regnes det heller ikke som sannsynlig at plantene har tatt skade av et eventuelt overskudd av K og S.

### *Stoffer i plantene som antageligvis har betydning for tilvekst av biomasse*

**Nitrogen.** Planter inneholder som regel mellom 1 og 6% N (Havlin et al. 2005). Tomatplanter har vanligvis en konsentrasjon mellom 4,0 og 5,5% (Aasen 1997). Tomat og salat i vekstforsøket hadde konsentrasjoner fra 1,7 (salat dyrket i HK) til 6,6% (tomat dyrket i RP). Tomatplantene dyrket i HK hadde også et lavt innhold av N sammenlignet med de andre plantene (1,9%). Selv om alle disse N-konsentrasjonene er innenfor normalen ifølge Havlin et al. (2005), gir nitrogenets viktige rolle i plantenes vekst grunn til nærmere undersøkelser for eventuelt sikkert å kunne utelukke mangel.

**Kobber.** I vekstforsøket var plantenes opptak av Cu generelt relativt høyt, og tomatplantene som vokste i KuP, MK, P, RP og torv hadde Cu-konsentrasjoner som vanligvis regnes som toksiske. Det var imidlertid ingen av salatplantene som hadde signifikant høyere konsentrasjon av Cu enn kontrollen torv.

**Aluminium.** Høye konsentrasjoner av fritt Al i vekstmediet skader røtter og gir redusert plantevekst. Særlig salat er sensitiv for høye aluminiumkonsentrasjoner i vekstmediet (Aasen 1997). De salatplantene som kan ha tatt opp og vært eksponert for skadelige konsentrasjoner, er dyrket i RK, KuP og MP. Alle disse vekstmediene gav også svært lav rotbiomasse hos salat (hhv. 0,1 g TS, 0,09 g TS og 0,14 g TS), sammenlignet med øvrige planter. Konsentrasjonen

av Al i disse salatplantene var hhv. 139 µg Al/g TS, 89 µg Al/g TS og 89 µg Al/g TS. Aluminiumtoksisitet gir gjerne utslag på plantens vekst ved konsentrasjoner på 50 til 200 µg Al/g TS i bladverket (McBride 1994). Konsentrasjonene oppgitt av McBride (1994) ikke er direkte sammenlignbare med konsentrasjoner i plantene. Sammen med den lave biomassetilveksten i røttene gir de likevel grunn til å tro at Al har hemmet biomassetilveksten hos salat dyrket i RK, KuP og MP.

**Kadmium.** Ingen av plantene i vekstforsøket hadde konsentrasjoner opp mot toksisk nivå av Cd (McBride 1994), men enkelte planter skilte seg likevel ut med en høy konsentrasjon sammenlignet med de øvrige plantene. Dette var spesielt tomatplantene dyrket i MK, samt salat og tomat dyrket i P. Plantene dyrket i MK eller P har Cd-konsentrasjoner som er omlag like høye, og har tatt opp en relativt like stor andel av kadmiumet i vekstmediet (ca. 3,3%). Dette tyder på at Cd ikke adsorberes like sterkt i MK og P som i de andre vekstmediene, hvilket kan være et potensielt problem med disse to mediene.

**Natrium.** Konsentrasjonen av Na i plantene korrelerte med plantenes biomassetilvekst, særlig for tomat (-0,78), men også for salat (-0,39). Det var imidlertid i salatplantene de høyeste Na-konsentrasjonene var, selv om det ikke er var en like systematisk sammenheng mellom biomasse og natriumkonsentrasjon for salat som for tomat. For eksempel var det plantene i P og HP som hadde de høyeste Na-konsentrasjonene, men disse hadde også den høyeste biomassen, etter torv. I et forsøk utført av Bartha et al. (2015) ble salat dyrket i 0, 50 og 100 mM NaCl. Biomassetilveksten i plantenes topp var signifikant lavere både i 50 og 100 mM NaCl enn i 0 mM NaCl. Rotbiomassen derimot ble stimulert av økende konsentrasjon av NaCl. Disse konsentrasjonene er høyere enn Na-konsentrasjonene i vekstmediene (fra 7,0 i RK til 17,4 i MP). Med hensyn på konsentrasjon av Na i plantene var det imidlertid ikke stor forskjell på plantene dyrket i vekstforsøket her, og plantene dyrket i forsøket til Bartha et al. (2015). I sistnevnte forsøk hadde planter dyrket i 50 mM NaCl en konsentrasjon mellom 0,8 og 1,2 mmol Na/g TS i skuddet. Det tilsvarer 18400 – 27600 µg Na /g TS<sup>3</sup>. Dette er ikke så mye høyere enn i enkelte av plantene dyrket i vekstforsøket, hvor den høyeste konsentrasjonen var 13272 µg Na /g TS (salat dyrket i Papirslam). Ekinci et al. (2012) fant i et lignende forsøk at biomassen til både skudd og rot hos salat ble redusert ved konsentrasjoner på 50 mM NaCl i vekstmediet. På grunnlag av resultatene i oppgaven og resultatene til Bartha et al. (2015) og Ekinci et al. (2012) virker det sannsynlig at et høyt opptak av Na i enkelte planter har hemmet

---

<sup>3</sup> Utregning: 0,8 mmol Na/ g TS \* 23000 µg Na/mmol = 18400 µg Na /g TS



tilveksten av biomasse. Det er særlig planter dyrket i blandinger som inneholder Papirslam som har høye konsentrasjoner av Na. Dette har antageligvis sammenheng med at FollaCell AS benytter natriumsilikat i prosessen Papirslammet stammer fra.

#### 4.2.3 Stabilitet og modenhet

Manglende stabilitet og modenhet i vekstmediene har, som beskrevet i del 1.2., konsekvenser både for spireevne og tilvekst av biomasse. Bioresten fra RBA hadde sterk lukt, ved kompostering kom ranken raskt opp i termofil temperatur (kap. 2.1), og spireevnen til frø sådd i materialet var svært lav. Samlet sett tyder dette på at bioresten fra RBA ikke var tilstrekkelig stabil og moden. Spireforsøk er en vanlig måte å undersøke stabilitet og modenhet på. Spireevnen i RBA var klart svært dårlig. Dette kan imidlertid også skyldes andre forhold, så spireforsøk kan ikke brukes som eneste indikasjon på umodenhet/ustabilitet. Bioresten fra HRA virker mer moden og stabil enn den fra RBA. I komposteringsforsøk økte ikke temperaturen (Pers kom. Reistad 2016), og bioresten fra HRA hadde ikke på langt nær like sterk lukt som RBA.

Stabiliteten er i stor grad styrt av råmaterialet og tiden på nedbrytningsprosessen (Alburquerque et al. 2012a). Råmaterialet er omtrent likt i RBA og HRA, og forskjellen ligger da antageligvis i biogassprosessen. Ved RBA og HRA er det både forskjellig oppholdstid i reaktorene, og substratet varmes opp til ulike temperaturer (se kap. 2.1).

#### 4.3 Gjødselforskriften

For å kunne brukes kommersielt som et vekstmedium som erstatter torv, må vekstmediene passere gjødselforskriften. Basert på resultatene fra vekstforsøket ser det ut som om ikke alle vekstmediene er «*godt egnet til dyrking og ikke har veksthemmende effekt*» (punkt c, kap. 1.2). Det var heller ikke klart at vekstmediene er stabiliserte (punkt d, kap. 1.2). Konsentrasjonen av Cd og/eller Cu var såpass høy i Papirslam, RP, HP, MP, RK, HK og MK at disse vekstmediene går ut av kvalitetsklasse 0 og inn i kvalitetsklasse I (Tabell 2). Torv og KuP ligger i kvalitetsklasse 0.

#### 4.4 Spireforsøk

I følge Raven et al. (2005) er de viktigste miljøfaktorene som styrer et frøs spireevne vann, oksygen, temperatur og eventuelt lys, altså egenskaper primært knyttet til fysiske forhold i vekstmediet. Lys og lufttemperatur var kontrollert i spireforsøket, og holdt på samme nivå for alle materialene. Tilgang på vann og oksygen er avhengig av porestørrelsesfordelingen, og varierte da mellom materialene. Spesielt var andelen luftfylte porer svært varierende for de ulike materialene, fra 11% i RBA til 51% i Kokosfiber.

##### ***Kokosfiber og Kufiber***

I Kokosfiber og Kufiber hadde frøene fra 87 til 97% spireevne. Felles for disse to materialene er at de begge kommer inn under kvalitetsklasse 0 (Tabell 2) i gjødselvereforskriften. De inneholdt lite ammonium og hadde en lav elektrisk konduktivitet (EC). Kokosfiber hadde i tillegg en stor andel drenerbare porer (>150  $\mu\text{m}$ ) og god tilgang på vann (30-150  $\mu\text{m}$ ), mens dette ikke ble målt for Kufiberet. Materialene hadde begge en pH (Tabell 6) som egner seg for spiring av tomat.

##### ***Papirslam og Markkompost***

I Papirslam og Markkompost var spireevnen lavere, ca. 70%. Markkomposten hadde litt lav vannholdeevne (7% i porefraksjonen 150 til 30  $\mu\text{m}$ ), signifikant lavere enn i HRA, Kokos og Papirslam. Markkomposten hadde også en relativt lav andel luftfylte porer (27%), signifikant lavere enn andelen hos Kokosfiber. Både Papirslam og Markkompost hadde en lav konsentrasjon av ammonium, men de hadde høyere konsentrasjoner av spormetaller enn Kokosfiber og Kufiber. Kadmium-konsentrasjonen i papirslam og Zn-konsentrasjonen i Markkompost ligger i kvalitetsklasse 1 (Tabell 2). I tillegg hadde Papirslam høy konsentrasjon av Al og Fe, og Markkomposten hadde høy elektrisk konduktivitet.

##### ***HRA og RBA***

HRA hadde lav spireevne, og i RBA spirte ingen frø. Lav stabilitet og modenhet har som beskrevet i del 1.2 sterk virkning på frøenes spireevne, og lav spireevne regnes derfor som en indikasjon på umodenhet og ustabilitet.

Både HRA og RBA hadde et svært lavt forhold mellom  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{NH}_4^+$ . I en kompost ville dette vært et tegn på umodenhet, men i biorestene er forholdet en naturlig følge av anaerob

nedbrytning. En  $\text{NH}_4\text{-N}$ -konsentrasjon høyere enn 0,1g/100 g TS indikerer imidlertid at substratet er fytotoksisk med hensyn på ammoniakk (Barker 1997) , hvis pH samtidig er høyere enn 7,5-8,0 (Sullivan & Miller 2001). Dette var tilfellet både for RBA og HRA (hhv. 0,63 og 0,50 g  $\text{NH}_4\text{-N}$  /100 g TS, og pH 8,4 i begge). Et totalinnhold av N høyere enn 3% kan også være en indikasjon på at substratet er ammoniakkholdig (Barker 1997). Kjeldahl-N ble målt til 3% og 6,8% i hhv. HRA og RBA (Tabell 6). Dette er indikasjoner på at det var fytotoksiske nivåer av ammoniakk særlig i RBA, men også i HRA.

RBA var et veldig kompakt materiale med lavt innhold av luftfylte porer. Materialet hadde den høyeste tettheten (0,18 g/cm<sup>3</sup>), og det signifikant laveste volumet av luftfylte porer (11%). Vannholdeevnen (andelen porer mellom 30 og 150  $\mu\text{m}$ ) skilte seg ikke fra andelen i de andre materialene, mens reservelageret av vann (andelen porer mellom 3 og 30  $\mu\text{m}$ ) var høyere hos RBA enn hos de andre materialene. Andelen luftfylte porer (>150  $\mu\text{m}$ ) var signifikant høyere i HRA (35%) enn i RBA, men signifikant lavere enn i Kokosfiber (51%). Andelen luftfylte porer (>150  $\mu\text{m}$ ) og vannholdeevnen (3-30  $\mu\text{m}$ ) i HRA var ikke signifikant forskjellig fra andelen i Kokosfiber. Begge materialene, men spesielt RBA, hadde skorpedannelse. Dette kan ha redusert luftvekslingen.

Det var potensielt toksiske konsentrasjoner av spormetaller i begge bioestene. HRA kom inn under klasse I for Cd, Zn og Cu. RBA hadde den aller høyeste konsentrasjonen av Cd og kommer i klasse II på grunn av den. I tillegg var konsentrasjonen av Zn og Cu i klasse I i RBA.

## 4.5 Vekstforsøk

I de følgende avsnittene vil det bli gjort et forsøk på å forklare hvorfor ingen av vekstmediene gav like god vekst som torva. Vekstmediene omtales i rekkefølge fra høyest til lavest biomassetilvekst. Torv omtales ikke i seg selv, men som referanse for de andre mediene.

### 4.5.1 HRA + Papirslam

Blandingen av HRA og Papirslam (HP) gav den høyeste biomassetilveksten etter torv, både for salat og tomat. Biomassetilveksten av salat i HP skilte seg ikke signifikant fra tilveksten av salat i torv. Fysisk skilte HP seg signifikant fra torv ved en høyere andel mikroporer ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) og en høyere tetthet før vekstforsøket. Andelen luftfylte porer ( $>150 \mu\text{m}$ ) var ganske lik i de to vekstmediene.

Konsentrasjonen av Na var nesten tolv ganger så høy i tomat dyrket i HP som i tomat dyrket i torv. Det tilsvarende forholdstallet i salat var nesten seks. Som diskutert i kap. 5.2.2 virker det sannsynlig at så høye Na-konsentrasjoner har hatt en veksthemmende effekt.

Nitrogenkonsentrasjonen var noe lavere i plantene dyrket i HP enn plantene dyrket i torv. I salatplantene var konsentrasjonen på hhv. 3,6% og 4,2%, men forskjellen var ikke signifikant. I tomatplantene var konsentrasjonen signifikant forskjellig, 3,3% og 4,2% i tomat dyrket i hhv. HP og torv. Sammenlignet med normal N-konsentrasjon i tomatplanter, 4,0-5,5% i bladverket (Aasen 1997), var konsentrasjonen på 3,3% noe lav. Tilstandsformen til N i vekstmediene kan også ha hatt betydning. Magalhaes og Huber (1989) sammenlignet biomassetilveksten til tomat hvor ammonium var eneste N-kilde med biomassetilveksten dersom nitrat var eneste N-kilde (pH 5,7). Ved ammonium som eneste N-kilde ble biomassen i tomat redusert med 33% etter én uke, og 38% etter to sammenlignet med nitratleddet. I vekstmediene hvor ammonium var eneste N-kilde sank også pH raskt (Magalhaes & Huber 1989). En eventuell nedgang i pH i HP ble imidlertid ikke reflektert i Al-konsentrasjon i plantene dyrket i HP. Plantene dyrket i torv tok opp en mye høyere andel av Al i vekstmediet enn plantene dyrket i HP (Tabell 11). Salatplantene hadde også en høyere konsentrasjon av Al når de er dyrket i torv enn i HP (Tabell 8).

Salatplantene dyrket i HP hadde en betydelig lavere konsentrasjon av Ca og Mg sammenlignet med salat dyrket i torv. Ifølge Havlin et al. (2005) kan opptaket av disse to

næringsstoffene hemmes hvis ammonium er eneste N-kilde. Det er likevel plantene dyrket i HP som lå nærmest verdier for normal konsentrasjon oppgitt av Raven et al. (2005) (Tabell 1). Konsentrasjonen av K var vel høy i salat dyrket i HP (6,7%) både i forhold til salat dyrket i torv (2,9%) og normale verdier oppgitt av Raven et al. (2005) (1%). Høyt K-opptak gir ikke direkte skade på planter, men kan hemme opptaket av bl.a. Ca og Mg (Aasen 1997).

Tomat dyrket i HP hadde en noe høy konsentrasjon av Cu (18,0%) sammenlignet med normalt innhold på 6-12% (Aasen 1997), men konsentrasjonen var lav sammenlignet med tomat dyrket i torv (28,2%).

På grunnlag av de fysiske egenskapene målt bør ikke redoksforholdene være særlig forskjellig i de to vekstmediene, men plantene dyrket i torv har allikevel tatt opp betydelig større mengder Mn enn plantene dyrket i HP. Det lave Mn-opptaket har sannsynligvis sammenheng med den gode tilgangen på oksygen i vekstmediet. Ved god tilgang på oksygen felles Mn ut som manganoksid (Aasen 1997), som er utilgjengelig for planter. Sammenlignet med normale konsentrasjoner av Mn i planter oppgitt av Aasen (1997) ser det likevel ikke ut til at plantene dyrket i HP har hatt Mn-mangel.

#### 4.5.2 Papirslam

Biomassen av salat og tomat dyrket i Papirslam (P) var i gjennomsnitt på hhv. 56% og 38% av biomassen dyrket i torv. Denne forskjellen var signifikant for tomat. Før vekstforsøket hadde P en signifikant høyere tetthet enn torv. Etter vekstforsøket var det torv som hadde den høyeste tettheten. Det var tettheten til torv som endret seg, tettheten til P var stabil.

Planter dyrket i P hadde generelt en høy konsentrasjon av Cd sammenlignet med plantene dyrket i torv og de andre vekstmediene. Tomatplantene dyrket i P hadde i tillegg toksiske konsentrasjoner av Zn og Cu. I P var også Na-konsentrasjonen høy, spesielt i salat.

Nitrogenkonsentrasjonen i planter dyrket i P var noe lav sammenlignet med N-konsentrasjonen i planter dyrket i torv, og normal konsentrasjon gitt for tomatplanter (Aasen 1997). Dette skyldes nok ikke tilstandsformen til N i vekstmediet da P og torv ble gjødslet med like mengder nitrat og begge inneholdt svært lite ammonium.

Sinktoksitet oppstår når konsentrasjonen i planten er fra 100 til 500  $\mu\text{g Zn/g TS}$  (Aasen 1997; McBride 1994). Tomatplantene dyrket i P hadde en konsentrasjon på 245  $\mu\text{g Zn/g TS}$ ,

altså en potensielt toksisk konsentrasjon. Cherif et al. (2011) fant at tomatplanter fikk begrenset biomassetilvekst når Zn-konsentrasjon i bladene lå på 65 µg Zn/g TS. Dette tyder på at et høyt Zn-opptak kan ha begrenset veksten av tomat i papirslam. Salatplantene dyrket i P skilte seg imidlertid ikke ut fra de øvrige plantene med hensyn på Zn-konsentrasjonene.

Salatplantene dyrket i P hadde den høyeste Na-konsentrasjonen. Sammenlignet med tomat og salat dyrket i torv var Na-konsentrasjonen over seks ganger så høy når plantene var dyrket i P. Likt som for plantene dyrket i HP virker det også som veksten til plantene dyrket i P kan være hemmet av for høy Na-konsentrasjon i biomassen.

Plantene dyrket i P hadde en høy konsentrasjon av Cd sammenlignet med de andre plantene (Tabell 8 og 9). Plantene dyrket i P hadde også det høyeste totale Cd-opptaket (Tabell 11), fire ganger som høyt som opptaket i planter dyrket i torv. Mengden Cd i papirslammet var på størrelse med mengden i HP, men hos plantene dyrket i HP var både opptak og konsentrasjon av Cd langt lavere. RP var det eneste vekstmediet med et høyere innhold av Cd, men også i RP var opptak og konsentrasjon av Cd i plantene betydelig lavere enn i planter dyrket i HP. Det lave opptaket skyldtes imidlertid en svært lav biomassetilvekst. Kadmium kan være mer plantetilgjengelig i papirslam alene, enn i blandinger med biorest. Kadmium adsorberes relativt svakt til organisk materiale med mindre pH er høyere enn seks, hvilket den ikke er i noen av mediene (McBride 1994).

#### 4.5.3 Markkompost + Kokosfiber

Den høye andelen luftfylte porer (>150 µm) i MK sammenlignet med torv, tyder på at tilgang på oksygen ikke var en begrensende faktor. Tilgangen til vann (andelen porer i fraksjonene 30-150 µm og 3-30 µm) var lavere i MK enn i torv, men heller ikke veldig lav i MK.

Mn-konsentrasjonen i salat og tomat dyrket i MK var lav (hhv. 17 og 13 µg/g TS). Planter får gjerne symptomer på Mn-mangel ved konsentrasjoner lavere enn 15-25 µg/g TS i bladene (Aasen 1997), og normal konsentrasjon i hele planten er 50 µg/g TS (Raven et al. 2005). Den lave Mn-konsentrasjonen i planter dyrket i MK kan skyldes vekstmediets høye andel luftfylte porer.

Konsentrasjonen av Ca var lav i planter dyrket i MK (0,42 og 0,46 % i hhv. salat og tomat) sammenlignet med planter dyrket i torv (1,67 og 3,77 % i hhv. salat og tomat). Ifølge Aasen (1997) ligger normal konsentrasjon av Ca i tomat mellom 3,0 og 4,0 % i bladverket. Selv om

plantekonsentrasjonen i vekstforsøket ble målt for rot og topp samlet, og derfor ikke er direkte sammenlignbar med konsentrasjonen gitt i Aasen (1997), er det grunn til å tro at det kan ha vært Ca-mangel i tomatplantene dyrket i MK. Forskjellen var også stor mellom salatplantene dyrket i MK og i torv. I torv var totalmengden Ca i potten 0,3 mg, mens den var 5,1 mg i pottene med MK. Den totale mengden Ca i vekskaret var altså betydelig høyere i MK enn i torv, men opptaket av kalsium i planten var likevel betydelig lavere i MK enn i torv. Det var tydeligvis lav tilgjengelighet av kalsium i MK. Plantetilgjengeligheten av Ca styres av total konsentrasjon av Ca i vekstmediet, pH (opptak øker med økende pH), kationebyttekapasitet (CEC), prosentandel kalsium av CEC, og mengden kalsium i forhold til andre kationer i jordvæska (Havlin et al. 2005). Av disse faktorene var det kun total konsentrasjon av Ca som ble målt. pH ble beregnet ved oppstart av vekstforsøket. En mulig forklaring på redusert kalsiumtilgjengelighet i MK kan være at pH har sunket i løpet av vekstforsøket, men aluminiumsopptaket (som ikke er spesielt høyt) tyder på at pH ikke sank så mye. Kalsiumkonsentrasjonen i plantene dyrket i de andre Kukompost-blandingene (MP og KuP) var også lav sammenlignet med konsentrasjonen i planter dyrket i de andre vekstmediene.

Tomatplantene dyrket i MK hadde en noe høy konsentrasjon av Cd. Tilsvarende høy konsentrasjonen ble målt i planter dyrket i Papirslam.

#### 4.5.4 HRA + Kokosfiber

Da HK har et signifikant lavere reservelager av vann (porer i fraksjonen 3-30  $\mu\text{m}$ ) enn torv ved vekstforsøkets begynnelse kan dette tyde på en litt lav tilgang til vann. HK var blant vekstmediene med høyest andel luftfylte porer ( $>150 \mu\text{m}$ ), men det har likevel ikke ført til tegn på Mn-mangel i plantene som vokser i HK.

Opptaket av N var lavt både i salat og tomat dyrket i HK (hhv. 1,7 og 1,9%) sammenlignet med planter dyrket i torv. I tomatplanter er en konsentrasjon på 4-5,5% i fullt utvikla blad normalt (Aasen 1997). Denne er ikke direkte sammenlignbar med konsentrasjonen i hele planten, men gir en indikasjon på at N-mangel kan ha vært et problem for plantene dyrket i HK.

Plantenes Fe-konsentrasjonen var også noe lav. Ifølge Havlin et al. (2005) er det tilstrekkelig med 50-250  $\mu\text{g Fe/g}$  i bladverket for optimal vekst og funksjon. Aasen (1997) mener 30-80  $\mu\text{g/g}$  i overjordiske plantedeler er tilstrekkelig i den vegetative vekstfasen, mens både Salisbury og Ross (1992) og Raven et al. (2005) oppgir 100  $\mu\text{g Fe/g}$  som en generelt passende

plantekonsentrasjon. Det kan dermed ikke utelukkes at en konsentrasjon på 44 µg Fe/g i plantematerialet indikerer en mangel.

Hvorvidt Na har forårsaket problemer for plantene dyrket i HK er uklart. Konsentrasjonen av Na var signifikant høyere i planter dyrket i HK enn i planter dyrket i torv, men konsentrasjonen var likevel ikke blant de høyeste i vekstforsøket. Av alle vekstmediene hadde HK den høyeste konsentrasjonen av Al, men dette ble ikke reflektert i et spesielt høyt opptak av Al i plantene dyrket i HK.

Det var stor forskjell på biomassetilveksten i HP og HK. Mens Kokosfiber allerede er et anerkjent vekstmedium i salg, er Papirslam nytt og uprøvd. Man skulle forvente at biomassetilveksten ble lavere i HP enn i HK ettersom Papirslammet har litt høyt innhold av Al, Cd og Na. Nesten tilsvarende er biomassetilveksten høyere i RP enn i RK, men den forskjellen er ikke signifikant.

#### 4.5.5 RBA + Kokosfiber

Porefordeling i vekstmediet av Kokosfiber og RBA (RK) skiller seg tydelig fra den i torv. Ved vekstforsøkets begynnelse hadde RK en lavere vannholdeevne, et lavere reservelager av vann og en høyere andel luftfylte porer og mikroporer enn torv. Tilgangen på oksygen ser altså ikke ut til å være vekstbegrensende i RK, men det kan ha vært litt dårlig tilgang på vann.

Plantene dyrket i RK hadde de høyeste konsentrasjonen av Al. Konsentrasjonen var på et så høyt nivå at den er toksisk (McBride 1994). Det var også høy konsentrasjon av Al i RK, sammenlignet med de andre vekstmediene. Også konsentrasjonen av Na var høy i plantene dyrket i RK (6141 og 5040 µg Na/g TS i hhv. salat og tomat), betydelig høyere enn i plantene dyrket i torv (2107 og 700 µg Na/g TS i hhv. salat og tomat).

I spireforsøket var det tydelig at RBA hadde fytotoksiske effekter på spiringen. Andre forsøk har vist av biorest kan brukes i vekstmedier hvis den fortynnes, selv om den alene virket spirehemmende i spireforsøk (Abdullahi et al. 2008). Det kan da likevel se ut som at fortynning av RBA i blandingen RK ikke var nok når bioresten var så ustabil og umoden.



#### 4.5.6 RBA + Papirslam

Vekstmediet av RBA og Papirslam (RP) hadde sammenlignet med torv en porefordeling med høyere andel mikroporer ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) og reservelagring av vann (porer mellom 3 og  $30 \mu\text{m}$ ). Luftvekslingen var ikke forskjellig. De fysiske målingene tyder ikke på at det har vært for lav tilgang til luft eller vann i RP.

Med hensyn til konsentrasjoner av stoffer i plantene var det spesielt en høy Na-konsentrasjon som peker seg ut som sannsynlig årsak til hemmet vekst. Natriumkonsentrasjonen i salat dyrket i RP var imidlertid lavere enn i salat dyrket i P og HP. Biomassetilveksten av tomat i P og HP var imidlertid flere ganger høyere enn tilveksten av tomat i RP, så det kan være at Na-konsentrasjonen ikke var den eneste årsaken til lav vekst i RP. På samme måte som diskutert for vekstmediet RK, ser det ut som den dårlige biomassetilveksten i hovedsak skyldes at bioresten fra RBA var lite moden og stabil. Fortynningen innblanding av strukturmaterialer innebærer var da ikke stor nok til helt å unne utjevne den negative virkningen en umoden og ustabil biorest har på plantevekst.

#### 4.5.7 Kufiber + Papirslam

Med hensyn til de fysiske egenskapene målt i dette forsøket, var ikke blandingen av Papirslam og Kufiber (KuP) signifikant forskjellig fra torv. Den store forskjellen i biomasseproduksjon mellom de to vekstmediene kan altså ikke forklares ved hjelp av de fysiske egenskapene til vekstmediene.

I plantene dyrket i KuP var det litt høye konsentrasjoner av Al både i tomat og salat, og noe høy Cu-konsentrasjon i tomat. En tomatplante dyrket i KuP hadde høy konsentrasjon av krom, men målefeil kan ikke utelukkes.

I KuP var plantenes opptak av Mn ( $12 \mu\text{g Mn/g TS}$  i salat og  $11 \mu\text{g Mn/g TS}$  i tomat) svært lavt sammenlignet med i torv ( $457 \mu\text{g Mn/g TS}$ ). Ifølge Aasen (1997) oppstår mangel med hensyn på Mn når konsentrasjoner i plantens bladverk er lavere enn  $15\text{-}25 \mu\text{g Mn/g TS}$ . Det er derfor mulig at lavt Mn-opptak har hemmet planteveksten i KuP. Den totale Mn-konsentrasjonen i vekstmediet tilsier imidlertid ikke mangel. Den var omlag 6 ganger høyere i KuP enn i torv. Mangan blir lett utilgjengelig for plantene hvis det er oksiderende forhold. Tilgangen på luft er god i KuP, men ikke mye bedre enn i de andre vekstmediene.

Konsentrasjonen av Na var høy i plantene dyrket i KuP. I tomat nesten åtte ganger høyere enn i tomat dyrket i torv. På samme måte som i HP og i P alene, er det sannsynlig at et høyt innhold og planteopptak av Na er hemmende for planteveksten i KuP.

#### 4.5.8 Markkompost + Papirslam

Før vekstforsøket hadde blandingen av Papirslam og Markkompost (MP) en signifikant lavere andel porer i fraksjonen 0,2-3  $\mu\text{m}$  og en høyere andel porer mindre enn 0,2  $\mu\text{m}$  sammenlignet med torv. Etter vekstforsøket hadde MP en signifikant lavere tetthet enn torva. Salatplantene dyrket i MP var de minste i forsøket, og alle tomatplantene døde. Ved undersøkelse av røttene etter høsting, ble det observert at MP-mediet var blitt svært tørt øverst, men var svært fuktig lenger nede i vekstkaret. Sannsynligvis hadde det vært anaerobe forhold nede i potta gjennom vekstperioden, slik at mangel på oksygen kan ha vært en vekstbegrensende faktor. Det var høye konsentrasjoner av Al i tomatplantene som vokste i MP. Det var også høy konsentrasjonen av K i plantene dyrket i MP. I tillegg hadde plantene dyrket i MP den samme lave konsentrasjonen av Mn som plantene dyrket i KuP hadde. Liten tilgang på plantetilgjengelig Mn passer dårlig sammen med observasjonen av anaerobe forhold.

Det er vanskelig å forklare den svært dårlige veksten i MP ut i fra de målingene som er gjort, men vekstmediet skiller seg tydeligst fra de andre ved at den høye fuktigheten nederst, i bunnen av potta. Sannsynligvis var det var lav tilgang på oksygen som var hovedårsaken til den dårlige planteveksten i MP. En medvirkende årsak kan kanskje også ha vært høy ammonium/ammoniakk-konsentrasjon i vekstmediet på grunn av anaerobe forhold.

## 5 Konklusjon

Forsøk og resultatene i denne oppgaven viste at å finne en fullgod erstatning for torv ikke er enkelt. I motsetning til forventningene hadde ikke vekstmedienes fysiske egenskaper stor betydning for biomassetilvekst. Vekstmediene holdt seg relativt stabile gjennom en vekstperiode, og luftvekslingen var gjennomgående god. Årsaken til lav biomassetilvekst skyldtes i stor grad vekstmedienes kjemiske egenskaper. Høyt planteopptak av aluminium og natrium, manglende stabilitet og høy konsentrasjon av ammonium fremstår som sannsynlige årsaker til den svake biomassetilveksten. Opptaket av aluminium lar seg antageligvis dempe ved en bedre regulering av pH i vekstmediene. Det var spesielt vekstmedier hvor Papirslam inngår at plantene hadde et høyt opptak av natrium. En del av biomassereduksjonen i vekstmedier hvor biorest inngår kan antagelig tilskrives formen av nitrogen i vekstmediet, som i hovedsak var ammonium.

Vekstmediet med høyest biomasseproduksjon etter torv var blandingen av biorest fra Hadeland og Ringerike Avfallsselskap og Papirslam (HP). I dette vekstmediet var tomatplantenes biomasse 75% av biomassen til tomat dyrket i torv. Dette er for lav tilvekst til å kunne anbefale bruk av dette vekstmediet. I tillegg var variasjonen i biomasse i vekstmediet stor, hvilket er en stor ulempe ved bruk i veksthusproduksjon. Vekstmediet kan imidlertid være et godt utgangspunkt for nye undersøkelser. Flere av egenskapene som synes å gi veksthemning kan sannsynligvis endres og reduseres. En aerob etterbehandling av bioresten vil kunne redusere ammoniuminnholdet. Å erstatte Papirslammet helt eller delvis med et annet strukturmateriale vil fjerne natriumkilden. Å bruke et Papirslam som ikke behandles med natriumsilikat kan også bedre veksten i en vekstblanding med Papirslam som strukturmateriale.

## 6 Referanser

- Aasen, I. (1997). *Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrningar hos kulturplanter*. 2 utg. Institutt for jord- og vassfag, NLH: Landbruksforlaget.
- Aasen, I. & Johansen. (2015). *JORD230 Øvelse 2015 Tiltrekking av planter med spesifikke symptom på mangel av enkelte næringsstoff*.
- Abdullahi, Y. A., Akunna, J. C., White, N. A., Hallett, P. D. & Wheatley, R. (2008). Investigating the effects of anaerobic and aerobic post-treatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment. *Bioresource Technology*, 99 (18): 8631-8636.
- Albuquerque, J. A., de la Fuente, C. & Bernal, M. P. (2012a). Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 160: 15-22.
- Albuquerque, J. A., de la Fuente, C., Ferrer-Costa, A., Carrasco, L., Cegarra, J., Abad, M. & Bernal, M. P. (2012b). Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass & Bioenergy*, 40: 181-189.
- Alexander, P. D., Bragg, N. C., Meade, R., Padelopoulos, G. & Watts, O. (2008). Peat in horticulture and conservation: the UK response to a changing world. *Mires and Peat*, 3.
- ASCP. (2001). *Quality criteria for composts and digestates from biodegradable waste management*. Schönbühl, Switzerland: Association of Swiss Compost Plants (ASCP) in collaboration with the Swiss Biogas Forum. Tilgjengelig fra: [http://www.biophyt.ch/documents/vks\\_english\\_000.pdf](http://www.biophyt.ch/documents/vks_english_000.pdf) (lest 15.03.2017).
- Avfall Norge. (2017a). *Biologisk behandling*. Tilgjengelig fra: <http://www.avfallnorge.no/pop.cfm?FuseAction=Doc&pAction=View&pDocumentId=71287> (lest 16.03.2017).
- Avfall Norge. (2017b). *Deponering og forurenset grunn*. Tilgjengelig fra: <http://www.avfallnorge.no/deponering1.cfm> (lest 16.03.2017).
- Barker, A. V. (1997). Composition and use of compost. I: Rechcigl, J. & MacKinnon, H. C. (red.) *Agricultural uses of by-products and wastes*: American Chemical Society.
- Bartha, C., Fodorpataki, L., Martinez-Ballesta, M. D., Popescu, O. & Carvajal, M. (2015). Sodium accumulation contributes to salt stress tolerance in lettuce cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88: 42-48.
- Bernal, M. P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M. A. & Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63 (1): 91-99.
- Brandager, S. (2016). *Produksjon av kokosfiber*. Jiffy Products International AS (epost 03.11.2016).
- Brinton, W. F. (2000). Compost quality standards and guidelines. *Wood Ends Research Laboratory, prepared for New York State Association of Recyclers*.
- Butler, T. A., Sikora, L. J., Steinhilber, P. M. & Douglass, L. W. (2001). Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*, 30 (6): 2141-2148.
- Børresen, T. (2011). *Pore size distribution and pF-analysis*. Norwegian University for Life Sciences: Department of plant and environmental sciences. Upublisert manuskript.
- Cherif, J., Mediouni, C., Ben Ammar, W. & Jemal, F. (2011). Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Environmental Sciences*, 23 (5): 837-844.

- Crawley, M. J. (2007). *The R Book*. West Sussex, England: Wiley.
- de Boodt, M. & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26: 37-44.
- Eijkelkamp. (2007). *Operating Instructions 08.01 Sandbox*. Tilgjengelig fra: <https://www.google.no/?client=firefox-b-ab#q=eijkelkamp+sandbox+0801+operating+instructions> (lest 9.09.16).
- Ekinci, M., Yildirim, E., Dursun, A. & Turan, M. (2012). Mitigation of Salt Stress in Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Crispa*) by Seed and Foliar 24-epibrassinolide Treatments. *Hortscience*, 47 (5): 631-636.
- Farrell, M. & Jones, D. L. (2010). Food waste composting: Its use as a peat replacement. *Waste Management*, 30 (8-9): 1495-1501.
- Garcia-Gomez, A., Bernal, M. P. & Roig, A. (2002). Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes. *Bioresource Technology*, 83 (2): 81-87.
- Gjødselvereforskriften. (2003). *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav*. Landbruks- og matdepartementet, Klima- og miljødepartementet & Helse- og omsorgsdepartementet.
- Govasmark, E. (2016). *Prosessen ved romerike biogassanlegg* (Muntlig bekreftelse på at opplysningene om RBA er korrekte 18.11.2016).
- Grigatti, M., Di Girolamo, G., Chincarini, R., Ciavatta, C. & Barbanti, L. (2011). Potential nitrogen mineralization, plant utilization efficiency and soil CO<sub>2</sub> emissions following the addition of anaerobic digested slurries. *Biomass and bioenergy*, 35: 4619-4629.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Beaton, J. D. & Nelson, W. L. (2005). Soil Fertility and Fertilizers. I: Yarnell, D. (red.), s. 137-141. New Jersey: Pearson Education.
- Hicklenton, P. R., Rodd, V. & Warman, P. R. (2001). The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark composts as components of container growing media. *Scientia Horticulturae*, 91 (3-4): 365-378.
- Holden, J. (2005). Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 363 (1837): 2891-2913.
- Joosten, H., Bartelmes, A., Couwenberg, J., Hassel, K., Moen, A., Tegetmeyer, C. & Lyngstad, A. (2015). Metoder for å bergne endring i klimagassutslipp ved restaurering av myr. *Naturhistorisk rapport*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Vitenskapsmuseet. 88 s.
- Justice, O. L. & Reece, M. H. (1954). A review of literature and investigation on the effects of hydrogen ion concentration on the germination of seeds. *Proceedings of the association of official seed analysts*, 44: 144-149.
- Lalonde systhermique. Tilgjengelig fra: <http://sien.lalondesysthermi.netdna-cdn.com/steam-condensate/wp-content/uploads/saturated-steam-table.pdf> (lest 28.04.17).
- Li, W. Q., Khan, M. A., Yamaguchi, S. & Kamiya, Y. (2005). Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regulation*, 46 (1): 45-50.
- Magalhaes, J. R. & Huber, D. M. (1989). Ammonium assimilation in different plant-species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture. *Fertilizer Research*, 21 (1): 1-6.
- Mathur, S. P., Owen, G., Dinel, H. & Schnitzer, M. (1993). Determination of compost biomaturity. I. Literature Review. *Biological agriculture and horticulture*, 10 (2): 65-85.
- McBride, M. B. (1994). *Environmental chemistry of soils*. New York Oxford: Oxford University Press.

- Meerow, A. W. (1994). Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *HorScience*, 29 (12).
- Michel, J. C. (2010). The physical properties of peat: a key factor for modern growing media. *Mires and Peat*, 6.
- Moen, A., Dolmen, D., Hassel, K. & Ødegaard, F. (2010). *Miljøforhold og påvirkninger for røddlistearter - Myr, Kilde og Flommark*. Trondheim: Artsdatabanken.
- Moen, I. (2017). *Kompostering av bioest fra RBA* (09.05.2017).
- Måge, J. (2016a). *Norge bør lagen en plan for utfasing av bruk av torv*. Tilgjengelig fra: <http://www.avfallnorge.no/nyheter1.cfm?pArticleId=43184&pArticleCollectionId=2556> (lest 30.03.2017).
- Måge, J. (2016b). *Stortinget vil ha plan for utfasing av torv*. Tilgjengelig fra: <http://www.avfallnorge.no/artikkel.cfm?pArticleId=46720&pArticleCollectionId=2556>.
- NISK. (2000). *The chemical analysis program of the norwegian forest research institute 2000*. Plant samples. Ås.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A. & Noguera, V. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34 (3-4): 593-605.
- Pahlsson, A. M. B. (1989). Toxicity of heavy-metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants - a literature-review. *Water Air and Soil Pollution*, 47 (3-4): 287-319.
- Peralta, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E. & Parsons, J. G. (2001). Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66 (6): 727-734.
- R Core Team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. Wien, Østerrike: R Foundation for Statistical Computing.
- Raven, P. H., Evert, R., F. & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants*. I: Weiss, V. (red.). New York: W. H. Freeman and Company.
- Reistad, J. (2016). *Prosessen ved biogassanlegget til Hadeland og Ringerike Avfallsselskap* (Telefonsamtale 13.09.2016).
- Riley, H., Stubhaug, E., Kristoffersen, A. Ø., Krogstad, T., Guren, G. & Tajet, T. (2012). *P-gjødsling til grønnsaker. Evaluering og nye anbefalinger*: Bioforsk.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H. & Swings, J. (2003). A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology*, 53 (4): 349-410.
- Salisbury, F. B. & Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. 4 utg.: Wadsworth.
- Schlesinger, W. H. & Bernhardt, E. (2013). *Biogeochemistry - An analysis of global change*. 3 utg.: Academic press.
- Schmilewski, G. (2008). The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*, 3.
- Schnürer, A. & Jarvis, Å. (2010). *Microbial Handbook for Biogas Plants: Swedish Waste Management*.
- Selen, K. (2016). *Produksjon av papirslam*. MMK FollaCell AS (Telefonsamtale 16.09.2016).
- Steel, C. (2016). *Torvproduksjon og røddlistede arter* (e-post 19.10.2016).
- Steiner, C. & Harttung, T. (2014). Biochar as a growing media additive and peat substitute. *Solid Earth*, 5 (2): 995-999.
- Sullivan, D. M. & Miller, R. O. (2001). Compost quality attributes, measurements, and variability. I: Stofella, P. J. & Kahn, B. A. (red.) *Compost utilization in horticultural cropping systems*, s. 95-120. Boca Raton: Lewis Publishers.

- Tollersrud, T. (2017). *Uttak av torv i Norge* (22.03.2017).
- Vandereerden, L. J. M. (1982). Toxicity of ammonia to plants. *Agriculture and Environment*, 7 (3-4): 223-235.
- Vasdal, K. (2016). *Produksjon av markkompostert kugjødsel og varmkomposterte gjødsel fibre* (21.09.16).
- Wichuk, K. M. & McCartney, D. (2010). Compost stability and maturity evaluation - a literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37 (11): 1505-1523.
- Yara Norge AS. (2014). *Gjødselhåndbok 2014/2015*.

## 7 Vedlegg

### Vedlegg I

#### Oversikt over metoder benyttet for å bestemme materialenes kjemiske egenskaper

Fysiske og kjemiske egenskaper	Enhet	Ref/metode
Totalt tørrstoff	%	NS 4764-1/NS-EN 12880
Organisk materiale (glødetap)	% av TS	NS 4764-1/NS-EN 12879
Totalt organisk karbon, TOC	% av TS	EN 13137
pH		NS 4720 – 2/NS-EN 12176
Elektrisk konduktivitet	mS/m	NS ISO 7888/ NS-EN 13038
Densitet	g/l	NS-EN 13040
<b>Næringsstoffer og fellingskjemikalier - Total</b>		
Fosfor	g/100 g TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
Nitrogen (13654-1)	g/100 g TS	NS-EN 13654-1 m
Jern	g/100 g TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885
Aluminium	g/100 g TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
Kalsium	g/100 g TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
Kalium	g/100 g TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
Magnesium	g/100 g TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
<b>Mikronæringsstoffer ”Av betydning for plantevekst”</b>		
Bor	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
Mangan	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
<b>Næringsstoffer ”Av betydning for plantevekst”</b>		
Ammonium-N (NH <sub>4</sub> ) (elektrode)	g/100 g TS	2 M KCl, NS-EN 14671
Nitrat-N (NO <sub>3</sub> ) (IC)	g/100 g TS	2 M KCl, NS-EN 14671, NS-EN ISO 10304
Fosfor (P-AL)	g/100 g TS	AL
Kalium (K-AL)	g/100 g TS	AL
Kalsium (Ca-AL)	g/100 g TS	AL
Magnesium (Mg-AL)	g/100 g TS	AL
Natrium (Na-AL)	g/100 g TS	AL
Svovel:	g/100 g/TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS-EN ISO 11885
<b>Tungmetaller ”Total innhold”</b>		
Kadmium (Cd)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> , NS 4781 - 1 m(NS-EN ISO 11885)
Kvikksølv (Hg)	mg/kg TS	NS 4768 - 1 m
Bly (Pb)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885
Krom (Cr)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885
Sink (Zn)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885
Kobber (Cu)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885
Arsen (As)	mg/kg TS	7 M HNO <sub>3</sub> ,NS-EN ISO 11885







Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)