



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Udvikling af polymerdug til ukrudtsbekæmpelse i træbeplantninger

Miljøprojekt nr. 1634, 2015

Titel:

Udvikling af polymerdug til ukrudtsbekæmpelse i træbeplantninger

Redaktion:

Lasse Lind , Rönström
Ove Knudsen, Rönström

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

Foto:

Lasse Lind, Rönström

År:

2015

ISBN nr.

978-87-93283-53-4

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
1. Baggrund.....	8
2. Afdækning af tekniske muligheder	11
2.1 Indledning.....	11
2.2 Generelt.....	11
2.3 Bionedbrydelige polymere.....	12
2.4 Bionedbrydelige filt- eller fiberdug	13
2.5 Bionedbrydelige sammenføjningsmaterialer	14
2.6 Bionedbrydelige indfarvningsstoffer (MB).....	14
2.7 Release-teknologier og indlejring af gødningsstoffer.....	15
2.8 Konklusion	17
3. Udvikling.....	18
3.1 Indledning.....	18
3.2 Materialer.....	18
3.3 Nedbrydningsmekanismer	19
3.4 Release-teknologier og gødningsstoffer	22
3.5 Konklusion	22
4. Materialer	23
4.1 Indledning.....	23
4.2 Aktiviteter.....	23
4.3 Valg af materialer til laboratorieforsøg.....	23
4.4 Gennemførelse af laboratorieforsøg, forcerede ældningsforsøg samt mikrobiologisk nedbrydningsforsøg	23
4.5 Placering i vand:.....	24
4.6 Placering i luft.....	26
4.7 Placering i Weather Ometer (temperatur, vand & UV-lys):.....	27
4.8 Weather Ometer Testen.....	27
4.9 Weather Ometer Prøvningsresultater	28
4.9.1 A (20 µm):	28
4.9.2 B (20 µm):	28
4.9.3 C (20 µm):	29
4.9.4 C (40 µm):	30
4.9.5 D (40 µm):	31
4.9.6 Kombination af A (20 µm) og C (20 µm):	32
4.9.7 Weather Ometer overordnede resultater	33
4.10 Placering i ”Bio-Reaktor”	34
4.10.1 Testen	34
4.10.2 Resultater	35
4.10.3 Sammenfatning	35
4.11 Konklusion	35
5. Test.....	37

5.1	Indledning.....	37
5.2	Aktiviteter.....	37
5.3	Undersøgelse af varmeisolerende egenskaber af afdækningsfolier	37
5.3.1	Generelt.....	37
5.3.2	Indgående materialer og forsøgsbetingelser.....	38
5.3.3	Måleresultater	38
5.3.4	Konklusion	39
5.4	Fremstilling af prøvefolie	39
5.5	Gennemførelse af semifelt forsøg 1	42
5.5.1	Prøveresultater	45
5.5.2	Overordnede resultater og konklusion.....	51
5.6	Gennemførelse af semifelt forsøg 2.....	52
5.6.1	Validering og konklusion	55
5.7	Markforsøg.....	56
5.7.1	Udlægningen	56
5.7.2	Foreløbig validering	59
5.7.3	Konklusion	62
5.8	Temperatur målinger.....	63
5.8.1	Konklusion	63
5.9	Konklusion	64
6.	Perspektivering.....	66
	Referencer	67
	Bilag.....	69

Forord

Miljøstyrelsen bevilligede i slutningen af 2012 tilskud til ”Udvikling af multifunktionelt bionedbrydeligt plantebeskyttelsessystem” under Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram, som administreres af Miljøstyrelsen og bevilget med hjemmel i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1049 af 7. november 2012 om tilskud til miljøeffektiv teknologi.

Projektet startede 1. januar 2013 og blev afsluttet 1. december 2014.

Der var af Miljøstyrelsen nedsat en følgegruppe, som bestod af:

Lise Samsøe-Petersen, Miljøstyrelsen,
Peter Hartvig, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Flakkebjerg
Rune Ventzel Hansen, Danske Juletræer indtil ultimo 2013.
Claus Jerram Christensen, Danske Juletræer fra primo 2014.

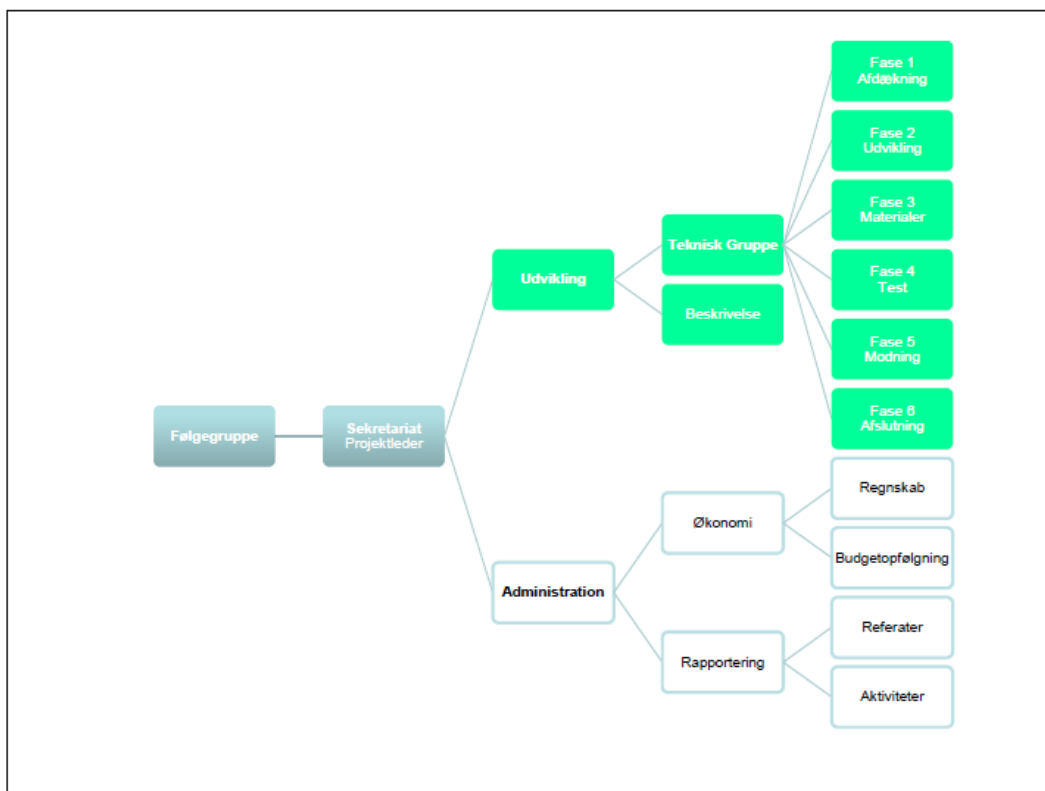
Formand for følgegruppen var Lise Samsøe-Petersen.

Projektleder var Lasse Lind, Rönström, som varetog sekretariatsfunktionen.

Følgegruppens formål var:

- At vejlede og rådgive således, at projektet kunne gennemføres i overensstemmelse med forudsætningerne for tilsagnet.
- At vurdere projektets forløb og resultater.
- At koordinere projektet med øvrige relevante projekter.
- At rådgive således, at formidlingen af projektets resultater skete så hensigtsmæssigt som muligt.

Den organisatoriske opbygning af projektet var følgende:



Udviklingen af projektet var opdelt i forskellige trin eller faser med indbyggede milepæle.

Overordnet var opdelingen følgende:

- Afdækning
- Udvikling
- Materialer
- Test
- Modning

Sammenfatning

Projektets formål var at udvikle en folie til specielt træbevoksninger og gøre det produktionsklart. Denne folie skulle dække 3 delmål nemlig hæmme ukrudtsvæksten, nedbringe anvendelsen af pesticider samt afgive gødning i et afpasset tempo.

Afgivelsen af gødning blev undervejs i processen udeladt, fordi der i indlejring i folien, var risiko for udvikling af farlige dampe under opvarmning (produktion). Der var også på grund af modtagne og modstridende informationer fra forskellige sider, hvorledes der bør gødes ved juletræsdyrkning, sat tvivl om berettigelsen af punktet omkring analyse af indlejringen og afgivelsen af gødningsstoffer. Derfor blev punktet indtil videre sat i bero.

Derudover skulle folien være sammensat således, at den var forgængelig, hvorved miljøet blev skånet og ressourcerne til bortskafning blev fjernet.

Der er gennemført laboratorieforsøg til undersøgelse af forskellige foliers egenskaber og semi- og markforsøg til afprøvning af testfolier. Herunder blev der gennemført indledende forsøg til belysning af foliens eventuelle betydning for frostskafer på træerne, men disse var ikke konklusive på grund af vejrforholdene.

Samlet set er der opnået viden om og erfaring med de forskellige materialer samt deres styrker og svagheder i marken. En folie med et procentvis højt indhold af PBAT egner sig rigtigt godt til udlægning og til et fugtigt miljø, og en folie med et højt indhold af PLA er meget UV stabil men ikke egnet til udlægning på grund af ringe elasticitet.

Det ønskede produkt kunne ikke blive færdigudviklet i projektperioden. Der er således behov for en fortsættelse af udviklingen.

Denne udvikling skal baseres på at kombinere det bedste fra flere materialer i en ny type folie der indeholder flere lag (en CO-ekstruderet/ lamineret folie). Idet der er behov for dels en homogen folie, der kan udlægges maskinelt, dels for fugtstabilitet og UV bestandighed.

Der gives forslag til materialevalg til de to folielag og perforeringsmetode samt til udlægningsmaskinel.

1. Baggrund

Idégrundlaget for tankerne og planerne for denne polymerdug var de iøjnefaldende og uønskede fremvækster (ukrudt) blandt vækster først og fremmest juletræer.

Problemet med ukrudt fremgik af nedstående iagttagelse på en helt tilfældig mark, som blev nyplantet med Nordmannsgran i efteråret 2009.

Før



2 måneder senere



Spørgsmålet var om dette problem kunne løses ved hjælp af midler, som ikke var til skade og gene for naturen, og som samtidig kunne tilgodese dyrkernes behov.

Heraf opstod idéen med at udvikle en dug, som kunne lægges under træbeplantningen til beskyttelse af disse mod ukrudt.

I forbindelse med udviklingen af løsningen til afdækning af dette behov opstod tillige idéen om det var muligt at indlejre gødning i dugen, således at arbejdsgangen hos producenterne kunne gøres mere enkel.

Alt hvad der fandtes og var gjort af erfaringer, var fabrikeret i ikke forgængelige materialer, hvilket også dokumenterede behovet.

Konklusionen på disse overvejelser var udvikling af et produkt – en polymerdug med følgende målsætning:

- Bionedbrydelig,
- Hæmme uønskede vækster,
- Forgængelighed afstemt med behovet,
- Indlejring og afgivelse af gødning i det ønskede tempo,
- Fremstilles udelukkende af materialer der var komposterbare og ikke giftige.

For producenterne vil produktet betyde en optimering af arbejdsprocesserne ved en forenkling af arbejdet igennem vækstperioden ved at folien ikke fjernes. Effekten for erhvervet var selvfølgelig omkostningsbesparelser til den løbende vedligeholdelse til både arbejdsressourcerne samt til anvendelsen af pesticider.

Heroverfor står naturligvis omkostningen til anskaffelsen af produktet. Målet vil være, at produktets salgspris vil skulle svare til omkostningen til anvendelsen af pesticider, således at den løbende arbejdsindsats på vedligeholdelsen kunne udgøre besparelsen.

Gennem en periode på godt 10 år havde der på juletræer og læhegn været anvendt Arbortec folie (www.arbortec.com). Planterne voksede både bedre og fik flere knopper og folien virkede rigtig godt for hindring af ukrudt. Desværre har folien ikke været bionedbrydelig, hvilket er meget uheldigt, da man efterfølgende har skullet fjerne den efter skovning af træerne. Virkningen var bedst på sandjord. Det skyldtes, at folien også holder på vandet i jorden, og det var den begrænsende faktor for vækst om sommeren på den breddegrad, hvor Danmark er placeret.

I forhold til særligt besværlige kulturer som fx padderokker og lignende der ikke lader sig bekæmpe med herbicider vil ukrudtsfolie være uovertruffen. Man slår bare det der vokser i mellem banerne og kulturen vil være ren. Man kunne slå hele sommeren, i blæsevejr, endda i regnvejr, hvilket ikke lader sig gøre med sprøjtning.

Der kunne komme græstæppe og det kunne give frostproblemer. Græsset kunne "nulstilles" med en behandling med et bladmiddel som fx et Glyphosat produkt. Derefter kunne urterne komme dvs. det bredbladede ukrudt tilbage og man kunne fortsætte slåningen.



Mineralsk folie ville blive liggende, hvilket selvfølgelig vil være uheldigt. Biologisk produceret og miljømæssigt acceptabelt folie med en programmeret levetid på 2-4 år vil have et enormt markedspotentiale i fremtiden. Denne situation vil komme hurtigt nærmere eftersom mængde af anvendelige og lovlige herbicider på markedet var faldende, samtidig med at behovet for miljømæssige hensyn vil være stærkt stigende.

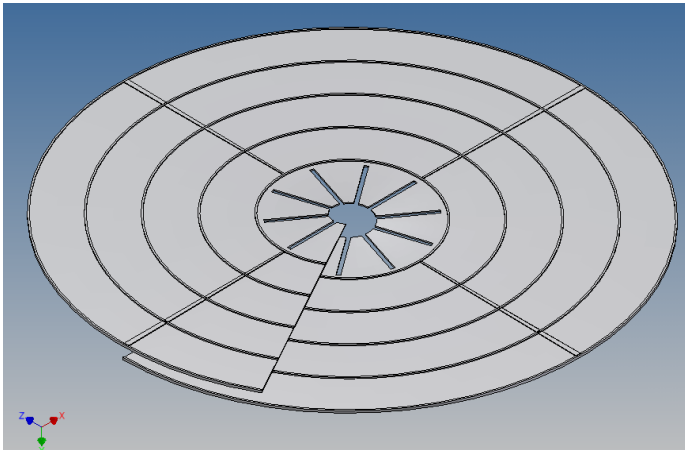
Hvis der ikke opnås en stor udspreddelse og afsætning indenfor industrien kunne produktet alternativt målrettes særlige segmenter såsom økologisk drift.

Der var allerede mange afdæknings produkter på markedet fx afdækningsplader.

Leverandørerne havde ført en høj-pris politik, der havde bevirket, at metoden aldrig var nået ud på store arealer, hvor kemien stadig fører. Der kunne opnås kvantumsrabatter ved storindkøb, men dog af begrænset omfang. Endelig havde de færreste noget at fastgøre afdækningen med alternativt var der tale om en omkostningstung løsning.

Folie havde større arealmæssigt potentiale end plader. Det faktum, at en person kunne lægge 100-200 plader ud pr time, medbringe materialer rundt på arealet og med en fysisk arbejdsbelastning ville gøre det omkostningstungt. Pladerne hører hjemme på de mindre arealer og med en afsætning i mindre kvanta med afgørende betydning for enhedsprisen.

Der kunne dog være en mulighed for at sprøjtestøbe en planteplade i et bionedbrydeligt granulat på baggrund af erfaringerne med den bionedbrydelige folie, for på den måde at tilfredsstille såvel det private marked som det semi professionelle marked. Større grossister med formidling og salg til udplantning af træer og buske, gødning og spagnum kunne være interessant, da trenden indenfor udplantning til havebrug vil gå imod en minimering af anvendelsen af pesticider.



Med udgangspunkt i folie, så kunne en 3-rækket folie-udlægger køre 3 km/time. Det svarede til at anlægge 9.000 plantesteder i timen. Maskinen skønnedes at koste ca. kr. 150.000 Som 1-rækkers skønne anskaffelsessummen af være ca. kr. 50.000.

Ifølge foreløbige markedstilkendegivelser er grænsen for slutbrugernes anskaffelsesomkostning for et bionedbrydeligt folieprodukt i forhold til de traditionelle metoder ca. kr. 7.000 pr. hektar svarende til ca. kr. 1 pr. træ. Dette skal naturligvis i givet fald verificeres.

2. Afdækning af tekniske muligheder

2.1 Indledning

Under kortlægningen af materialerne og teknologi muligheder var der taget udgangspunkt i den foreløbige opfattelse nemlig, at projektets slutprodukt ville bestå af en enkelt eller en flerlags rullevareløsning.

Ændres denne opfattelse senere i projektet ville de mulige indgående materialer formentlig alligevel være indeholdt i kortlægningen af egnede materialer.

Følgende delelementer var omfattet af kortlægningen af mulige materialer til plantebeskyttelsessystemet:

- Bionedbrydelige polymere (folie)
- Bionedbrydelig filt- eller fiberdug
- Bionedbrydelige sammenføjningsmaterialer
- Bionedbrydelige indfarvningsstoffer (MB)
- Mulige release-teknologier i samspil med ovennævnte materialer
- Mulig indlejring af gødningsstoffer (evt. andre stoffer)

2.2 Generelt

Udgangspunktet for udvikling af plantebeskyttelsessystemet var, at alle indgående materialer var miljøvenlige og bionedbrydelige.

Målet var som udgangspunkt, at der anvendtes materialer til plantebeskyttelsessystemet, som i løbet af en årrække nedbrydes og komposteres og uden problemer kunne overlades til at indgå i den almindelige organiske omsætning på dyrkningsarealerne.

De foreslåede materialer kunne godt være helt eller delvist baseret på ikke-fornybare ressourcer som fx jordolie, men signalværdien i at anvende naturligt forekommende plantebaserede materialer og/eller fx bioplast var selvfølgelig at foretrække.

Generelt anvendtes betegnelsen 'bioplast' til at beskrive to forskellige koncepter:

- Funktionen, dvs. bionedbrydeligheden og/eller komposterbarheden af plastmaterialet
- Materialeudgangspunktet, dvs. plast baseret på fornybare ressourcer/biomasse

Det var vigtigt at gøre sig klart, at bioplast ikke altid var bionedbrydelig, og bionedbrydelig plast ikke altid var baseret på biomasse. Begge koncepter havde sin berettigelse, men det var vigtigt at forholde sig til disse forskelle, specielt set i lyset af de forskellige markeds-mæssige og miljømæssige forhold.

I praksis indeholder mange af de kommercielt tilgængelige bionedbrydelige polymerer delelementer der var baseret på fossilt olie..

Definitionen af bionedbrydelighed er, at et produkt eller et materiale nedbrydes af naturligt forekommende mikroorganismer indenfor en relativ kort tidsperiode. Produktet eller materialet skulle nedbrydes til kuldioxid, metan, vand, uorganiske forbindelser og/eller biomasse. Bionedbrydeligheden defineres og testes i forhold til det miljø, som et materiale skal nedbrydes i. Nedbrydningshastigheden og effektiviteten er afhængig af ilt, fugt, temperatur, enzymer, mikroorganismer og andre faktorer.

Bionedbrydeligheden kan udmærket forgå i flere trin, hvor første trin kunne være af en anden karakter af nedbrydning end af mikroorganismer. Eksempler herpå var Hydrolyse (vand der helt eller delvist opløser produktet, materialet eller dele heraf) eller UV-nedbrydelighed (UV-lys der helt eller delvist nedbryder produktet eller materialet).

Bionedbrydelighed og komposterbarhed af produkter og materialer reguleres via internationale standarder som EN13432 og ASTM D6400.

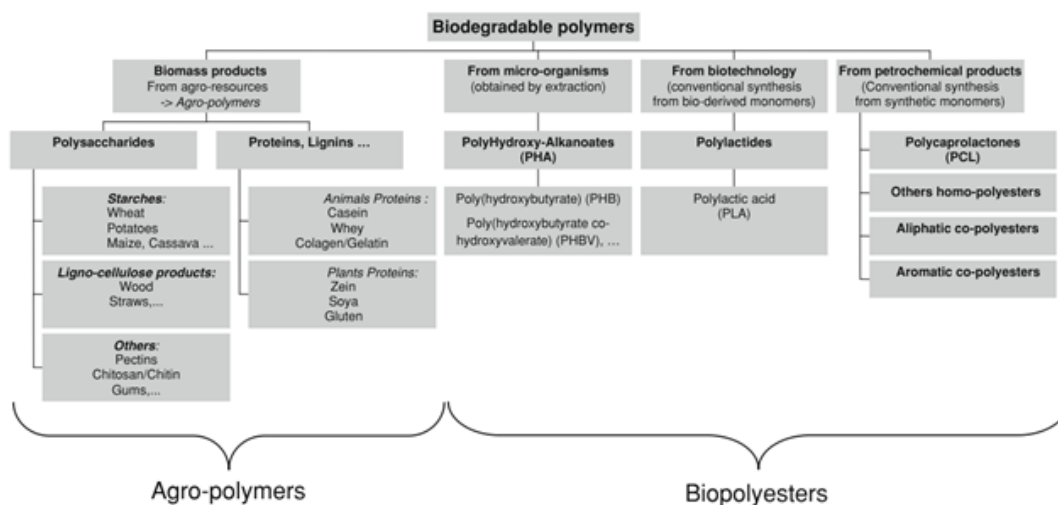
At et produkt eller et materiale er komposterbart betyder, at produktet eller materialet kunne nedbrydes ved biologiske processer under aerobe (iltrige) forhold til enkeltstoffer, som for eksempel kuldioxid, vand og uorganiske stoffer uden synlige eller ikke-synlige kontamineringer og indholdsstoffer med negativ effekt på nedbrydningen.

Et af hovedpunkterne i den europæiske standard EN13432 er, at hvis 90 % af materialet er omdannet inden for en periode på 6 måneder i et veldefineret miljø er materialet komposterbart. Plantebeskyttelsessystemet udviklet i dette projekt operere med en levetid på 3 - 4 år, hvilket gør at EN13432 vil kunne bringes i anvendelse, hvis materialet testes med en mindre godstykkelser.

2.3 Bionedbrydelige polymere

Listen over bionedbrydelige polymertyper er efterhånden lang, men som udgangspunkt var mange af de beskrevne polymertyper blandinger af forholdsvis få "rå-polymerer". Disse blandinger er udtryk for en meget varieret anvendelse, hvor der til specifikke produkter stilles særlige materialekrav.

Nedenstående figur viser en oversigt over de vigtigste bionedbrydelige polymerer.



Polymererne listet under "Agro-polymerer" anvendes oftest i blandinger (blends).

Af de viste bionedbrydelige polymerer ansås følgende polymerer som værende interessante til anvendelse i plantebeskyttelsessystemet:

- Cellulosepolymerer
- Stivelsespolymerer (TPS)
- Polyhydroxyalkanoater (PHA), (PHB), (PHBV)
- Polymælkesyre (Poly(Lactic Acid)) (PLA)
- Fossiltbaserede polyestertyper – fx Polycaprolactone (PCL)

Af disse typer vurderedes PLA den mest interessante type på grund af muligheden for kunne "programmere" bionedbrydeligheden bl.a. ved at kombinere PLA-materialet med andre typer af bionedbrydelige polymere som fx stivelsespolymere. PLA-materialet var også det mest udbredte bioplastmateriale, hvilket også gør at materialet var tilgængeligt fra en del leverandører og i mange varianter.

PLA anvendtes allerede i nogen grad til planteafdækning bl.a. i forbindelse med produktion af salater i Norge

PLA var som udgangspunkt bionedbrydelig, men havde samtidig også en høj grad af bestandig over for angreb fra mikroorganismer i jord. Polymeren skulle først hydrolyseres (påvirkes af vand) for at reducere molekylerne længde, før bionedbrydning kunne påbegyndes. Nedbrydningen af PLA var afhængig af faktorer som krystallisationsgrad, molekylvægt samt udformningen af produktet.

Mens højkrystallinske PLA krævede mellem måneder og år for at blive nedbrudt, ville amorft PLA nedbrydes fuldstændigt i løbet af få uger. Generelt kunne nedbrydningen af PLA sammenlignes med nedbrydningen af træ. PLA var derfor typisk ret lagerstabil under tørre forhold. Ligeledes kunne PLA ud fra sin grundsammensætning samt ved tilsætning af additiver "programmeres" til en bestemt tilsigtet nedbrydningshastighed, når det var udsat for udendørs klimaforhold.

2.4 Bionedbrydelige filt- eller fiberdug

Filt-/fiberduge fandtes i mange former og fremstilles af mange forskellige fibermaterialer – både naturlig forekommende fibre og syntetiske fibre – typisk polymerbaserede. Syntetiske fibre kunne være baseret på bionedbrydelig polymere, men var fortrinsvis baseret på klassiske ikke-bionedbrydelige fibre.

Fiberduge baseret på syntetiske fibre anvendtes i stor stil til geotekstiler, men kunne i en del tilfælde udmærket være fremstillet af naturligt forekommende fibre. Fiberdugen ville formentlig ret hurtigt efter udlægningen binde sig til den underliggende jordoverflade og over tid blive en integreret del af denne. Herved kunne undgås at vinden dels flytter på afdækning og senere evt. ville blæse stumper af afdækningen rundt på arealerne.

Filt- eller fiberdugen i planteafdækningssystemet skulle typisk bibringe beskyttelsessystemet følgende egenskaber:

- Styrke- og stivhedsgivende egenskaber
- Indlejring af gødningsstoffer (porøsitet)
- Forankring af afdækningen til den underliggende jordflade

Af naturlige fibertyper kunne nævnes.

- Cellulosefibre
- Viskose (kemisk behandlet cellulose – ændre bionedbrydeligheden)
- Plantefibre (hamp, jute, sisal m.fl.)
- Bomuldsfibre
- Animalske fibre (hår fra dyr)
- Bionedbrydelige polymerfibre fx PLA

Heraf var cellulosefibre og plantefibre de mest interessante på grund af tilgængelighed og pris samt den helt grønne profil.

Cellulosefibre fandtes dels i krystallinsk form, dels i amorf form. Celluloseindholdet i fibrene havde stor betydning for fibrenes holdbarhed og mekaniske egenskaber, især styrken, hvor et højt celluloseindhold medførte stor styrke. Celluloseindholdet var også afgørende for nedbrydeligheden.

Til en polymerdug til ukrudtsbekæmpelse i træbeplantninger ville den forholdsvis lange levetid være en kombination af flere fiber være en oplagt mulighed - fx fibre med kort levetid og høj porøsitet til afgivelse af gødningsstoffer og fibre med lang levetid til styrke/stivhed samt forankring til jordoverfladen.

Nedbrydning af naturfibre var afhængig meget af fibrenes art og oprindelse, samtidig med at en eventuel forbehandling af fibrene både kunne accelerere og forsinke ned-brydningshastigheden.

2.5 Bionedbrydelige sammenføjningsmaterialer

Sammenføjningen af lagene i plantebeskyttelsessystemet kunne ske på flere måder. Den klassiske fremgangsmåde var at anvende en klæber/lim mellem lagene, men der kunne også anvendes andre metoder fx:

- Perforering (flytning af materiale fra et lag over i det andet)
- Syning (nåling) med bionedbrydelig tråd – fx PLA (perforere hele laget samtidigt)
- Indlejret klæbeadditiv i polymerfolie (samme teknologi som ”wrap-folie”)
- Laminering, hvor den ene komponent gøres klæbende og hæfter på den anden komponent

Mange af de polymerer der var udviklet og produceres til anvendelse i bionedbrydelige produkter og materialer kunne typisk også anvendes som basispolymer i bionedbrydelige klæbesystemer. Der ville derfor være en del gengangere fra oversigten med mulige bionedbrydelige polymere.

Følgende sammenføjningsmaterialer kunne anses som værende interessante til anvendelse i plantebeskyttelsessystemet:

- Polyvinylalcohol (PVOH)
- PLA baserede hotmelt/resin
- PHA baserede hotmelt/resin
- Andre hotmelt/vokssystemer baseret på blandinger af biopolymerer/paraffin/voks

2.6 Bionedbrydelige indfarvningsstoffer (MB)

Der var fra brugerside givet udtryk for nødvendigheden af en indfarvning af plantebeskyttelsessystemets øverste polymerlag.

Indfarvning af polymerer skete typisk ved tilsætning af en farvemasterbatch i ekstruderingsprocessen. Den anvendte farvemasterbatch skulle på lige fod med de øvrige indgående materialer være bionedbrydelig og ikke indeholde skadelige stoffer som fx tungmetaller.

Af leverandører af indfarvningsstoffer kunne nævnes:

- POLYBATCH Color: Black, White, Beige and Green (A. Schulmann, (B)) (certificeret som komposterbar - Vincotte).
- RENOL colors (Clariant, (CH)) (certificeret som komposterbar - Vincotte).

Herudover fandtes der en lang række leverandører bl.a. "Because We Care" som var et australsk firma med kinesisk produktion, og som hævder at have bionedbrydelige farvestoffer. Der var dog svært at gennemskue, hvorvidt disse farvestoffer evt. indeholdte andre skadelige stoffer.

2.7 Release-teknologier og indlejring af gødningsstoffer

Mulige release-teknologier (Controlled release) samt mulig indlejring af gødningsstoffer (evt. andre stoffer) og integration i plantebeskyttelsessystemet

"Controlled release" eller på dansk "kontrolleret frigivelse" var en teknologi der omhandlede afgivelse af kemiske forbindelser til det omgivende miljø som reaktion på ydre stimuli (påvirkninger) og/eller tid.

Denne teknologi kendtes især fra medicinalindustrien, hvor der ofte var behov for at medicin afgives til kroppen i specifikke omgivelser og over en specifik tidsperiode fx målrettet behandling af sygdomme i områder af mave-tarmkanalen.

Andre områder der betjente sig af forskellige former for kontrolleret frigivelse af kemiske stoffer var fødevarerindustrien, producenter af kosmetik- og plejeprodukter, samt ikke mindst i landbruget, hvor kontrolleret frigivelse af kunstgødning havde været kendt og anvendt siden 1970'erne. Denne form for gødskning ville give en bedre udnyttelse af gødningsstofferne og mindske risikoen for udvaskning af gødningsstoffer til vandløb og grundvand. Den kontrollerede frigivelse skete typisk ved opløsning, nedbrydning og/eller ødelæggelse af et bæremateriale, hvori det aktive gødningsstof var placeret.

Ved indtagelse af simple former for medicin som fx hovedpinepiller var den kontrollerede frigivelse alene begrænset til et ydre beskyttelseslag der kunne opløses i mavesækken og frigive de bagved liggende smertestillende kemiske stoffer. Dette lag var nødvendig for, at brugeren ikke skulle skal "smage" de virksomme stoffer, når pillen blev taget i munden. Andledes stillede det sig ved depotmedicin, hvor de smertestillende stoffer var indlejret som et netværk i et mindre opløseligt bæremateriale og kunne frigives i takt med, at fugten nedbryder/opløser bærematerialet udefra og ind. Man fik derved en langsommere effekt, men en længere virkningsvarighed.

Ydre påvirkninger der typisk kunne bringes i anvendelse ved kontrolleret afgivelse var:

- Fugtpåvirkninger
- Osmotiske påvirkninger
- Ændringer af pH
- Enzympåvirkninger
- Lys
- Temperatur
- Andre kuriøse påvirkninger som fx magnetfelter, ultralyd og elektroniske systemer MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems).

Plantebeskyttelsessystemet i dette projekt var tiltænkt en funktionalitet, hvor indlejret gødning frigives over en kontrolleret periode og bibringer de ny udsatte planter et gødningstilskud især i begyndelsen af vækstperioden.

Den eksakte tidsramme var ikke på forhånd defineret, da mængden af gødningsstoffer, som det var muligt at indleje/indbygge, sammenholdt med afgivelseshastigheden ikke kendtes på daværende tidspunkt. Ligeledes var formen, hvormed gødningsstofferne lejredes/indbyggedes ikke endeligt fastlagt.

Som udgangspunkt var der overvejet en løsning, hvor lejring/indbygning af gødningsstoffer skete i form af vakuumimprægnering af en naturfiberdug med flydende gødningsstoffer. Gødningsstofferne ville så efter udlægning blive afgivet i takt med nedbrydningen af fiberdugen. For at dette skulle kunne lade sig gøre var det nødvendigt at anvende en naturfiber med høj grad af porøsitet, hvori gødningsstofferne kunne lejres enten i egen form (flydende gødningsstoffer) eller i en matrix med et anden bionedbrydeligt materiale fx en voks, paraffin eller en bionedbrydelig polymer.

Indlejringen/indbygningen af gødningsstoffer kunne i øvrigt tænkes at foregå ved:

- Trykimprægnering/vakuumimprægnering af naturfibre med flydende gødningsstoffer eller en blanding af gødningsstoffer og et andet bionedbrydeligt materiale, der afgives i takt med nedbrydningen
- Traditionel gødningsperler/plader/flager indlejret i ler, der igen indlejres i fiberdugen eller i klæbelag mellem fiberdug og polymerfolie
- Anvendelse af tungtopløselige gødningstyper indlejret i plantefilt eller i klæbelag mellem fiberdug og polymerfolie
- Anvendelse af tungtopløselige gødningsstoffer placeret i kæbelaget mellem polymerfolie og fiberdug
- Placering af gødningsstoffer i vandopløselige kugler direkte indstøbt i polymerfolie, i klæbelaget mellem polymerfolie og fiberdug eller placeret direkte i fiberdugen.

Fortsattes der i sporet med indlejring/indbygning af gødningsstoffer i en fiberdug ved hjælp af vakuumimprægnering skulle man være opmærksom på at de biologiske nedbrydningsprocesser der pågik ved omdannelsen af fibrene også "forbruger" af gødnings-stofferne.

Følgende former for kontrolleret frigivelse af gødningsstoffer kunne bringes i anvendelse i plantebeskyttelsessystemet:

- Udvaskning (opløsning) herunder:
 - Nedsivende vand (regn)
 - Kondensering pga. temperatursvingninger
 - Kvælning pga. vandoptagelse i porøsiteter i fibre med heraf følgende udvidet udvaskning
- Diffusion (passage af stoffer igennem fibermateriale og/eller bæremateriale)
- Erosion (nedbrydning af fibermaterialet samtidig med at vakuumimprægnerede gødningsstoffer frigives).
- Indkapsling af gødningsstoffer (mikro indkapsling)

Af disse ville udvaskning kombineret med erosion nok være de mest realistiske.

2.8 Konklusion

Det at indlejre gødningsstoffer var en kompliceret proces, dels fordi der var flere opfattelser af, hvornår gødningen skulle frigives, og dels fordi der var praktiske forhold, som kunne være svære at opfylde.

Nogle havde den opfattelse, at der først skulle gødskes efter nogle år, mens andre - ud egen praktisk erfaring - mente, at planterne skulle have en "madpakke" med fra starten. Uanset hvilken tese der var rigtig, var det en svær proces at styre, ikke mindst fordi klimaet og de forskellige jordbundsforhold havde en afgørende indflydelse på frigivelse af næringsstofferne.

På den ene side var det godt med gødning, men på den anden side kunne en forøget mængde, der frigives være skyld i at planternes rødder svides, og at planten så enten hæmmes i vækst eller simpelthen dør.

En tryk / vakuumimprægnering med flydende gødningsstoffer i filt, der blev afgivet i takt med nedbrydningen af filt materialet var indtil videre den mulighed, der ansås som værende den mest optimale. En indlejring af gødningen i selve plastmaterialet var ikke mulig, fordi man ved selve blæsningen af folien opnåede nogle temperaturer, hvor der udvikledes fx blåsyre, som både var ødelæggende og farlig.

3. Udvikling

3.1 Indledning

Næste trin i projektet var derefter en udvælgelse af materialerne til fremstilling en dug med en kontrollerbar nedbrydningsmekanisme under påvirkningen fra vandpåvirkning, UV, naturlig mikrobiologi mv.

Samtidig arbejdedes der sideløbende videre med indlejring af gødningsstoffer samt teknologier til frigørelse heraf målrettet de udvalgte vækster.

3.2 Materialer

Udgangspunktet for plantebeskyttelsessystemet var følgende dele:

- Bionedbrydelige polymere (folie)
- Bionedbrydelig filt- eller fiberdug
- Bionedbrydelige sammenføjningsmaterialer
- Bionedbrydelige indfarvningsstoffer (MB)

På grund af tilgængelige informationer (at der ikke blev gødsket på juletræsarealer de første to år) samt de måleresultater, som havde kunnet konstateres i varmeudstrålingsforsøgene (semifelt forsøg 1.) var anvendelsen af filt/fibre i udvikling af polymerdug til ukrudtsbekæmpelse i træbeplantninger sat i bero.

Filt havde en merisolierende effekt og med de erfaringer, der var gjort i forhold til frostskafer med hensyn til knopskydning og udeladelsen af gødning var filt på nuværende tidspunkt udeladt.

Der arbejdedes derfor primært med komposteringen af plastfolien og videre med et enkeltfoliesystem, der dog udmærket kunne bestå af flere forskellige typer af bionedbrydeligt materiale og/eller to eller flere lag (CO-ekstruderet folie, dvs. sammenlagt).

Da projektet ikke selv skulle udvikle og fremstille råmaterialerne til planteafdækningsfolien, var udviklingen af folien derfor underlagt de muligheder, som materialeleverandørerne gav.

I projektets start blev en række leverandører kontaktet med henblik på at hjemtage relevante eksempler på bionedbrydelige materialer. Udgangspunktet var, at materialerne skulle være fuldt bionedbrydelige, men ikke nødvendigvis helt baseret på fornybare ressourcer.

Det viste sig at være svært at få kontakt til relevante leverandører, men med en enkelt leverandør blev der etableret en fornuftig dialog, hvor der blev diskuteret materialer og disses formodede nedbrydelighed ved påvirkninger fra fx vand, UV, mikrobiologi samt kemiske påvirkninger.

Den pågældende leverandør tilbød på linje med andre leverandører en række bionedbrydelige og komposterbare polymerblandinger (blends) der dels var fuldt bionedbrydelige og komposterbare, men som samtidig også indeholdt en betydelig andel af polymer fremstillet fra fornybare ressourcer.

De hidtidige undersøgelser og analyser havde givet et kendskab og overvejelser til anvendelse i den endelige planteafdækningsfolie, hvoraf følgende skal nævnes:

- Klar Polylactide (PLA)
- Stivelsesbaseret folie (Biobag)
- Viskose filt til mulig indlejring af gødningsstoffer og/eller forstærkning af selve planteafdækningen.

En række polymere blandinger kunne komposteres jf. EN13432 og ASTM D6400. Disse materialer skulle kun have en meget begrænset holdbarhed og var derfor ikke egnede til planteafdækning der skulle kunne holde i op til 2 år.

Ud over levetiden/bionedbrydelighed skulle materialerne også helst indeholde andre egenskaber som fx basale styrkeegenskaber og rivestyrke.

Efter gennemførelse af egne undersøgelser samt drøftelse med den pågældende leverandør var udvalgt materialer med følgende grundpolymerer, der begge var polyester-typer:

- Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)
- Polylactide (PLA)

De to materialer var compouneret sammen og indeholder således også andre hjælpestoffer.

Disse kendes ikke ved navn, men var af leverandøren garanteret til at være fuldt bionedbrydelige. Det var samme materialeblanding, som man finder i materialet Ecovio & Ecoflex fra BASF samt andre leverandører som fx Eastman Chemicals (USA) og Novamont (Italien). Dermed var der i princippet flere mulige leverandører, hvis forventningerne ikke lykkes med den udvalgte leverandør.

Disse to sammensatte materialer anvendtes allerede som afdækningsfolier i forskellige sammenhænge, hvor der typisk var tale om korttidsanvendelse (1 – 3 måneder).

En af de største fordele ved at arbejde med et to-komponentsystem var, at man kunne variere indholdet af de to bestanddele og derved i en eller anden grad kunne styre eller ”programmere” levetiden.

Der var foreløbigt valgt at fokusere på tre materialekombinationer:

- A (indeholder ca. 15 % PLA)
- B (indeholder ca. 30 % PLA)
- C (indeholder ca. 60 % PLA)

Øvrigt indhold angives til at være aromatiske co-polyestre (som forventes var PBAT)

3.3 Nedbrydningsmekanismer

En planteafdækningsfolie udsættes for en række påvirkninger, der hver især kunne have meget stor indflydelse på den endelige og fuldstændige nedbrydning og i sidste ende i kompostering.

Ved en levetid som afdækningsfolie på 2 år, kunne folien selvfølgelig ikke komposteres over kort tid. Der vil typisk gå endnu flere år inden alt materialet var fuldt nedbrudt til typisk vand og muld.

Det var dog ikke af afgørende betydning, da juletræsproduktion typisk strækker sig over

5 – 7 år. Eventuelle rester af planteafdækningsfolien ville efter endt brug blot blive pløjet ned og i løbet af meget kort tid være fuldt omdannet.

Man kunne betragte nedbrydningen af planteafdækningsfolien som værende i stil med nedbrydning af en gren med små kviste, tynde grene samt tykke grene – de små kviste nedbrydes først, herefter de tynde grene og slutteligt de tykke grene efter lang tid.

Planteafdækningen udsættes for følgende påvirkninger der kunne have indflydelse på nedbrydningen samt nedbrydningshastigheden:

- Lyspåvirkninger - sollys (Uv-stråling)
- Fugt (nede frakommende fugt, regn, sne, is mv.)
- Mikrobiologiske angreb (bakterier/svampe)
- Temperaturpåvirkninger (Solindstråling (1000 W/m² i sommerperiode) og frost i vinterperioden)
- Vindlast – som kunne medføre revner/rivninger
- Perforering – planter, dyr og skadedyr

Nedbrydningsmekanismer for de valgte grundpolymere var forskellige, men i hovedtræk gør følgende sig gældende:

PLA

- PLA's nedbrydningshastighed afhang meget af materialet krystallinitet, hvilket betød at høj krystallinitet medførte langsom nedbrydning, hvorimod lav krystallinitet medførte en forøget nedbrydningshastighed.
PLA med høj krystallinitet nedbrydes stort set ikke før materialet påvirkedes med temperaturer på over 50 °C (hvilket man normalt kun opnåede i industrielle komposteringsanlæg). PLA-materialet i vores systemer havde formentlig en lav krystallinitet, hvilket forbedrede nedbrydningshastigheden.
- PLA var ufølsom overfor hydrolytisk nedbrydning (vandpåvirkning) ved lave temperaturer.
- PLA blev ikke umiddelbart angrebet af enzymer, bakterier, svampe mv. ved ambient temperatur (stuetemperatur). Da PLA var meget resistent overfor mikroorganismer var det nødvendigt, at materialet hydrolyseredes inden polymeren kunne nedbrydes af mikroorganismer.
- PLA havde en generel god UV-stabilitet, men ville dog over tid nedbrydes, hvis det ikke indfarvedes gennem et UV-additiv i form af fx sort MasterBatch (kørnøg)
- PLA havde gode trækegenskaber, men en lav brudforlængelse, hvilket gjorde materialer ret skørt med en samtidig mindre god rivestykke.

PBAT

- PBAT kunne sammenlignes med almindelig polyetylen PE, når der sås på de almindelige materialeegenskaber. Materialet var blødt og havde en meget høj brudforlængelse og samtidig også en meget høj rivestykke.
- PBAT var følsom overfor hydrolytisk nedbrydning i polymerblandinger med lavt indhold af PBAT. Når indholdet af PBAT var på ca. 55 % eller derover faldt nedbrydningshastigheden

markant.

- PBAT påvirkedes af mikrobiel aktivitet. Hvis materialet placeredes i omgivelser med høj biologisk aktivitet fx staldgødning mv. nedbrydes materialet forholdsvis hurtigt. Almindeligt mikrobiel aktivitet i jord vil også nedbryde materialet over tid. Nedbrydningshastigheden var kædet sammen materialets hydrolysering.
- PBAT havde en generel dårlig UV-stabilitet, og nedbrydes forholdsvis hurtigt, hvis der ikke indfarvedes/tilsattes UV-additiv i form af fx sort MasterBatch.
- PBAT havde svage trækegenskaber, men en høj brudforlængelse, hvilket gjorde materialet meget velegnet til planteafdækningsfolie.

Nedenstående tabel viser nogle grundparametre for hovedtyperne af kommercielt tilgængelige biopolyestre:

TABEL 3.1: MAIN COMMERCIAL BIOPOLYESTERS

	PLA Dow- Cargill (NatureWorx)	PHBV Monsanto (Biopol D400G) HV=7 mol%	PCL Solway (CAPA 680)	PEA Bayer (BAK 1095)	PBSA Showa (Bionolle 3000)	PBAT Eastman (eastar bio 14766)
Density.	1.25	1.25	1.11	1.07	1.23	1.21
Melting point, in °C (DSC)	152	153	65	112	114	110-115
Glass transition, in °C (DSC)	58	5	-61	-29	-45	-30
Cristallinity (in %)	0-1	51	67	33	41	20-35
Modulus, in MPa (NFT 51-035)	2050	900	190	262	249	52
Elongation at break, in % (NFT 51-035)	9	15	>500	420	>500	>500
Tensile stress at break or max., in MPa (NFT 51-035)	-	-	14	17	19	9
Biodegradation* Mineralization in %	100	100	100	100	90	100
Water permeability WVTR at 25 °C (g/m²/day)	172	21	177	680	330	550
Surface tension** (g) in mN/m.	50	-	51	59	56	53
gd (Dispersive component)	37	-	41	37	43	43
gp (Polar component)	13	-	11	22	14	11

(*) At 60 days in controlled composting according to ASTM 5336.

(**) Determinations from contact angles measurements of probes liquids

Kilde: <http://www.biodeg.net/bioplastic.html>

3.4 Release-teknologier og gødningsstoffer

På grund af modtagne og modstridende informationer fra forskellige sider om, hvorledes der burde gødes ved juletræsdyrkning, samt de gennemførte måleresultater fra undersøgelsen af varmeudstråling fra folieafdækkede arealer med termografisk kamera, var arbejdet med analyse af indlejringen og afgivelsen af gødningsstoffer indtil videre stillet sat i bero.

Testene viste, at filten sinker opvarmningen og udstrålingen, hvilket havde gjort, at der målrettet blev arbejdet med selve folien og dens komposterbare egenskaber.

3.5 Konklusion

Konklusionen på dette trin var, at projektet var kommet langt med selve udviklingen af en enkeltlagsfolie dels gennem forsøgene i laboratoriet, og dels de sideløbende forsøgstest.

Det fremgik, at der var stor forskel på UV stabiliteten og ikke mindst, hvordan prøvematerialerne havde det med høj varme og fugt.

Koncentrationen i arbejdet gik målrettet på at få lavet en enkeltlagsfolie, som overholdte kravene til kompostering. Det færdige produkt bliver sandsynligvis en compounding (blanding) af 2 eller flere granulattyper, for på den måde at få folieblæst en enkelt lags folie med de bedste egenskaber fra hver.

De hidtidige nedbrydningsforsøg og konklusionen på dette udviklingstrin var også, at det var behov for at lave en co-ekstrudering, hvor der ekstruderedes ved hjælp af 2 enkelte snekker over et fælles blæsehoved. Denne proces var en 2 lags løsning, fx hvor det yderste lag havde en funktion at være UV stabilt mens det andet lag var fugt og mikrostabilt for på denne måde at leve op til holdbarheden.

Indlejring af gødning i folien var, som tidligere nævnt ikke en løsning, der hældtes til på grund af risikoen for farlige dampe under opvarmning (produktion), men der arbejdes stadig med et setup, hvor der kunne indlejres gødningsstoffer på andre måder.

4. Materialer

4.1 Indledning

Næste skridt i udviklingsprocessen var valget af materialer til laboratorie forsøg og gennemførelse af forcerede ældningsforsøg og mikrobiologiske nedbrydningsforsøg.

Efterfølgende validering af nedbrydningsmekanismerne og releaseteknologierne.

4.2 Aktiviteter

De konkrete aktiviteter herunder havde omfattet følgende:

- Valg af materialer til laboratorieforsøg
 - Gennemførelse af laboratorieforsøg
 - Gennemførelse af forcerede ældningsforsøg (temperatur, fugt & UV-lys) (Weather Ometer)
 - Gennemførelse af forcerede mikrobiologiske nedbrydningsforsøg (Bioreaktor)
- Forslag til design af næste next generation folie (CO ekstrudering)

4.3 Valg af materialer til laboratorieforsøg.

Det blev tidligt i projektet besluttet at arbejde med 3 forskellige materialer, der i kraft af deres sammensætning skulle kunne give et bredt indblik i holdbarhed over for faktorer som temperaturer, fugt, UV-bestråling, mikrobiologiske angreb mv.

Valget faldt på følgende produkter:

- A
- B
- C

Derudover blev der tilføjet et ikke blandbart produkt D som en slags reference.

De tre valgte hovedmaterialer bestod af blandinger af PLA (Polylactic Acid eller kort form: Polylactide) og PBAT (PolyButyrate Adipate Terephthalate eller kort form: Polybutyrate) i forskellige blandingsforhold.

For at bibringe ekstra UV-beskyttelse blev der tilsat sort MB (indeholdende Carbon Black eller kønrøg på dansk).

4.4 Gennemførelse af laboratorieforsøg, forcerede ældningsforsøg samt mikrobiologisk nedbrydningsforsøg

For at få et indblik i den forventede levetid for de udvalgte materialer, når de blev udsat for forskellige påvirkning, var der gennemført en række laboratorieforsøg samt flere udendørs forsøg.

Laboratorieforsøgene var typisk udført som forcerede ældningsforsøg, hvor man kunne estimere en forventet levetid ved at ændre basale parametre som fx temperaturen. Herved kunne den nødvendige prøvningstid forkortes.

En tommelfingerregel i denne sammenhæng var, at prøvningstiden kunne halveres, hver gang temperaturen blev øget med 10 grader.

Man skulle dog ikke ukritisk øge temperaturen for at forkorte prøvningstiden, da specifikke materialeforhold (fx glasovergangstemperatur, krystalsmeltepunkt eller andre faseskift) kunne have stor indflydelse nedbrydningshastigheden.

Eksempelvis havde PLA (indgår som bestanddel i alle fire typer materialer, som der havde været arbejdet med) en glasovergangstemperatur ved ca. 53 °C, hvilket gør, at man ikke burde overskride denne temperatur ret meget.

Tages der udgangspunkt i den danske middeltemperatur på ca. 10 °C (7 °C), kunne prøvningstiderne halveres 4 til 5 gange efter følgende oversigt:

Forventet levetid fx: 2 år.

- Prøvetid ved 10 °C = 2 år
- Prøvetid ved 20 °C = 1 år
- Prøvetid ved 30 °C = 180 dage (1/2 år)
- Prøvetid ved 40 °C = 90 dage
- Prøvetid ved 50 °C = 45 dage
- Prøvetid ved 60 °C¹ = 22 dage

Følgende laboratorieforsøg var gennemført med prøvefolier fremstillet af A, B, C (20 µm), en prøvefolie af C på 40 µm samt en folie fremstillet af D (40 µm):

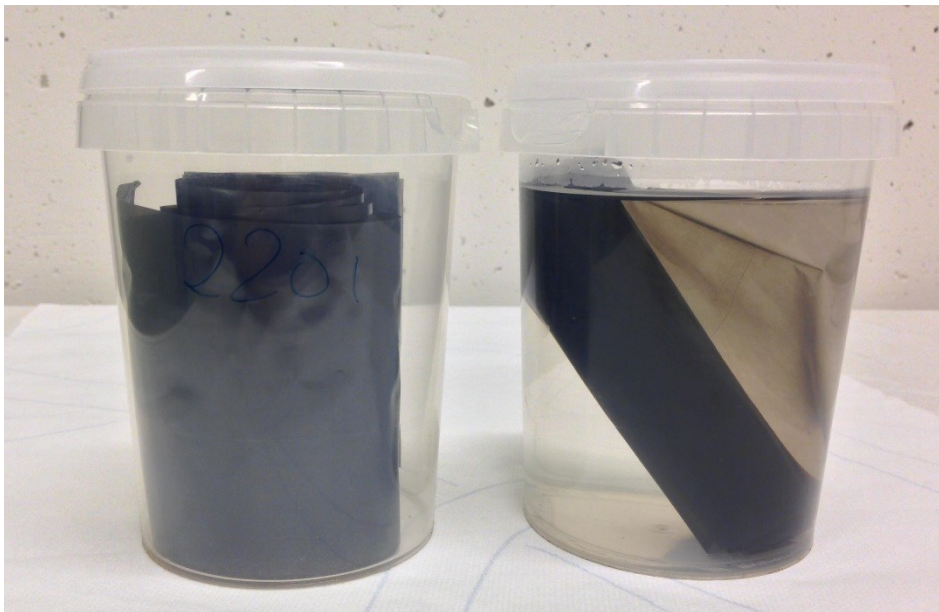
- Placering i vand ved hhv. 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C & 60 °C
- Placering i luft ved hhv. 40 °C, 50 °C & 60 °C
- Placering i Weather-Ometer ved 65 °C
- Placering i "bio-reaktor" ved 50 °C (påvirkning fra jord/mikrobiologi, vand, temperatur samt UV-lys)

4.5 Placering i vand:

Foliestrimler i ca. 10 cm bredde blev oprullet og placeret i små plastbeholdere med ca. 0,5 l demineraliseret vand. Vandet blev tilsat en smule atamon for at forhindre biologisk vækst i vandet. Plastbeholderne blev forsynet med låg og placeret i varmeskabe ved respektive temperaturer.

Prøvefolier blev tilset med jævne mellemrum og vurderet visuelt samt mekanisk ved håndtest af rivestyrke i hhv. maskinretning og tværretning.

¹ Varsomhed skulle udvises overfor opnåede prøvningsresultater, da glasovergangstemperaturen for PLA var overskredet.



FIGUR 4.1: PLASTBEHOLDERE MED FOLIE TIL TEST I LUFT SAMT I VAND.

Generelt kunne der observeres en forholdsvis hurtig forringelse af rivestyrken ved høje temperaturer (50 og 60 °C) i de materialetyper der havde højt indhold af PLA – fx C, B og D. Forringelsen var især udtalt i maskinretningen.

Modsat kunne der observeres en rigtig god holdbarhed i A, hvor indholdet af PLA var lavt og indholdet af PBAT var højt.

Produkt D var helt ødelagt og nærmest gået helt i opløsning efter 20 dage ved 60 °C.

Ødelæggelsesscenariot for C samt B var, at folien blev ru på overfladen og meget skør (rivestyrken forsvinder), hvorefter folien gik i småstykker.



FIGUR 4.2: C MED BLÆRER PÅ OVERFLADEN – FOLIEN VAR NÆSTEN HELT ØDELAGT.



FIGUR 4.3: C RESTER EFTER AFSLUTNING AF FORSØG VED 60°C. FOLIEN VAR ØDELAGT

ESTIMEREDE LEVETIDER FOR PRØVEFOLIER UDSAT FOR VANDEKSPONERING:

Materiale	Vand (60 °C)	Vand (50 °C)	Vand (40 °C)
A	< 95 dage	> 123 dage *)	> 123 dage *)
B	< 56 dage	> 84 dage	> 123 dage *)
C	< 34 dage	> 62 dage	> 123 dage *)
D	< 22 dage	> 63 dage	> 83 dage *)

Alle prøvningsresultater fremgår af bilag 1.

4.6 Placering i luft

Foliestrimler i ca. 10 cm bredde blev oprullet og placeret i små plastbeholdere. Plastbeholderne blev forsynet med låg og placeret i varmeskabe ved respektive temperaturer.

Prøvefolier blev tilset regelmæssigt og vurderet visuelt samt mekanisk ved håndtest af rivestyrke i hhv. maskinretning og tværretning.

Generelt kunne der ikke konstateres nogen væsentlig forringelse af de mekaniske egenskaber ved eksponering i luft ved de anvendte temperaturer. Der kunne dog konstateres en selvklæbende effekt på C folien ved ca. 60 °C.

Temperatur i sig selv var tilsyneladende ikke det mest kritisk for folierne.

ESTIMEREDE LEVETIDER FOR PRØVEFOLIER UDSAT FOR TEMPERATUREKSPONERING I LUFT:

Materiale	Luft (60 °C)	Luft (50 °C)	Luft (40 °C)
A	> 123 dage *)	> 123 dage *)	> 123 dage *)
B	> 123 dage *)	> 123 dage *)	> 123 dage *)
C	> 123 dage *)	> 123 dage *)	> 123 dage *)
D	> 83 dage *)	> 83 dage *)	> 83 dage *)

4.7 Placering i Weather Ometer (temperatur, vand & UV-lys):

Prøvning af materialer i Weather Ometer var den normale fremgangsmetode, når materialer skulle undersøges for holdbarhed ved udendørs anvendelse.

Metoden arbejder med de samme præmisser for forceret levetidstest som anført tidligere.

Prøvningstemperaturen (65 °C) var dog i overkanten set i forhold til glasovergangstemperaturen for PLA der ligger omkring 53 °C.



FIGUR 4.4: WEATHER-OMETER STAND ATLAS Ci4000

4.8 Weather Ometer Testen

Udskårne foliestykker på ca. 10 x 20 cm blev monteret i rammer som blev monteret i testkammer, hvor prøverne blev udsat for kontinuerlige klimabelastningscykluser med følgende setup:

- Eksponering med UV-lys svarende til sollys i 102 min.
- Eksponering med UV-lys og vandspray i 18 min.
- Herefter gentagelse

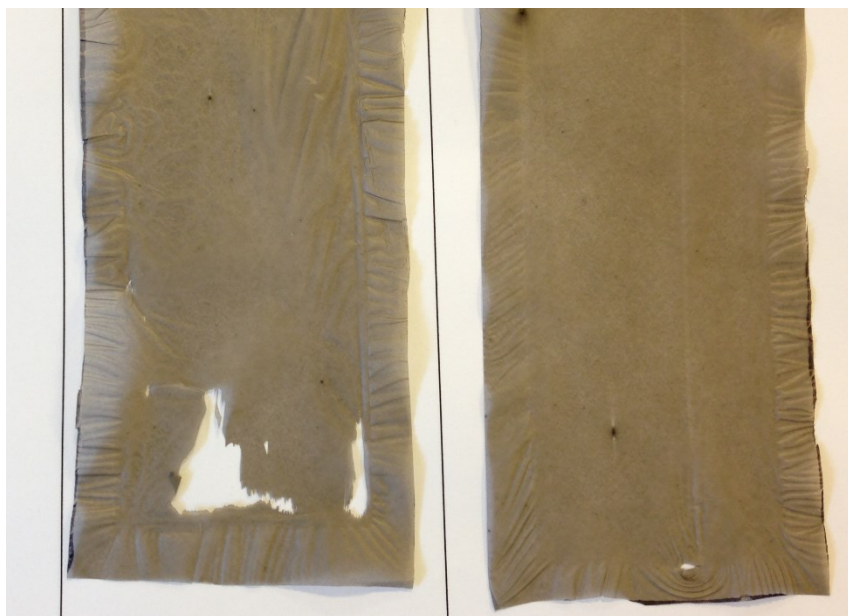
Prøvningstemperatur: 65 °C.

Prøvningstid: ca. 400 timer – svarende til ca. 4000 timers levetid (ca. 166 dage.)

4.9 Weather Ometer Prøvningsresultater

4.9.1 A (20 µm):

Delvis ødelæggelse med revner og manglende dele af folien. Folien krøllede og rynkede – formentlig på grund af temperaturen. Der var især rynkedannelse under opsætningsrammen (de yderste ca. 100 mm hele vejen rundt langs kanten).



FIGUR 4.5: A FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER.

4.9.2 B (20 µm):

Delvis ødelæggelse med revner og manglende dele af folien. Der var især revnedannelse langs opsætningsrammekanten (de yderste ca. 100 mm hele vejen rundt langs kanten). Revnedannelsen skete typisk i maskinretningen der var markeret med en pil.

Også for B var der krøller og rynker.



FIGUR 4.6: B FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER.

4.9.3 C (20 µm):

Prøven var ikke særlig medtaget men klæber til gengæld kraftigt til den metalplade hvorimod den var monteret. Der kunne ses en del rynker og enkelte blærer på overflade af folie, hvor denne ikke klæber til metalpladen.

Der ses en del krøller og rynker under opsætningsrammen.



FIGUR 4.7: C (20 µM) FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER.

4.9.4 C (40 µm):

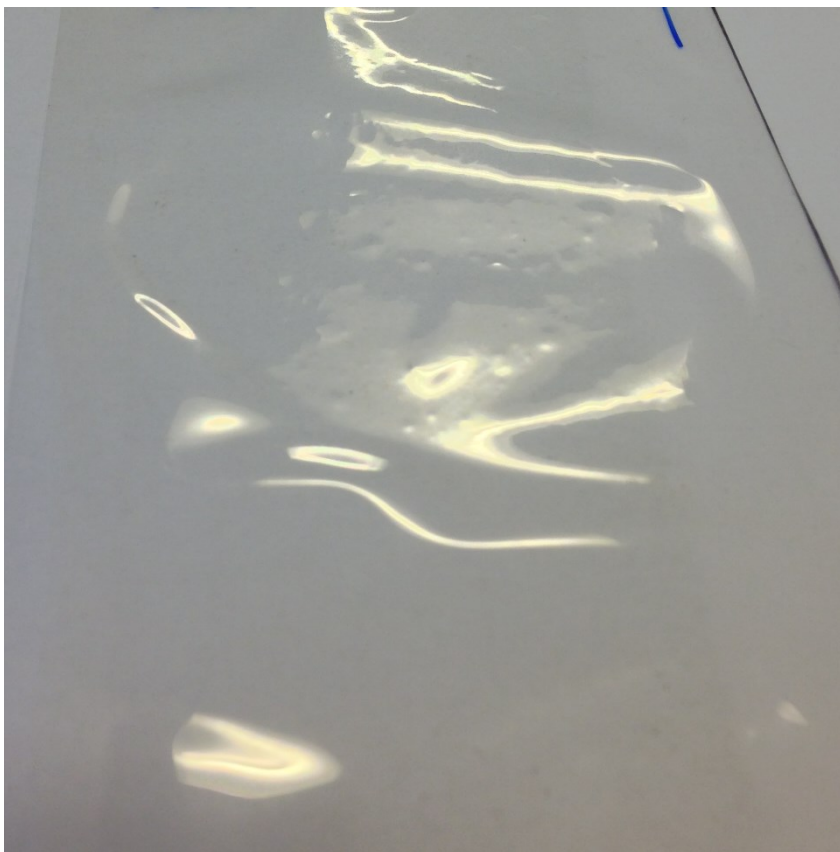
Samme billede som ses for C (20µm), men ingen revner eller blærer.



FIGUR 4.8: C (40 μm) FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER.

4.9.5 D (40 μm):

Ingen revner eller skader, men en del blærer i overfladen.



FIGUR 4.9: D (40 µM) FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER. BLÆRER I OVERFLADEN.

4.9.6 Kombination af A (20 µm) og C (20 µm):

En kombination af to løse folier, hvor C folien blev lagt øverst og derved eksponeret til temperatur, vand samt UV-lys og A folien blev lagt nederst og kun udsat for temperatur og indirekte vandpåvirkning (fugt).

4.9.6.1 Resultat

Der kunne ikke konstateres nogen revner eller skader i hverken ”overfolie” eller ”underfolie”. Den kunne ses lidt krøller/rynker på C-siden. Der kunne ses mange og kraftige krøller/rynker på A-siden.

C folien klæber til A folien.



FIGUR 4.10: C (20 μ M) OG A (20 μ M) FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER. (FORSIDEN – SIDEN DER VENDER UD MOD UV-LYSKILDEN)



FIGUR 4.11: A (20 μ M) OG C (20 μ M) FOLIE EFTER TEST I WEATHER OMETER. (BAGSIDEN – SIDEN DER VENDER VÆK FRA UV-LYSKILDEN)

4.9.7 Weather Ometer overordnede resultater

Prøver med højt indhold af PBAT (A) var ret følsomme overfor UV-påvirkninger, hvilket også var set i de udendørs forsøg (se efterfølgende afsnit). Hvis A derimod skærmedes mod UV-lys klarede

folien sig lang bedre. Testen bekræftede i nogen grad resultaterne, som blev fundet ved eksponeringsforsøgene i vand, hvor A fint klarede eksponeringen i den fornødne tid.

4.10 Placering i "Bio-Reaktor"

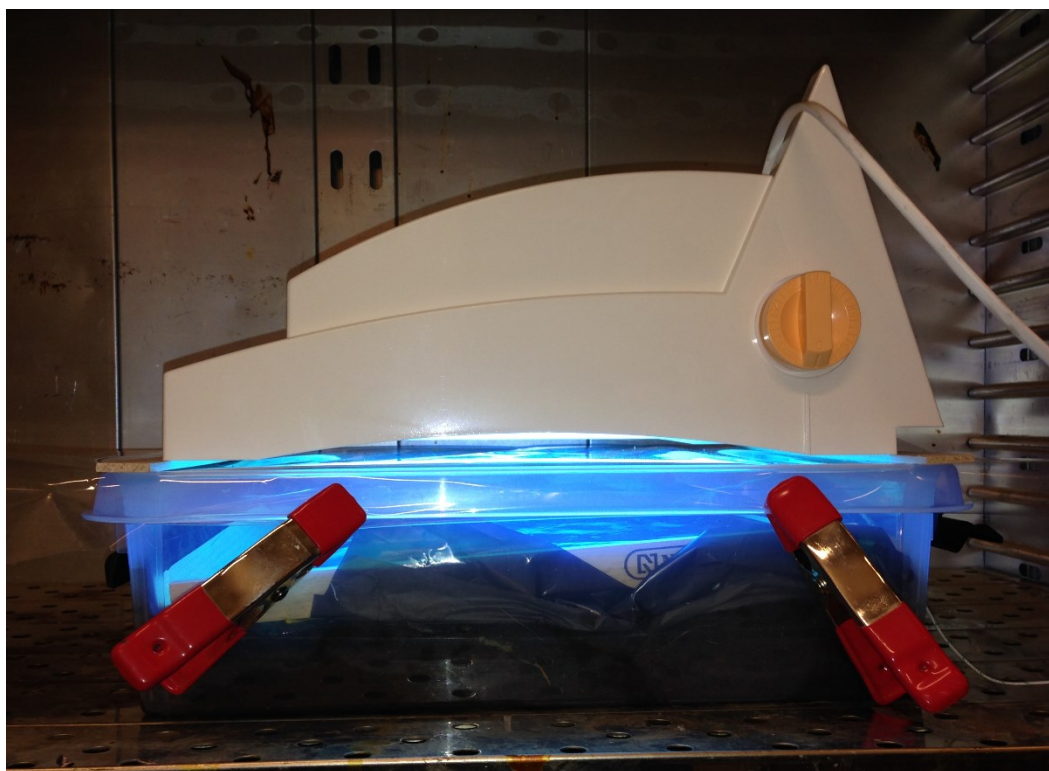
Da det ikke var muligt at gennemføre forsøg i Weather Ometeret ved lavere temperaturer end 65 °C og samtidigt heller ikke var muligt at gennemføre forsøg, hvor folien lå op mod en jordoverflade, blev der konstrueret en speciel Bio-Reaktor.

Bio-Reaktoren består af:

- PP-Plastkasse med ilagt jord
- Test-folie placeret oven på jord
- Låg til kassen bestående af klar PLA-folie (særlig høj lystransmission)
- Lyskilde – ansigts solarie med 4 x15 W UV-B-rør (Efbe-Schott)

Hele opstillingen var placeret i varmeskab ved 50 °C

Herved var der muligt at eksponere prøvefolier for jord/mikrobiologi, vand, temperatur samt UV-lys på samme tid.



FIGUR 4.12: BIOREAKTOR I DRIFT.

4.10.1 Testen

Til testen blev det valgt at undersøge samme konstellation, som blev testet i Weather Ometeret altså A som folien der vender ned mod jord og C som over folie og beskyttelse mod UV-stråler.

Folierne blev lagt direkte på jorden og perforeret en del steder på overfladen for at lade vand passere igennem. Før test blev der tilført tilstrækkeligt vand til fuldt at mætte jorden.

Testen gennemførtes over et tidsrum på 30 - 45 dage afhængigt af foliernes tilstand efter de første ca. 30 dage. Anvendtes samme omregningsfaktor som tidligere vil 22 dages test ca. svare til 1 års levetid.

4.10.2 Resultater

Testen var afsluttet og de foreløbige undersøgelser tydede på kraftig påvirkning af folier, men endnu ingen total nedbrydning.

Løbende testresultater:

- Efter ca. 5 dage: Folier OK. (Temperatur 50,3 °C)
- Efter ca. 12 dage: A havde nedsat rivestyrke i nogle områder (udsat for UV-lys eller kontakt med jord?).
C havde reduceret rivestyrke efter UV-eksponering – var måske blevet mere D-agtig. (Temperatur 50,8 °C)
- Efter ca. 17 dage: A udsat for UV-belysning havde meget reduceret rivestyrke.
A under dække af C var i orden.
C udsat for UV-eksponering havde en noget reduceret rivestyrke.
- Efter 28 dage: A udsat for UV-belysning havde meget reduceret rivestyrke.
A under dække af C havde nogle steder også reduceret rivestyrke – andre områder var OK.
C udsat for UV-eksponering havde en meget reduceret rivestyrke – var enkelte steder begyndt at gå i stykker (hvor folien havde en fold eller var bukket).

4.10.3 Sammenfatning

For at anskueliggøre de forgående resultater fra de enkelte test er udarbejdet følgende sammenfatning:

Estimerede levetider for prøvemateriale [måneder] Ud fra nedstående test.				
Materiale	I luft	I vand	Weather Ometer	Bio-Reaktor
A	> 24	> 24	< 6	< 12
B	> 24	> 24	< 6	-
C	> 24	> 24	> 6	>14
PLA	> 24	> 22	> 6	-
Kombineret C/A	> 24	-	> 6	> 14

4.11 Konklusion

Formålet med denne fase var at udvælge relevante materialer til laboratorie forsøg samt gennemførsel af forsøg med forceret ældning og mikrobiologisk nedbrydning. Der var dels lavet forsøg i vand og luft ved forskellige temperaturer, og dels forsøg under UV påvirkning og jord (Weather Ometer og Bio-Reaktor).

Sluttelig var der vurderet og valideret på dels nedbrydningsmekanismerne, samt dels hvilken releaseteknologi af gødning, som sidenhen kunne overvejes.

Samlet set var der således opnået en viden og erfaring med de forskellige materialer samt deres styrker og svagheder. De enkelte test viste tydeligt, at råfolien (A) med et procentvis højt indhold af PBAT egnede sig rigtig godt til et fugtigt miljø og råfolien (C) med en et højt indhold af PLA var meget UV stabil.

Godstykkelse og indfarvning havde også en meget stor betydning

Det kunne også konkluderes på de forskellige test, at folierne alene var sårbare på hver sin måde, men sammen f.eks. lamineret og kombineret med større godstykkelser og eventuelt en større mængde Carbon Black (sort MB) til indfarvning sås der betydelige fordele i forhold til en styret og begrænset holdbarhed.

Denne viden om konstruktionen betød, at den næste udgave af folien (next generation) indlysende burde og vil være en kombineret af de enkelte enkeltlags-foliers styrker i forhold til fugt og UV bestandighed gennem en CO-ekstrudering. Den CO-ekstruderede folie vil derfor indeholde en hvis procentandel af hver råvare i en lagdelt konfiguration.

Den procentvise del af hver råvare, sammensætning, tykkelse, indfarvning osv. vil være afgørende for en styring af nedbrydeligheden over tid.

5. Test

5.1 Indledning

Det efterfølgende udviklingsskrift var herefter koncentreret mark forsøg og semifeltforsøg med en løbende validering af disse.

5.2 Aktiviteter

De konkrete aktiviteter i fasen havde omfattet følgende:

- Undersøgelse af varmeisolerende egenskaber af afdækningsfolier (Bilag 2.)
- Fremstilling af prøvefolie
- Gennemførelse af semifelt forsøg 1
- Gennemførelse af semifelt forsøg 2
- Markforsøg
- Temperatur måling (bilag 3)

5.3 Undersøgelse af varmeisolerende egenskaber af afdækningsfolier

Undersøgelse af varmeisolerende egenskaber i afdækningsfolier foråret 2013 med udbredt nattefrost.

5.3.1 Generelt

En række forskellige foliers/foliematerialers varmeisolerende egenskaber var undersøgt med henblik på at klarlægge, hvorvidt en sådan afdækning kunne ændre risikoen for frostskafer på juletræer i forårsperioder med udbredt nattefrost.

Tidligere undersøgelser udført for Miljøstyrelsen og beskrevet i Miljøprojekt nr. 359, "Jorddækning som alternativ til kemisk ukrudtskontrol", 1997, indikere at udlægning af plastfolie eller anden afdækning på jordoverfladen havde en dæmpende indflydelse på temperaturændringer (isoleringsevne). Denne dæmpning af temperaturændringer mentes at bevirke, at varmeudstrålingen fra jordoverfladen formindskedes i nætter med nattefrost og derved øgede risikoen for frostskafer på juletræer i starten af vækstsæsonen. Den modsatte situation ville være tilfældet om dagen med solopvarmning.

I den ovenfor omtalte rapport var der ikke taget stilling til indgående materialernes emission og absorption. Det var vigtigt, at man var opmærksom på, at forskellige overflader havde forskellig evne til at udsende, optage og reflektere termisk stråling.

Evnen til at udsende termisk stråling kaldes for emission. Modsat kaldtes evnen til at optage termisk stråling for absorption. En overflade der var optimal egnet til at udsende eller optage

termisk stråling, havde emissions-/absorptionstallet 1, og en overflade der ikke udsendte eller ikke optog (reflekterede) termisk stråling havde emissions-/absorptionstallet 0.

Emissions-og absorptionstal påvirkedes desuden også af respektive materials godstykkelse. Ved små godstykkelser reduceredes emissions-og absorptionstal.

Typisk ville emissions-og absorptionstal for samme materiale, fremstillet på samme måde kunne kategoriseres på følgende skala (fra høj til lav):

- Sort indfarvet – stor godstykkelse (optisk ikke gennemsigtig)
- Hvid indfarvet – stor godstykkelse (optisk ikke gennemsigtig)
- Sort indfarvet – lav godstykkelse (delvis transparent)
- Hvid indfarvet – lav godstykkelse (delvis transparent)
- Transparent – stor godstykkelse
- Transparent – Lav godstykkelse

De anvendte plastfolier i Miljøprojektet fra 1997 var sorte polyetylenfolier med en tykkelse på mellem 0,08 til 0,12 mm.

5.3.2 Indgående materialer og forsøgsbetingelser

Undersøgelsen blev udført i perioden fra den 31. marts 2013 til den 4. april 2013 på et snefrit græsareal, med fuld adgang til solindstråling i dagtimerne. Der var i perioden udbredt nattefrost.

I undersøgelsen blev der anvendt følgende materialer:

- 1A -Transparent polyetylen folie (50 µm)
- 1B - Transparent polyetylen folie (50 µm) med viskosefilt (50 g/m²)
- 2A - Sort polyetylen folie (60 µm)
- 2B - Sort polyetylen folie (60 µm) med viskosefilt (50 g/m²)
- 3A - Stivelsesbaseret folie (TPS) delvis transparent folie (ca. 20 µm)
- 3B - Stivelsesbaseret folie (TPS) delvis transparent folie (ca. 20 µm) med viskosefilt
- 4A - Transparent polylactat (PLA) (40 µm) med viskosefilt (50 g/m²)

Folierne blev placeret direkte på græslaget og fastgjort i sider og hjørner, således at der ikke umiddelbart kunne ske nogen påvirkninger fra tværgående vind (der var i forsøgsperioden stille skyfrit vejr, så vindpåvirkningerne var meget begrænsede).

På udlæggesdagen (31. marts 2013) var der stille vejr med solskin og lidt skyer.

De første målinger blev udført ca. kl. 16.30 - 2 timer efter at folierne var udlagt.

Temperaturer blev dokumenteret med termokamera af typen "NEC TH7800 samt laser-punktmåler af typen "RS-1327". Måleapparaternes måleparametre for emission blev fastholdt på samme niveau ved alle målinger, hvilket vil resultere i en mindre fejlvisning i nogle måleområder.

Alle data var vedlagt i bilag 2.

5.3.3 Måleresultater

Temperaturmålingerne (bilag 2+3+4+5) blev foretaget med termografikamera og viste en generel tendens til lavere overfladetemperaturer på overdækkede arealer. De laveste temperaturer blev målt på folier med underliggende filt.

Modsat viste målinger af temperaturen på jordoverfladen under folier og filt en tendens til højere temperaturer.

Termografimålingerne viste temperaturniveauer fra ca. -14 til -7 °C på udækket græsareal uden sne.

Klar polyetylen (folie 1) viste temperaturniveauer fra ca. -19 til -10 °C. Med underlagt filt ligger niveauet på -20 til -13 °C.

Sort polyetylen (folie 2) viser temperaturniveauer fra -17 til -13 °C. Med underlagt filt ligger niveauet på -20 til -13 °C.

Stivelsesbaseret folie (Biobag – folie 3) viste temperaturniveauer fra ca. -18 til -12 °C. Med underlagt filt lå niveauet på -20 til -14 °C.

PLA-folie (folie 4) viste temperaturniveauer fra -20 til -15 °C.

5.3.4 Konklusion

Undersøgelserne blev gennemført med folier fremstillet af forskellige materialer, med forskellig farve samt forskellige godstykkelser. Alligevel var der nogle gennemgående træk i resultaterne, som kunne danne grundlag for nogle foreløbige konklusioner:

- Afdækning sænkede udstrålingen. Typisk sænkedes overfladetemperaturen i de gennemførte forsøg med fra ca. 4 til ca. 7 °C.
- Tykkelse af folie havde stor betydning for udstråling – større tykkelse sænkede udstråling, hvilket især ses ved anvendelse af filt.
- Underlejring af folien med filt havde en væsentlig forværrende effekt. Typisk sænkedes overfladetemperaturen her yderligere med 1,5 til 2 °C.
- Folien farve og transparens havde også betydning for udstrålingen – mørke farve havde typisk større absorption/emission, hvorimod lyse farver typisk havde en lavere absorption/emission. Transparente folier sænkede udstråling i mindre grad end gennemfarvede folier.
- Afdækningsfolier forøgede energiopsamling i de underliggende jordmasser.

Ud fra de termografiske undersøgelser var det vanskeligt at konkludere på risikoen for frostskaader på juletræer med eller uden anvendelse af afdækningsfolier.

Afdækningsfolier sænker utvivlsomt udstrålingen, men var også medvirkende til en større energiopsamling/lagring i jordoverfladen i dagtimer med solskin og dermed en længere periode med varme til vækst for de udplantede træer.

5.4 Fremstilling af prøvefolie

Prøvefolie til laboratorie forsøg og under fase 3 samt til de efterfølgende semi- og markforsøg blev fremstillet den 16. juni 2014.

Til formålet var der bestilt følgende råvarer hos den tyske leverandør:

- 100 kg A
- 100 kg B
- 100 kg C
- 10 kg masterbatch (farvegranulat)

Prøvefolierne blev fremstillet i tykkelser 20 -40 micron med og uden farve

Selve ekstruderingsprocessen (ekstrudering) var fællesbetegnelsen for den kontinuerlige proces, som anvendtes til fremstilling af f.eks. folie. Processen startede med at råvare og masterbatch blandes sammen i en silo.

Herefter fortsætter det ned i ekstruderens tragt til snekkens indtræks zone, hvorfra det ført fremad af den roterende snekke. Dels på grund af varmen fra den tempererede cylinder, men især på grund af friktionen mod cylinderen og den indre friktion i selve råvaren, opvarmedes granulatet og blev til en sejtflydende, formbar masse, lidt inden, det når enden af cylinderen. På grund af snekkens udformning opbyggedes der også et relativt højt tryk for enden af snekken, som skulle bruges til at presse plastmassen op til blæsehovedet. Blæsehovedet var en slags stålplade som havde en smal cirkulær rille i kanten og et hul i midten til trykluft. Den egentlig blæseproces fortsætter med at det smeltede materiale kommer op af den cirkulære rille, hvor det samledes og med trykluft blæstes op til en ballon.

Herefter presseses det sammen til en folie over et efterfølgende valseværk.

Processen i gang.



FIGUR 5.1 FOLIEBLÆSNING MED BLÆSEHOVED OG BALLON

Efter sammenpresningen af ballonen fik man en dobbelt folie, som igen skiltes ad og opvikledes på efterfølgende rulleværk (Figur 2). Der opvikledes altid 1 sæt ruller, hvor disse løbende udskiftedes, når antallet af meter var nået.



FIGUR 5.2

Hastigheden på rulleværket bestemmer strækket og dermed tykkelsen på folien. (Figur3), hvor man også kunne se antallet af opviklede meter.



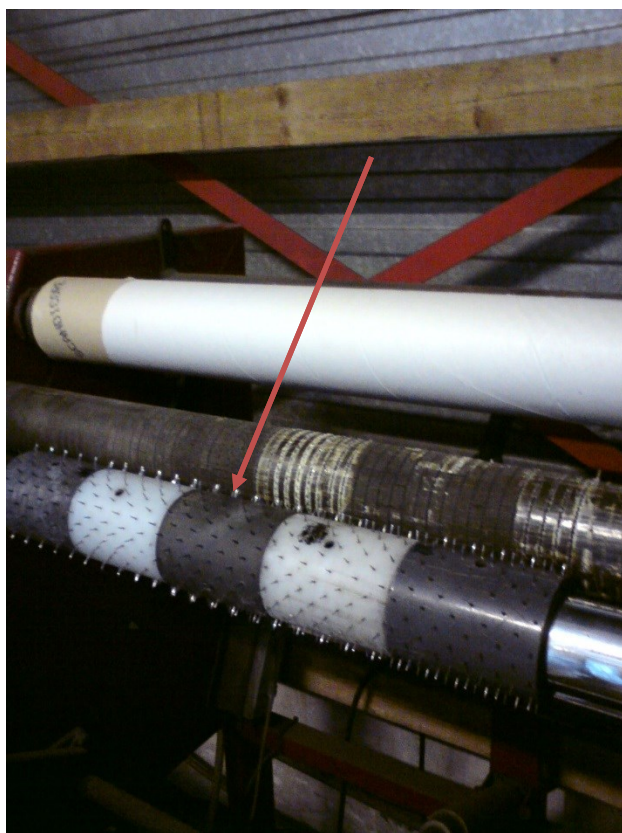
FIGUR 5.3

Til de efterfølgende markforsøg blev det meste af folien perforeret hos en dansk samarbejdspartner den 4. juli 2013.

Til formålet havde de et specielt rulleværk (Figur 5.4) som også kunne bruges til omvikling af folier. Ved på monteringen af et rullensæt forsynet med nåle kunne man perforere folier alt efter behov. Rullerne kunne tilkøbes alt efter krav om hulstørrelse og antal af huller pr. areal.

Rulleværket kunne også bruges til laminering af folier, hvor 2 folier omvikledes til en enkelt folie rulle, hvilket i dette projekt blev taget i anvendelse på baggrund af erfaringerne fra laboratoriet tidligere.

På den måde opnåedes på en simpel måde noget, som kunne udgøre et senere CO-ekstruderet laminat.



FIGUR 5.4 RULLEVÆRK MED PÅMONTERET NÅLE RULLE

5.5 Gennemførelse af semifelt forsøg 1

For at få et indtryk af foliernes "performance" udendørs blev der, sideløbende med forsøgene i laboratoriet under fase 3, lavet følgende udendørs forsøg i sommeren 2013:

- Fri placering i rammer uden kontakt med jordoverflade (fladt tag) - starttidspunkt var den 19. juli 2013
- Fri placering i rammer med kontakt til jorden (græsplæne) – starttidspunkt var 26. juli 2013.

Vejrbetingelserne var meget gunstige med megen sol og varmt vejr i lange perioder i juli og august. August alene havde over 200 solskinstimer.

Følgende folier blev anvendt ved udendørsforsøgene:

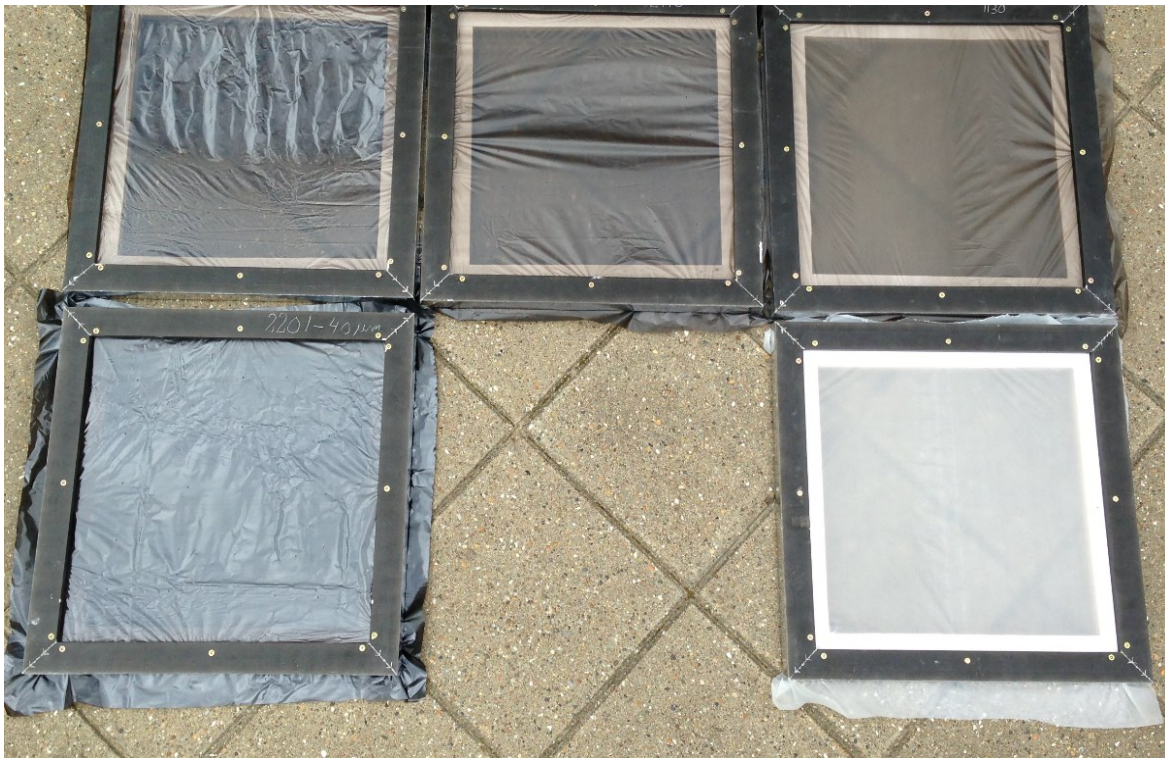
- A – ca. 20 μm - sort
- A – ca. 20 μm - hvid
- B – ca. 20 μm – sort
- B – ca. 20 μm – sort
- B – ca. 40 μm – sort

Senere i forsøgsperioden blev følgende folier tilføjet:

- A – ca. 20 μm - sort – perforeret (UniWrap)
- C – ca. 40 μm - sort – perforeret (UniWrap)
- D – 40 μm – transparent.

Prøvefolier blev tilset med jævne mellemrum og vurderet visuelt.

Tilstanden var dokumenteret ved fotografering.



FIGUR 5.5 FOLIE I RAMMER TIL UDLÆGNING PÅ TAG – INGEN JORDEKSPONERING – START 19/7-2013.



FIGUR 5.6 FOLIE I RAMMER UDLAGT PÅ TAG – INGEN JORDEKSPONERING – START 19/7-2013



FIGUR 5.7 FOLIE I RAMMER UDLAGT PÅ GRÆSPLENE – START 26/7-2013

5.5.1 Prøveresultater

5.5.1.1 Kontrol 2. august

Alle folier OK.

5.5.1.2 Kontrol 12. august:

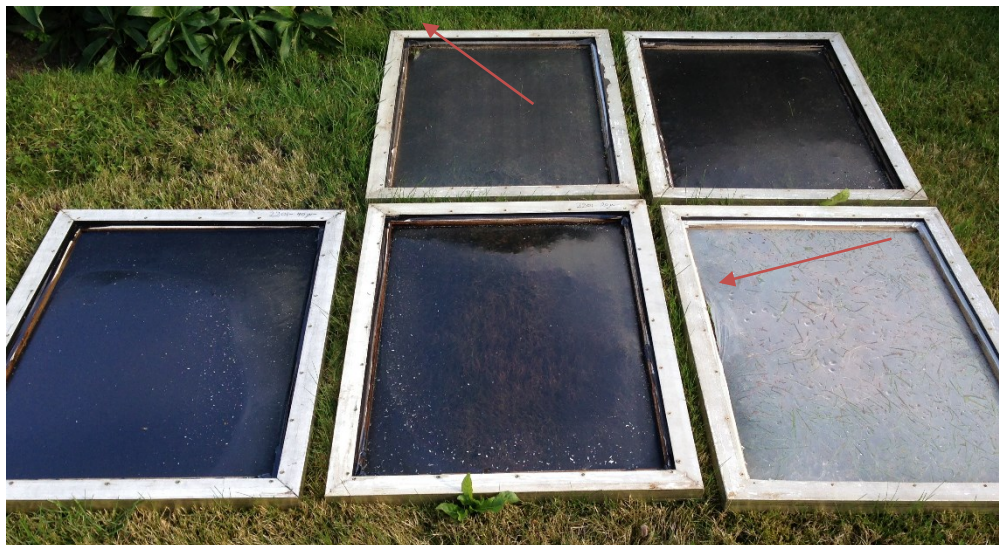
A hvid var revnet ved kanten af ramme.



FIGUR 5.8 A HVID – REVNET VED KANT.

5.5.1.3 Kontrol 14. august.

A sort havde et større hul/brud i folien i det ene hjørne.



FIGUR 5.9 FOLIER PÅ GRÆS DEN 14. AUGUST – REVNE I HVID A SAMT HUL I SORT A..



FIGUR 5.10 FOLIER PÅ GRÆS DEN 14. AUGUST – HUL I SORT A SAMT REVNE.

5.5.1.4 Kontrol 29. august.



FIGUR 5.11 FOLIER PÅ TAG DEN 29. AUGUST – HUL I SORT A SAMT REVNER.

5.5.1.5 Kontrol 31. august



FIGUR 5.12. FOLIER PÅ GRÆS DEN 31. AUGUST – STORE FLÆNGER I SORT OG HVID A. ØVRIGE OK

5.5.1.6 Kontrol 8. september.



FIGUR 5.13. FOLIER PÅ GRÆS DEN 8. SEPTEMBER – STORE FLÆNGER I SORT B

5.5.1.7 Kontrol 10. september.



FIGUR 5.14 FOLIER PÅ TAG DEN 10. SEPTEMBER – FLÆNGER I SORT B LANG KANT.

5.5.1.8 Kontrol 21. september.



FIGUR 5.15 FOLIER PÅ TAG DEN 21. SEPTEMBER – FLÆNGER I SORT C 20 μ M (RIVESTYRKE)

5.5.1.9 Kontrol 29. september.



FIGUR 5.16 GRÆSPLENE UDEN FOLIER – GRÆSSET GRØR OGSÅ DER, HVOR DER HAVDE VÆRET FOLIEDÆKKE, SÅ EN PRÆPARERING AF JORDEN FØR UDLÆGNING VAR NØDVENDIGT LIGESOM PROCENTANDELEN AF MASTERBATCH (INDFARVNING) SKULLE ØGES.

5.5.1.10 Kontrol 6. oktober.



FIGUR 5.17 FOLIER PÅ GRÆS DEN 6. OKTOBER – FLÆNGE I SORT C 20 μ M (MARKERET MED BLÅT) SAMT SORT A MED PERFORERINGER.

På dette tidspunkt var det kun C i 40 μ m samt D der stadigvæk var intakt.

5.5.1.11 Oversigt udendørsforsøg

OVERSIGT OVER OBSERVEREDE LEVETID FOR UDENDØRSFORSØG (JULI – DECEMBER 2013):

	Udlagt på græs	Udlagt på tag
A hvid	Ca. 16 dage	Ca. 40 dage
A sort	Ca. 18 dage	Ca. 40 dage
B	Ca. 52 dage	Ca. 50 dage (rivestyrke)
C 20 μ m	Ca. 75 dage	Ca. 75 dage
C 40 μ m	Endnu ingen skade ²	Endnu ingen skade ³
A sort (perf.)	Ca. 40 dage ⁴	Endnu ingen skade ⁵
C 40 μ m (perf.)	Endnu ingen skade ⁶	Endnu ingen skade ⁷
D	Endnu ingen skade ⁸	Endnu ingen skade ⁹

Der var tilsyneladende en sammenhæng mellem UV-lysindfald og holdbarhed for alle folier – værst ser det ud for de folier der havde det højeste indhold af PBAT, der tilsyneladende ikke tåler UV-eksponering særligt godt.

² Observationen 10. december 2013

³ Observation den 10. december 2013

⁴ Udlagt den 16. august 2013 – ikke samme mængde sollys som øvrige A prøver!!

⁵ Observationen 10. december 2013 - Udlagt den 16. august 2013 – ikke samme mængde sollys som øvrige A prøver!!

⁶ Observationen 10. december 2013. Udlagt den 16. august 2013

⁷ 10. december 2013. Udlagt den 16. august!

⁸ Observation den 10. december 2013. Udlagt den 16. august 2013

⁹ Observationen 10. december 2013. Udlagt den 16. august 2013

5.5.2 Overordnede resultater og konklusion

Der sås ringe stabilitet i materialer med højt indhold af PLA over for vandeksponering (rivestyrken reduceredes væsentlig i løbet af få dage ved høje temperaturer). Modsat sås der rigtig god stabilitet i materialer med højt indhold af PBAT over for vandeksponering.

I litteraturen var der angivet et grænseområde omkring 55 % PBAT i blandinger med D. Ved dette blandingsforhold eller et højere indhold af PBAT blev blandingsproduktet næsten ikke-nedbrydeligt over for vand – dette forhold sås tydeligt med A, der havde et højt indhold af PBAT.

I de udførte forsøg skete der kun nedbrydning af A i vand ved temperaturer 50 °C eller derover.

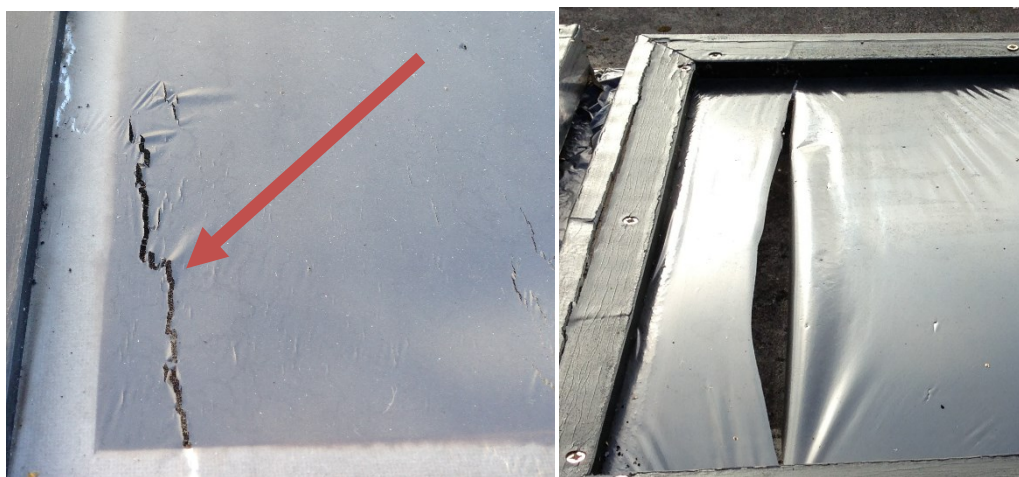
Alle undersøgte materialer havde en god generel temperaturstabilitet i tør luft.
Der kunne ikke konstateres nogen nedbrydning i materialerne ved de udførte forsøg.

Prøver med højt indhold af PBAT (A) var ret følsomme overfor UV-påvirkninger. Både Weather Ometer-test samt udendørsforsøg viser samme billede med forholdsvis hurtig nedbrydning. Modsat tåler prøver med højt indhold af PLA bedre UV-påvirkninger, men der sker stadigvæk en nedbrydning over tid. Denne nedbrydning kunne modvirkes ved at arbejde med større godstykkelser og/eller anvende en større mængde Carbon Black (sort MB) til indfarvning. I Weather Ometer-testen samt forsøgene i bioreaktoren, hvor A skærmedes mod UV-påvirkninger klarede folien sig langt bedre.

Udendørsforsøgene gav endnu en vigtig brik til forståelsen af nedbrydning i de anvendte materialer.

Nedbrydningen og ødelæggelse af prøver med højt indhold af PBAT (A) skete i form af dannelse af en masse små cracks/revner – der var således tale om en generel nedbrydning på hele overfladen.

Cracks/revner skete ikke kun i maskinretningen i lige linjer men også mere tværgående – materialet var mere sejt – bedre rivestyrke. Modsat skete nedbrydningen/ødelæggelsen i prøver med højt af PLA i form af langsgående rette sprækker – altid i maskinretningen – formentlig pga. en meget reduceret rivestyrke.



FIGUR 5.18: BRUD I A (RØD MARKERING) SAMT B

Indfarvning af folier med sort MB gav ikke sorte, men semi-transparente folier der i 20 µm tykkelse ikke helt hindrede plantevækst (se billedet fra udendørsplæneforsøget). Selv under en 40 µm C groede græsset stadigvæk. En forøgelse af masterbatch (farve) var helt klart en nødvendighed sammen med en grundig præparering af jorden for at begrænse væksten af ukrudt under folien.

Der sås stort set ingen forskel i holdbarhed i A sort eller hvid overfor UV-eksponering.

5.6 Gennemførelse af semifelt forsøg 2

Sideløbende med semifelt forsøg 1 blev der i februar 2014 sat et andet semifelt forsøg i gang i en plantage, denne gang med udplantning af træer i små felter af enkeltlags folier.

Der var kun anvendt folier af C, da både laboratorie og semiforsøg 1 havde vist, at A ikke kunne stå alene overfor m.h.t. UV stabilitet grundet det lave indhold af PLA.

Forsøgsfolierne var indfarvet og perforeret - alle med tykkelse på 20 Micron), som var fastgjort med stålkrammer.

Forsøget, som var foretaget i Kandestederne i Nordjylland, var lavet som en slags multi test.

- Holdbarhed af enkelt-lags folie sammenholdt med laboratorie og semiforsøg 1
- Foliens evne til at holde ukrudt nede og væk fra træet.
- Træernes vækst med afdækningsfolie.

Der var blevet udplantet ca. 10 træer, - primært normansgran og nobilis.

De efterfølgende billeder viste et lille udpluk af træerne, som var udplantet, og hvad der var sket efter 4 måneder.



FIGUR 5.19: 12-02-2014 B (START)



FIGUR 5.20: 29-05-2014 B BEGYNDENDE REVNEDANNELSE



FIGUR 5.21: 12-02-2014 C (START)



FIGUR 5.22: 29-05-2014 C



FIGUR 5.23: 12-02-2014 C (START)



FIGUR 5.24: 29-05-2014 C

5.6.1 Validering og konklusion

Efter 4 måneder kunne der valideres på de forskellige felter

Felterne med C med højest indhold af PLA var intakte (Figur 5.21 6.22 6.23 6.24)

Der sås ingen tegn på umiddelbar nedbrydning.

I et enkelt felt med B var der begyndende revnedannelse (Figur 5.20), men ellers var resten stadig nogenlunde intakte. Felterne var udlagt i en plantage, hvorfor lysindfaldet ikke var konstant.

Ukrudt trivedes desværre fint under folien, hvilket også sås på semiforsøg 1, men folien afskærmede dog alligevel, så træerne ikke blev kvalt i højt græs. Der skulle tilføjes mere farve til folien for at begrænse væksten under folien, som sammen med en præparering af arealet ville have en positiv effekt.

Træerne trivedes rigtig godt og alle knopper var blevet til grene.

Selv med nattefrost i foråret syntes folien ikke at have udgjort en trussel i forhold til frostska-der, men snarere hjulpet træerne godt på vej.

Afdækningsfolier sænkede ganske vist udstrålingen, men var også medvirkende til en større energiopsamling/lagring i jordoverfladen i dagtimer med solskin. Rodnettet udvikles hurtigere ved denne energiophobning, hvilket fremgik af væksten.

Forsøget viste tydeligt, at fordelene opvejede en mulig ulempe (frostska-der), dog var udplantningen sket i en plantage og ikke på et åbent landskab. Derfor kunne de eksisterende træer muligvis give en form for beskyttelse mod netop frostska-der, da varmen fastholdtes mere end i forhold til en åben mark.

5.7 Markforsøg

I forlængelse af det første semifelt forsøg og erfaringerne fra laboratoriet blev der i forsommeren 2013 besluttet at få sammenwrappet nogle af de enkelte folier til et laminat i forskellige kombinationer.

Med laminat forstås, at man på et rulleværk sammenkører 2 forskellige folier til en enkelt rulle. Wrappingen foregik på rulleværket, hvor de enkelte folier også tidligere blev mikro perforeret.

Som tidligere nævnt under konklusionen under pkt. 5.11 arbejdedes der fremadrettet henimod et CO-ekstruderet laminat som næste udgave af folien (next generation). Denne wrapping af 2 stk. enkeltlags folier skulle på en simpel måde udgøre den næste generation folie (et CO-ekstruderet laminat), og der var mulighed for på dette første egentlige markforsøg at teste virkningen af dette.



FIGUR 5.25: DE FORSKELLIGE KOMBINATIONER TIL UDLÆGNING CA. 2000 M I ALT.

5.7.1 Udlægningen

Udlægningen af folien foregik d. 12-10-2013 i Sunds hos en producent, forhandler og leverandør af skovplanter.

Til formålet var der udlagt og præpareret et større prøveareal, hvor der var lavet 7 rækker til udlægning. Hver af rækkerne var omhyggeligt harvet og efterfølgende tromlet for at give de bedste betingelser for udlægning.

Der var mulighed for at låne en udlægger af ældre dato, og den blev så klargjort.

Udlæggeren brugtes normalt til udlægning af folie til jordbær dyrkning, hvor folien var betydelig bredere og derfor måtte den omforandres til dette formål. Håndtering af folien foregik ved at spænde en folierulle fast på en midteaksel, som kunne dreje rundt. For at holde folien udstrakt under start/stop og kørsel lå der en plade over rullen, som lavede modstand.

Ved opstarten fastgjordes folien med kramper indtil der blev sat i gang. Herefter holdtes folien nede af gummihjulene, mens de bagerste tallerkenhjul skovlede jord op på siderne af folien.

Der skulle køres med jævn fart for, at der blev opskovlet tilstrækkelig med jord, og det var bestemt ikke nemt, da udlægger og ophæng på traktoren skulle kalibreres meget nøje for at få en symmetrisk udlægning.

Til udlægning af den næste udgave af folie (next generation) arbejdedes der med udlægning med en mere avanceret udlægger, hvor folien presses vertikalt ned i siderne i stedet for, at jorden blot lægges løst ovenpå foliesiderne til fastgøring af folien.



FIGUR 5.26: VED IGANGSÆTNING SKULLE FOLIEN FASTGØRES INDTIL GUMMIHJULENE FÅR FAT.

De enkelte kombinationer af laminat sammen med rækker af enkellagsfolie blev efterfølgende udlagt med udlæggen i rækker a. ca. 400 m.

A folien enkeltlags med et stort indhold af PBAT var forholdsvis nemt at udlægge, fordi folien var meget elastisk grundet den høje brudforlængelse. Revnedannelse sås stort set ikke selvom, der kunne forekomme et hul under udlægningen. Til gengæld var trækstyrken ikke ret stor og gummi hjulene må helst ikke træde for hårdt, da folien i så fald blev belastet for hårdt (rykkedes over).

Det gik også fint med B, selvom PLA indholdet var større, hvilket gjorde materialet mindre elastisk.

C voldte til gengæld store problemer, fordi indholdet af PLA var stort, hvilket gjorde, at materialet var meget stift og ufleksibelt, hvilket igen stillede store krav til maskineri for at udgå langsgående revner ved udlægning.

Flere gange måtte udlægningen stoppes netop på grund af de langsgående revner, som altid foregik i maskinretningen (længderetningen) af folien.

Ved laminatudlægningen blev problemet kun værre, fordi udlægningen i forvejen var yderst kompliceret grundet det uhomogene materiale f.eks. C/A.

På grund af forskellen i brudforlængelse var det næsten umuligt at udlægge



FIGUR 5.27: TALLERKENHJULENE SKULLE JUSTERES OMHYGGELIGT FOR AT FÅ EN ENSARTET DÆKNING MED JORD.



FIGUR 5.28: LØBENDE JUSTERING AF UDLÆGGEREN SOM IKKE VAR AF NYESTE DATO.



FIGUR 5.29: RÆKKER MED DE FORSKELLIGE KOMBINATIONER AF FOLIER DELS LAMINERET OG DELS SOM SINGLE TIL SAMMENLIGNING.



FIGUR 5.30: EKSEMPEL PÅ EN RÆKKE, HVOR FOLIEN LÅ NOGENLUNDE SOM DEN SKULLE. UDSTRAKT MED AFDÆKNING AF JORD UDEN MULIGHED FOR AT VINDEN KUNNE FÅ FAT.

5.7.2 Foreløbig validering

Prøve arealet i Sunds var løbende blevet besigtiget, og der var helt klart nogle ting, som skulle forbedres.

Da udlæggeren jo var af ældre dato, som flere steder ikke skubbede tilstrækkelig med jord op langs siderne af folien, var det klart, at de udlagte folier vil stå svagt i forhold til vind.

Som det ses af nedstående billede havde vinden havde fået fat og ødelagt en del af rækkerne. Dette skyldes primært udlæggeren, hvor afdækningen af jord havde været dårlig og sekundært, fordi foliedækket med højt indhold af PLA (C) havde udviklet revnedannelse. Især en af rækkerne med laminatet var hårdt ramt, hvor det øverste lag af B helt var rykket af. A, som danner det nederste lag, var nu blottet for UV nedbrydning.



FIGUR 5.31: SUNDS 14-1-2014

Rækkerne med enkeltlagsfolier holdt bedre, men C rækkerne var desværre ødelagt grundet den manglende elasticitet (højt indhold af PLA). En revnedannelse havde gjort, at vinden havde fået fat og alle rækker var mere eller mindre ødelagt.



FIGUR 5.32: SUNDS 14-1-2014



FIGUR 5.33: RÆKKE MED ENKELTLAGSFOLIE B TYKKELSE =20 MICRON. INTAKT, - DOG MED SKADER FRA DYR.

Under en besigtigelse 5 måneder senere kunne konstateres uhæmmet ukrudtsvækst under folierækkerne (ganske som under semiforsøg 1). Endnu en bekræftelse af vigtigheden med indfarvning. Billedet viser med tydelighed, at ukrudt, hvis det fik de rette betingelser, kunne gro under folien og ødelægge den. Selv en præparering af jorden før udlægning var ikke nok til at stoppe væksten.



FIGUR 5.34: RÆKKE MED ENKELTLAGSFOLIE B. PERFORERET AF UKRUDTSVÆKST UNDER FOLIEN 12-06-2014

5.7.3 Konklusion

Det kunne indtil videre konkluderes, at forsøget i Sunds havde givet noget nyttig information primært omkring den praktiske håndtering.

Der stilledes høje krav til maskineriet, og en mere avanceret maskine vil blive nødvendig til en efterfølgende udlægning (next generation).

Det var vitalt, at folien blev fastgjort fuldstændig i siderne uden, at vinden kunne få fat. Forsøget viste tydeligt, at udlæggeren ikke havde kunnet afdække siderne ordentligt. Kombineret med revnedannelse primært hos C havde det gjort, at mange rækker efterfølgende var ødelagt af vind.

Næste udlægning vil som tidligere nævnt blive med en maskine med vertikal nedfældning af foliesiderne for på denne måde at sikre folien optimalt fastgørelse.



FIGUR 5.35: UDLÆGGER MED VERTIKAL NEDFÆLDELSE AF FOLIE (FOTO FRA YDING SMEDIE)

Under nedbrydning vil der naturligvis forekomme revner og huller, men det er vigtigt, at folien ikke vil flytte sig nævneværdigt, hvilket undgås med denne maskine.

Forsøget havde også indtil videre vist, at rækkerne med folie, som ikke var beskadiget af vinden var nogenlunde intakte rent nedbrydningsmæssigt, hvilket understøtter vores foregående undersøgelser.

Det kunne sekundært konkluderes, at folien uanset nedbrydning skulle have en elasticitet dvs. høj brudforlængelse (A) for at egne sig til maskinel udlægning. Lav brudforlængelse (C) duer ikke til udlægning, da revne dannelsen var al for stor, dels ved selve udlægningen og dels den efterfølgende under trækpåvirkning. En tykkelse på 20 micron var også i underkanten af, hvad der var håndterbart og der arbejdes på at næste udgave af folien ligger på 30-40 micron

Det fremgik også, at mikroperforering, der vil sikre vandgennemtrængning til træerne, kunne udgøre et problem. Mikroperforeringen kunne starte en revnedannelse med det samme under trækning.

Især i siderne, som skulle nedfældes, var det vigtigt, at der ikke forekom revnedannelser, da folien efterfølgende slipper. Især ved C var der problemer med, at der pludselig opstod en revne langs en af siderne uden, at den kunne stoppes. Forsøget havde vist, at de opståede revner fortsætter så længe der var træk dvs. at der køres. Man kunne dog fremadrettet forstærke hvert hul i mikroperforeringen ved at perforere med nåle, som var opvarmet. På den måde smelter man en kant (forstærkning) omkring hver hul som forhindrer revnedannelse under træk.

Sluttelig viser markforsøgene også vigtigheden af indfarvning og tykkelse for at hæmme væksten af ukrudt under folien.

Forsøget vil blive fortsat og løbende valideret.

5.8 Temperatur målinger

I forlængelse af undersøgelsen af varmeisolerende egenskaber i afdækningsfolier i foråret 2013 blev der iværksat en mindre undersøgelse omkring risikoen for frostskafer i foråret 2014.

Der blev opsat 2 stk. loggere på forsøgsarealet i Sunds til måling af døgntemperaturen, hvilket var meget sparsomt og derfor skal resultaterne tages med forbehold og kun tolkes som et supplement til rapporten.

Loggerne var udlånt af Teknologisk Institut og kalibreret inden for $\pm 0,1$ grad.

Forsøgsopstillingen var anbragt i 18-20 cm højde (relevant for små træer) i åbne ventilerede plastkasser med indlagte plader uden påvirkning af direkte regn og solskin.

Der henvises i øvrigt til bilag 7.

5.8.1 Konklusion

På baggrund af forsøget vil det være svært at sige noget konkret, om folien ville have en skadende effekt i forhold til frostskafer i forbindelse med knopskydning.

De enkelte målinger svingede meget. I nogle af målingerne, i de tidlige morgentimer, hvor der var koldest, var temperaturen i kassen over folien faktisk højere end kassen over jorden.

Det kunne derimod konkluderes, at folien i løbet af dagtimerne bliver varme akkumuleret, således at temperaturen over denne når sit højdepunkt midt på eftermiddagen, men det hele bliver tabt igen over kort tid. Graferne (bilag 6) viser tydeligt denne udvikling.

På baggrund af den sparsomme opstilling og antallet af loggere, vurderes det, at forsøget bør understøttes af et særskilt temperatur projekt, hvor der udelukkende fokuseres på denne del. Antallet af loggere skal forøges, opstillingerne ændres, og tid og sted ændres for at få et anvendeligt vurderingsmateriale, som beslutningsgrundlag for effekten af plastfolien.

5.9 Konklusion

Formålet med testfasen var primært koncentreret om mark forsøg og semifeltforsøg og en foreløbig validering af disse. Sekundært forsøg og validering af de termografiske egenskaber og temperaturmålinger.

I denne fase var opgaven ligeledes at få lavet de relevante materialer til forsøg i laboratoriet sideløbende med de overnævnte forsøg.

Samlet set var der således opnået en viden og erfaring med de forskellige materialer samt deres styrker og svagheder i naturen. De enkelte felttest viser tydeligt, at råfolien (A) med et procentvis højt indhold af PBAT egner sig rigtigt godt til udlægning og til et fugtigt miljø og råfolien (C) med en et højt indhold af PLA var meget UV stabil men ikke egnet til udlægning på grund af den ringe elasticitet.

Godstykkelse og indfarvning havde også en meget stor betydning. Indfarvningen var vital i forhold til hæmning af ukrudt under folien.

Semifelt forsøg 1 og markforsøget i Sunds viste med al tydelighed, at de producerede folier ikke kunne hindre denne vækst, og at der skulle indfarves betragteligt (yderligere carbon black påkræves).

Det kunne også konkluderes på de forskellige test, at folierne alene var sårbare på hver sin måde, men sammen f.eks. lamineret og kombineret med større godstykker og en større mængde carbon black (sort MB) til indfarvning kunne der opnås betydelige fordele i forhold til en styret og begrænset holdbarhed.

Denne viden om konstruktionen betyder, at den næste udgave af folien (next generation) indlysende bør og skulle være en kombineret af de enkelte enkeltlags-foliers styrker i forhold til fugt og UV bestandighed gennem en CO-ekstrudering. Den CO-ekstruderede folie vil derfor indeholde en hvis procentandel af hver råvare i en lagdelt konfiguration.

Den procentvise del af hver råvare, sammensætning, tykkelse, indfarvning osv. vil være afgørende for en styring af nedbrydeligheden over tid og ikke mindst elasticiteten til udlægning.

Sammenholdtes resultaterne fra alle de gennemførte laboratorie forsøg sammen med den foreløbige validering fra semi- og mark forsøgene i Sunds tegnede der sig et ret klart billede af behovet for at kombinere det bedste fra flere materialer i en ny type folie der indeholder flere lag (en CO-ekstruderet/ lamineret folie). Dette skulle ses i lyset af, at dels behov for en homogen folie, som der kunne udlægges maskinelt samt dels behov for fugtstabilitet og UV bestandighed.

Forslaget var, at der arbejdes videre med variationer af en CO-ekstruderet folie i to lag med følgende opbygning:

- Overlag bestående af materialet eller tilsvarende med højt indhold af PLA til beskyttelse af hele den CO-ekstruderede folie mod UV-påvirkninger. God UV-stabilitet var påkrævet så UV-absorber var påkrævet – i form af en sort indfarvning med carbon black eller evt. anvendelse af anden UV-absorber.
- Underlag vendt ned mod jorden bestående af materialet eller tilsvarende med højt indhold af PBAT til at modstå påvirkninger fra fugt samt mikrobiologi.
- Indfarvning var en nødvendighed for at hindre at lys trænger igennem folien. Farve var underordnet. UV-absorber var ikke påkrævet.

Forslag til materialevalg:

- Overfolie: C var at foretrække pga. indholdet af PLA.
- Underfolie: A

Forslag til blandingsforhold og godstykkelse:

- Blandingsforhold: 10 – 20 % A og C til 80 – 90 % A
- Tykkelsesvariationer: fra 30 µm til 40 µm.
- Bredde 900 mm (for at sikre yderligere fastholdelse ved udlægning)

Forslag til perforering:

Der mikroperforeredes med et rullensæt, hvor nålene var opvarmet for at smelte en kant omkring de enkelte huller under perforering til at forstærke folien mod revnedannelse under udlægning.

Der var igangsat en screening af markedet for en mulig prøveproduktion omkring denne CO - ekstrudering, da mulighederne desværre ikke var til stede.

Der arbejdedes stadig med en fortrukken leverandør af råvarerne.

I forlængelse af den nye CO ekstruderede folie prøveproduktion var det også planen at prøve en mere avanceret udlægger, som gerne skulle være klar til udlægningen efteråret 2014.



FIGUR 5.36: 3 RÆKKET UDLÆGGER MED VERTIKAL NEDFÆLDELSE AF FOLIESIDER.

6. Perspektivering

Udviklingen og processen havde givet anledning til andre overvejelser og erfaringer til såvel egen anvendelse som til andres.

Projektet var stort set forløbet som forventet.

Produktet skulle sikres mod uberettiget konkurrence ved patenter dækkende såvel produktets kendetegn som afsætningen af produktet. Dette kunne ske enten ved en patentbeskyttelse og / eller en certificering af produktet. Det kunne undervejs i processen konstateres at dette har været en langvarig proces samtidig med, at det har været modtaget fejlinformationer fra troværdige kilder. En tidskrævende proces som skal der skal anvendes ressourcer på sideløbende med arbejdet med udviklingen af produktet.

En direkte beskyttelse via et patent var ikke muligt, da det var afskærmet af allerede indgivne komplementære patenter. Der kan i stedet for arbejdes med et trademark af produktet i form af logo og varemærke registrering som fx Tupperware og LEGO.

Udover det ovenfor anførte resterer der endvidere udarbejdelse af en egentlig forretningsplan indeholdende konkrete kalkulationer, afsætningsmæssige og rentabilitetsmæssige forhold måtte naturligvis afvente et produktionsmodent produkt uagtet, at der undervejs i projektet er gjort tanker og handlinger herom. Eksempelvis vil der i den videre planlægning blive fokuseret på udvikling af produkter og afsætning til alternative kundesegmenter ud fra en positiv rentabilitet.

Udfordringerne derudover vedrørte mest eksterne parter og deres manglende evne til at leve op til det forventede samt til det aftalte.

Forberedelse var altid nødvendig uanset hvilket projekt, der skulle arbejdes med og jo mere man arbejder sig ned i dette jo nemmere var det at håndtere de naturligt opståede problemer undervejs. I et udviklingsprojekt er det selvsagt ikke muligt at forberede sig på alt, idet der helt naturligt undervejs opstår situationer, som ikke kunne forudses og som der må indrettes efter.

Inddragelsen af eksterne partnere eksempelvis til fremskaffelse af materialer og til at få de ønskede test materiale produceret var et forhold, som havde været tidskrævende og havde påvirket tidsplanen.

De opnåede gode erfaringer og imødekommenhed fra eksterne parter skyldes nok projektets eget netværk, hvorfor det konstateres, at det ikke altid var en fremkommelige vej med eksterne parter og leverandører, selvom omkostningerne hos dem blev dækket. Det synes som interessen og fokus ikke har været til stede hos dem.

Af andre vigtige forudsætninger var en opdeling af et projekt i delfaser med milestones en alment anvendt metode. Dette udgør med erfaringerne fra dette projekt en udfordring, idet det fastlåser udviklingsprocessen, og dermed projektet til at skulle følge netop det skitserede forløb. Der kunne ønskes en større fleksibilitet heri således, at der kunne springes enkelte dele over, når udviklingsprocessen overflødiggør disse og dermed anvende ressourcerne mere formålstjenligt.

Referencer

- Litteratur
 - Biodegradable polymers - Green Energy and Technology, (Springer -Verlag London 2012)
 - Miljøprojekt nr. 359, "Jorddækning som alternativ til kemisk ukrudtskontrol", 1997
- Web
 - <http://www.biodeg.net/bioplastic.html>
- Kontakter
 - Teknologisk Institut, Plastteknisk afdeling
 - Råvareleverandører
 - Plast producenter

Bilag

Bilag 1: Testresultater i fase 3

Bilag 1.1. Levetidstest A i vand

Forceret levetidstest			Medie:	Vand		Bedømmelse	++	Ingen ændringer	
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Materiale			Start:	17. juli 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Mix. PBAT/PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
							--	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse	
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning	
	Dato og forløbet tid								
	13. aug	19. aug	26. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.
Temperatur	26 dage	32 dage	40 dage	50 dage	54 dage	62 dage	84 dage	103 dage	123 dage
20°C	++	++	++	++	++	++	++	++	++
30°C	++	++	++	++	++	++	++	++	++
40°C	++	++	++	++	++	++	++	++	++
50°C	++	++	++	++	++	+(++)	+(++)	o	o
		4 dage	12 dage	22 dage	26 dage	34 dage	56 dage	75 dage	95 dage
60°C	Start 15/8	++	++	++	++	+	o	-(-)	---/STOP
									40 my folie i hvid klarer sig lidt bedre!!
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10°C kan prøvningstiden halveres							Minimumslevetid		
Ønsket levetid: 2 år									
Middeltemperatur i danmark: ca. 7 °C									
Prøvningstemperatur	Prøvningstid								
10°C (7°C)	2 år								
20°C	1 år								
30°C	180 dage (½ år)								
40°C	90 dage								
50°C	45 dage								
60°C	22 dage								

Bilag 1.2. Levetidstest B i vand

Forceret levetidstest			Medie:	Vand		Bedømmelse	++	Ingen ændringer	
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Materiale			Start:	17. juli 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Mix. PBAT/PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
							-	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse	
							--	Total ødelæggelse/nedbrydning	
	Dato og forløbetid								
	13. aug	19. aug	26. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.
Temperatur	26 dage	32 dage	40 dage	50 dage	54 dage	62 dage	84 dage	103 dage	123 dage
20°C	++	++	++	++	++	++	+(++)	+	+
30°C	++	+	o	o	o	o (-)	-	-	-
40°C	+	o	o (-)	o (-)	-	-	-(-)	-(-)	-(-)
50°C	o	-	-	-	-	-	- (-)	(-)	---/STOP
60°C	Start 15/8	4 dage	12 dage	22 dage	26 dage	34 dage	56 dage		
		+	o	-(-)	-	-	---/STOP		
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres							Minimumslevetid		
Ønsket levetid: 2 år									
Middeltemperatur i danmark: ca. 7 °C									
Prøvningstemperatur	Prøvningstid								
10°C (7°C)	2 år								
20°C	1 år								
30°C	180 dage (½ år)								
40°C	90 dage								
50°C	45 dage								
60°C	22 dage								

Bilag 1.3. Levetidstest C (20 µm) i vand

Forceret levetidstest			Medie:	Vand		Bedømmelse	++	Ingen ændringer	
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Materiale	20µm	Start:	17. juli 13				o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Mix. PBAT/PLA							-	Storændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
							--	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse	
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning	
Dato og forløbet tid									
	13. aug	19. aug	26. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.
Temperatur	26 dage	32 dage	40 dage	50 dage	54 dage	62 dage	84 dage	103 dage	123 dage
20°C	+	+	+	+(o)	+(o)	+(o)	+(o)	o	o
30°C	+	+	o	o	o	o (-)	-	-	-
40°C	+	o	o (-)	-	-	-	-- / glat	-- / lidt ru	-- / lidt ru
50°C	o	-	-	- / lidt ru	--	-- (--)	(--)	(--)	--- / STOP
		4 dage	12 dage	22 dage	26 dage	34 dage			
60°C	Start 15/8	+	-	-- / ru	-- (--)/ru	--- / STOP			
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres									
Ønsket levetid: 2 år									
Middeltemperatur i danmark: ca. 7 °C									
Prøvningstemperatur	Prøvningstid								
10°C (7°C)	2 år								
20°C	1 år								
30°C	180 dage (½ år)								
40°C	90 dage								
50°C	45 dage								
60°C	22 dage								

Bilag 1.4. Levetidstest C (40 µm) i vand

Forceret levetidstest			Medie:	Vand		Bedømmelse	++	Ingen ændringer		
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke		
Materiale		40µm	Start:	17. juli 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke		
Mix. PBAT/PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke		
							--	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse		
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning		
	Dato og forløbet tid									
	13. aug	19. aug	26. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.	
Temperatur	26 dage	32 dage	40 dage	50 dage	54 dage	62 dage	84 dage	103 dage	123 dage	Noter
20°C										Ikke gennemført!
30°C	+	+	o	o	o	o (-)	o (-)	-	-	Rivestyrke i maskinretning er værst
40°C	+	o	o (-)	o (-)	-	- / lidt ru	-- / lidt ru	-- / lidt ru	-- / lidt ru	Rivestyrke i maskinretning er værst
50°C	o	o	-	- / meget ru	-- / meget ru	-- (-) / meget ru	-- (-) / meget ru/blæner	(-) / meget ru/blæner	---/ STOP	Rivestyrke i maskinretning er værst
		4 dage	12 dage	22 dage	26 dage	34 dage	56 dage			
60°C	Start 15/8		-	-(-) / ru	-- (-) / meget ru	-- (-) / meget ru	---/ STOP			Rivestyrke i maskinretning er værst
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres							Minimumslevetid			
Ønsket levetid: 2 år										
Middeltemperatur i danmark: ca. 7 °C										
Prøvningstemperatur	Prøvningstid									
10°C (7°C)	2 år									
20°C	1 år									
30°C	180 dage (½ år)									
40°C	90 dage									
50°C	45 dage									
60°C	22 dage									

Bilag 1.5. Levetidstest D (40 µm) i vand

Forceret levetidstest			Medie:	Vand		Bedømmelse	++	Ingen ændringer	
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Materiale		40µm	Start:	26. august 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
Mix. PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke	
							--	Mest stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse	
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning	
Dato og forløbetid									
	29. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.		
Temperatur	3 dage	10 dage	14 dage	22 dage	44 dage	63 dage	83 dage	Noter	
20°C								Ikke gennemført!	
30°C	++	++	++	++	++	++	++		
40°C	++	++	++	++	+	+	+		
50°C	++	++	+	+	o	- (--)	---/ STOP	Rivestyrke i tværretning er værst	
60°C	++	o	--	---/ STOP				Rivestyrke i tværretning er værst	
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres									
Ønsket levetid: 2 år									
Middeltemperatur i Danmark: ca. 7 °C									
Prøvningstemperatur	Prøvningstid								
10°C (7°C)	2 år								
20°C	1 år								
30°C	180 dage (½ år)								
40°C	90 dage								
50°C	45 dage								
60°C	22 dage								

Bilag 1.6. Levetidstest A i luft

Forceret levetidstest			Medie:	Luft		Bedømmelse	++	Ingen ændringer
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Materiale		20µm	Start:	26. august 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Mix. PBAT/PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
							--	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning
	Dato og forløbet tid							
	29. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.	
Temperatur	3 dage	10 dage	14 dage	22 dage	44 dage	63 dage	83 dage	Noter
20°C								Ikke gennemført!
30°C								Ikke gennemført!
40°C	++	++	++	++	++	++	++	
50°C	++	++	+	++	++	++	++	
60°C	++	++	++	++	++	++	++	
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres								Minimumslevetid
Ønsket levetid: 2 år								
Middeltemperatur i danmark: ca. 7 °C								
Prøvningstemperatur	Prøvningstid							
10°C (7°C)	2 år							
20°C	1 år							
30°C	180 dage (½ år)							
40°C	90 dage							
50°C	45 dage							
60°C	22 dage							

Bilag 1.7. Levetidstest B i luft

Forceret levetidstest			Medie:	Luft		Bedømmelse	++	Ingen ændringer
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Materiale		20µm	Start:	26. august 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Mix. PBAT/PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
							--	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning
	Dato og forløbetid							
	29. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.	
Temperatur	3 dage	10 dage	14 dage	22 dage	44 dage	63 dage	83 dage	Noter
20°C								Ikke gennemført!
30°C								Ikke gennemført!
40°C	++	++	++	++	++	++	++	
50°C	++	++	+	++	++	++	++	
60°C	++	++	++	++	+	+	+	
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres								Minimumslevetid
Ønsket levetid: 2 år								
Middeltemperatur i Danmark: ca. 7 °C								
Prøvningstemperatur	Prøvningstid							
10°C (7°C)	2 år							
20°C	1 år							
30°C	180 dage (½ år)							
40°C	90 dage							
50°C	45 dage							
60°C	22 dage							

Bilag 1.8. Levetidstest C (20 µm) i luft

Forceret levetidstest			Medie:	Luft		Bedømmelse	++	Ingen ændringer
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Materiale		20µm	Start:	26. august 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Mix. PBAT/PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
							--	Mest stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning
	Dato og forløbet tid							
	29. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	18. nov.	
Temperatur	3 dage	10 dage	14 dage	22 dage	44 dage	63 dage	83 dage	Noter
20°C								Ikke gennemført!
30°C								Ikke gennemført!
40°C	++	++	++	++	++	++	++	
50°C	++	++	+	++	++	++	++	
60°C	++	++	++	++	+	+	+	Folien klæber til sig selv
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres								Minimumslevetid
Ønsket levetid: 2 år								
Middeltemperatur i Danmark: ca. 7 °C								
Prøvningstemperatur	Prøvningstid							
10°C (7°C)	2 år							
20°C	1 år							
30°C	180 dage (½ år)							
40°C	90 dage							
50°C	45 dage							
60°C	22 dage							

Bilag 1.9. Levetidstest D (40 µm) i luft

Forceret levetidstest			Medie:	Luft		Bedømmelse	++	Ingen ændringer
							+	Let/begyndende ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Materiale		40µm	Start:	26. august 13			o	Nogen ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
Mix. PLA							-	Stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke
							--	Megt stor ændring/nedbrydning/reduceret rivestyrke - tæt på ødelæggelse
							---	Total ødelæggelse/nedbrydning
	Dato og forløbet tid							
	29. aug.	5. sept.	9. sept.	17. sept.	10. okt.	29. okt.	11. nov.	
Temperatur	3 dage	10 dage	14 dage	22 dage	44 dage	63 dage	83 dage	Noter
20°C								Ikke gennemført!
30°C								
40°C	++	++	++	++	++	++	++	Rivestyrke i tværetning er ikke god
50°C	++	++	+	++	++	++	++	Rivestyrke i tværetning er ikke god
60°C	++	++	++	++	++	++	++	Rivestyrke i tværetning er ikke god
Forceret levetidsteori: Øges temperaturen med 10 °C kan prøvningstiden halveres								Minimumslevetid
Ønsket levetid: 2 år								
Middeltemperatur i danmark: ca. 7 °C								
Prøvningstemperatur	Prøvningstid							
10°C (7°C)	2 år							
20°C	1 år							
30°C	180 dage (½ år)							
40°C	90 dage							
50°C	45 dage							
60°C	22 dage							

Bilag 2: Undersøgelse af varmeisolerende egenskaber fase 4

Billede 1 viser de 4 forskellige folier efter udlæggelse. For de tre første typer folie var der under halvdelen af folien placeret viskosefilt. For type 4 var der filt under hele folien.



Figur 1: Udlagte folier på græsareal – 31. marts 2013.



Figur 2: Nærbillede af folie 1



Figur 3: Nærbillede af folie 2

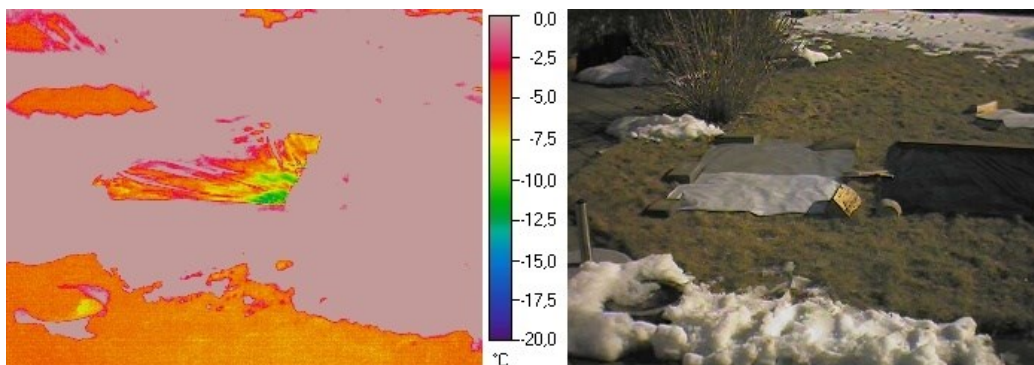


Figur 4: Nærbillede af folie 3

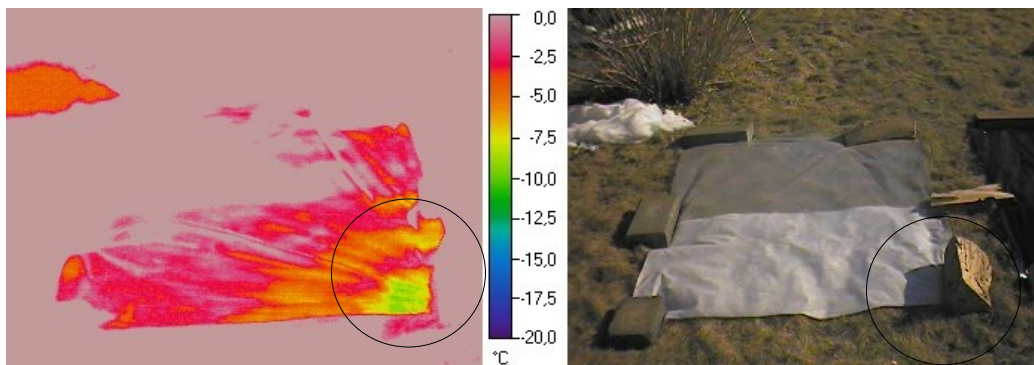


Figur 5: Nærbillede af folie 4

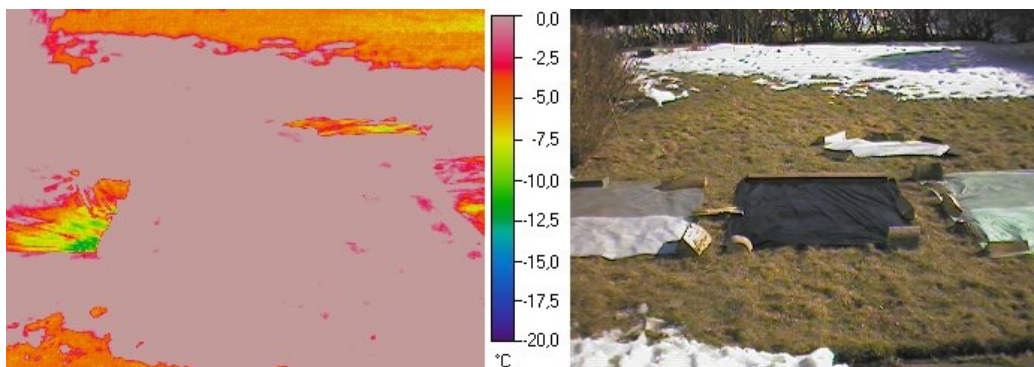
Bilag 3: Første termografimålinger – 31. marts, kl. 16.30



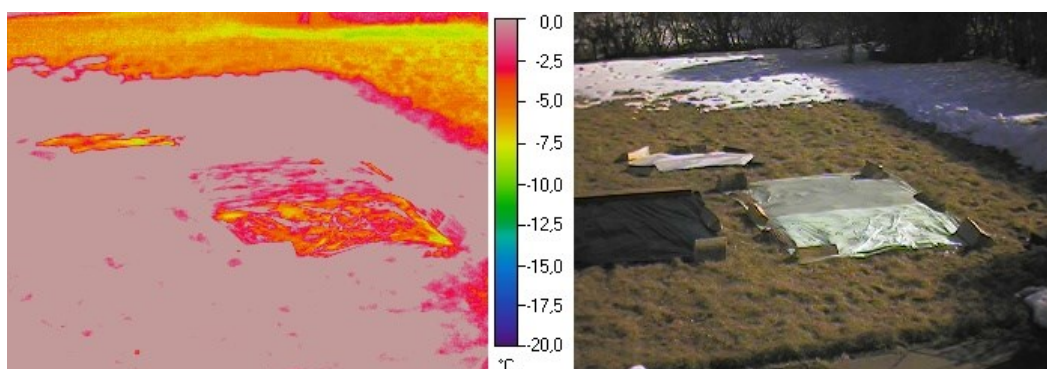
Figur 6: Folie 1. Lufttemperatur ca. 0 °C. Fritliggende græsareal ligger over 0 °C, snedække ligger under 0 °C. Dele af foliedækket ligger tilsyneladende lavere end græsareal. Mest udtalt for område med underliggende filt.



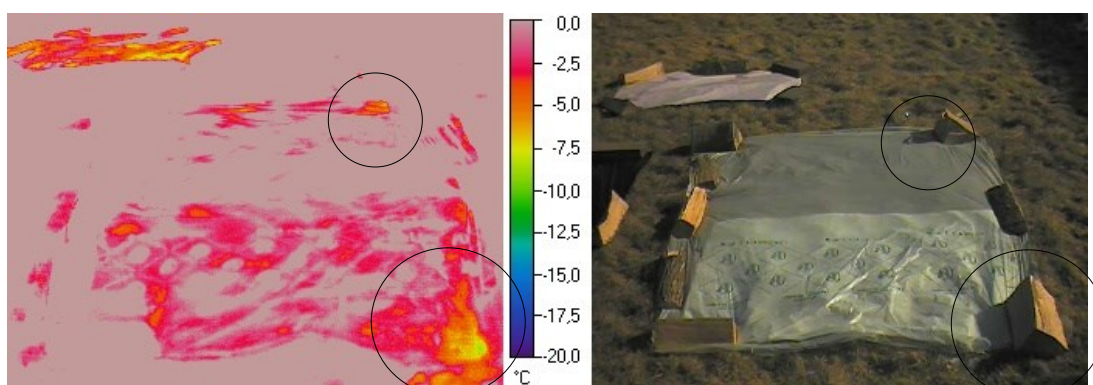
Figur 7: Nærbillede af folie 1 – bemærk at temperaturen var væsentlig lavere i det område der henligger i skygge.



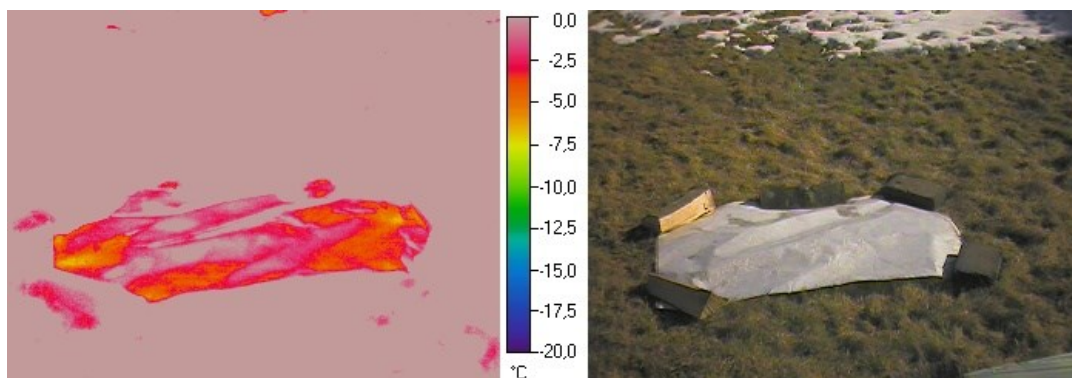
Figur 8: Folie 2. Lufttemperatur ca. 0 °C. Fritliggende græsareal ligger over 0 °C, snedække ligger under 0 °C. Hele folieoverflade ligger over temperatur på 0 °C.



Figur 9: Folie 3. Lufttemperatur ca. 0 °C. Fritliggende græsareal ligger over 0 °C, snedække ligger under 0 °C. Dele af foliedækket ligger tilsyneladende lavere end græsareal. Mest udtalt for område med underliggende filt.

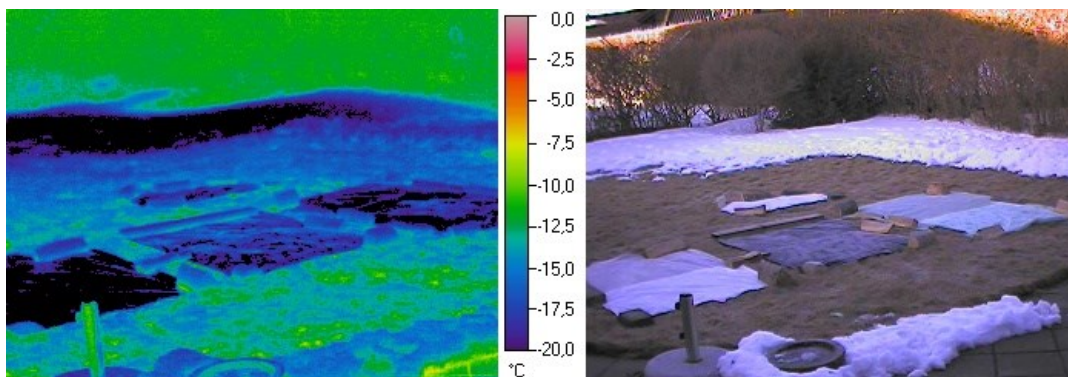


Figur 10: Nærbillede af folie 3 – bemærk at temperaturen også her var væsentlig lavere i det områder der henligger i skygge.

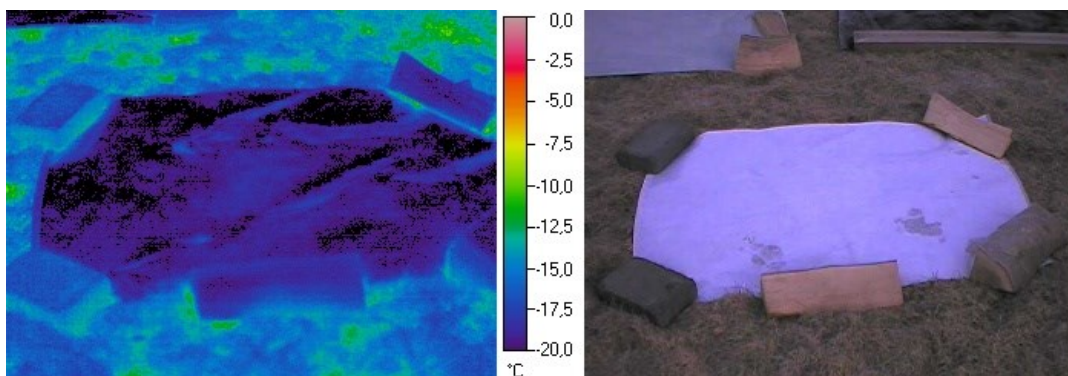


Figur 11: Folie 4. Lufttemperatur ca. 0 °C. Fritliggende græsareal ligger over 0 °C, snedække ligger under 0 °C. Det meste af foliedækket ligger lavere end græsareal. Mest udtalt hvor der var bølger i folien, og hvor der var underliggende luftlommer.

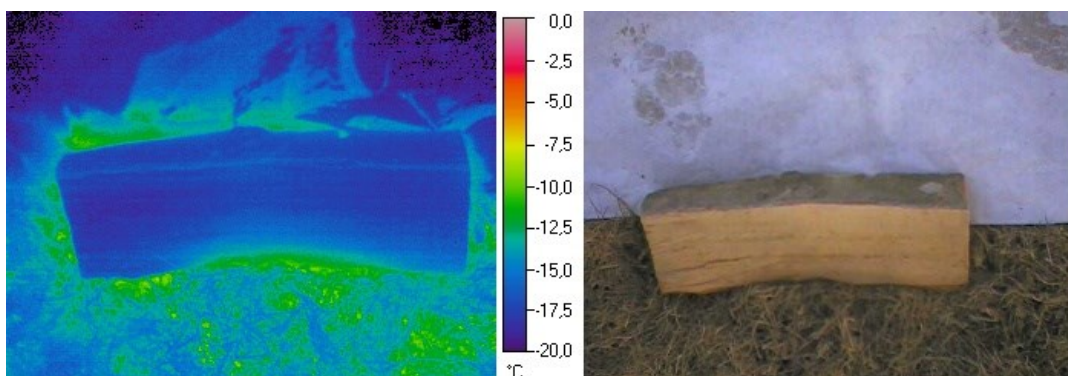
Bilag 4: Anden måleserie med termografikamera – 1. april, kl. 07:30



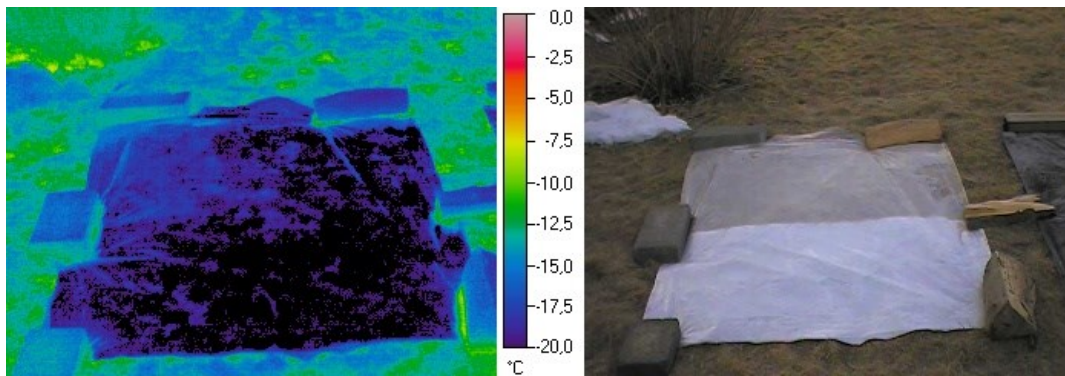
Figur 12: Alle 4 folier. Lufttemperatur ca. -6 °C. Fritliggende græsareal ligger på ca. -8 til -14 °C, snedække ligger på ca. -14 °C. Foliedækket ligger lavere end græs.



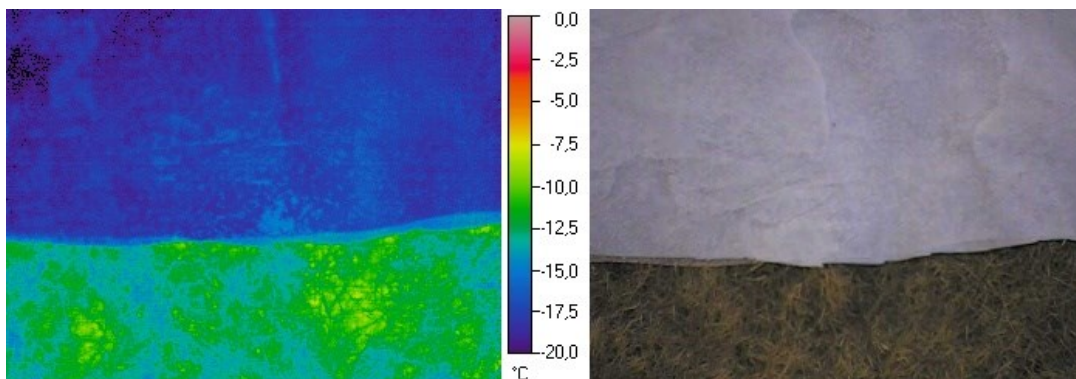
Figur 13: Folie 4. Lufttemperatur ca. -6 °C. Fritliggende græsareal ligger på ca. -8 til -14 °C, snedække ligger på ca. -14 °C. Foliedækket ligger en del lavere end græs.



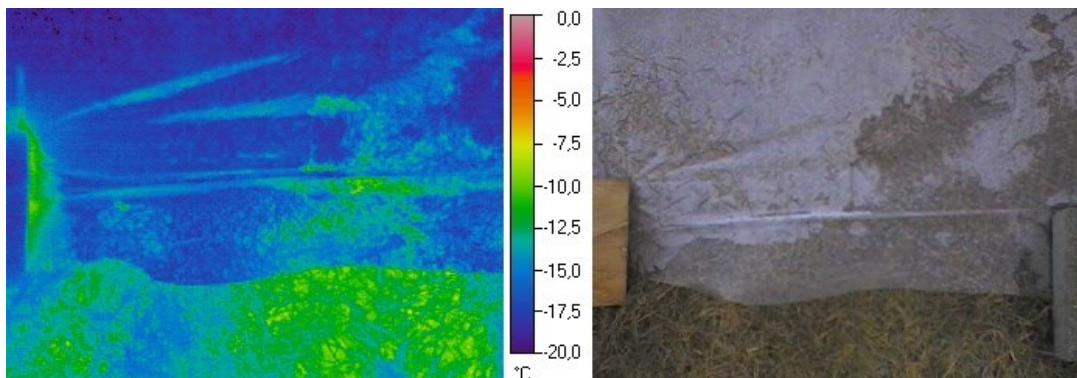
Figur 14: Folie 4. Nærbillede taget lodret ned mod foliekant med filt samt græsdekke. Foliedækkets temperatur ligger mellem ca. -16 til -20 °C.



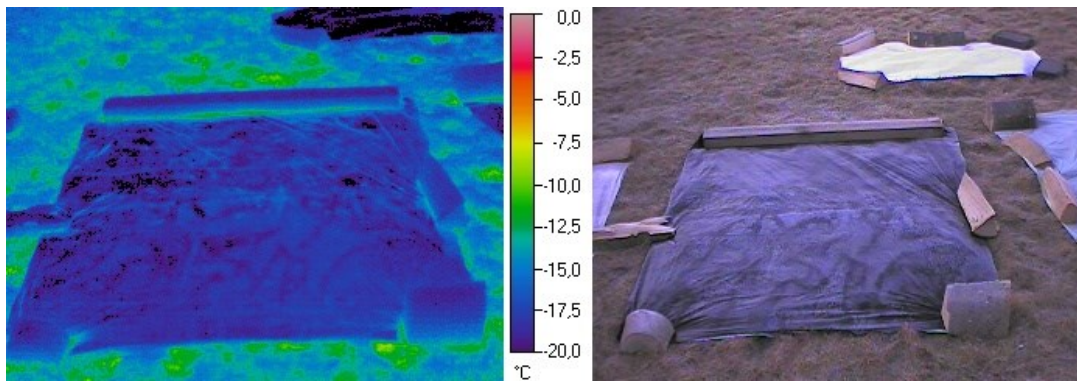
Figur 15: Folie 1. Lufttemperatur ca. -6 °C. Fritliggende græsareal ligger på ca. -8 til -14 °C, snedække ligger på ca. -14 °C. Foliedækket ligger en del lavere end græs.



Figur 16: Folie 1. Nærbillede taget lodret ned mod foliekant med filt samt græsdække. Foliedækkets temperatur ligger mellem ca. -13 til -18 °C



Figur 17: Folie 1. Nærbillede taget lodret ned mod foliekant uden filt samt græsdække. Foliedækkets temperatur ligger mellem ca. -11 til -18 °C



Figur18: Folie 2. Lufttemperatur ca. -6 °C. Fritliggende græsareal ligger på ca. -8 til -14 °C, snedække ligger på ca. -14 °C. Foliedækket ligger en del lavere end græs.

Bilag 5: Samlet oversigt med alle temperaturmålinger udført med termografikamera samt laser-punktmåler.

				Overfladetemperatur							
Hvor	Dato	tid	Lufttemp.	Klar PE	Klar PE/filt	Sort PE	Sort PE/filt	TPS	TPS/filt	PLA/Filt	Græsareal
			°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1. måling med laser-punktmåler - direkte solskin med lidt skyer	31-03-2013	16:30	0	1 - 3	-1 - 1	14 - 17	10 - 11	0 - 3	2 - 4	2 - 4	-1
1. måling med termokamera - direkte solskin med lidt skyer	31-03-2013	16:30	0	x	x	x	x	x	x	x	x
2. måling med termokamera	31-03-2013	23:00	-4 til -5	-19 - -10	-20 - -14	-17 - -13	-20 - -14	-18 - -12	-20 - -15	-20 - -16	-14 - -8
3. måling med termokamera	01-04-2013	07:30	-6	-18 - -11	-18 - -13	-15 - -13	-16 - -13	-15 - -12	-19 - -15	-20 - -16	-13 - -7
2. måling med laser-punktmåler - morgen - sol på vej op	01-04-2013	08:00	-6	-7 - -5	-7 - -5	-6 - -2	-3 - -2	-7 - -6	-7 - -5	-7 - -6	-2 - 0,5
Samme - men under folie el. folie/filt - målt på jordoverflade	01-04-2013	08:00	-6	-2 - 3	-1 - 1,5	0 - 1	0 - 2	0 - 1	0 - 2	-0,5 - 1,5	-2 - 0,5
4. måling med termokamera	03-04-2013	06:30	-4	-18 - -11	-18 - -13	-15 - -13	-17 - -14	-17 - -12	-18 - -14	-19 - -15	-13 - -7
3. måling med laser-punktmåler - morgen	03-04-2013	07:00	-4	-3 - -2	-4 - -3	-3 - -2	-4 - -2	-6 - -4	-4 - -3	-7 - -5	-2 - 0
Samme - men under folie el. folie/filt - målt på jordoverflade	03-04-2013	07:00	-4	-2 - 0	-1 - 1	-2 - 0	-2 - 0	-3 - -1	-3 - 0	-3 - -1	-2 - 0

Tabel 1. Oversigt over alle temperaturmålinger der var foretaget med termografikamera samt laser-punktmåler.

 Iskristaller fra kondenseret vand

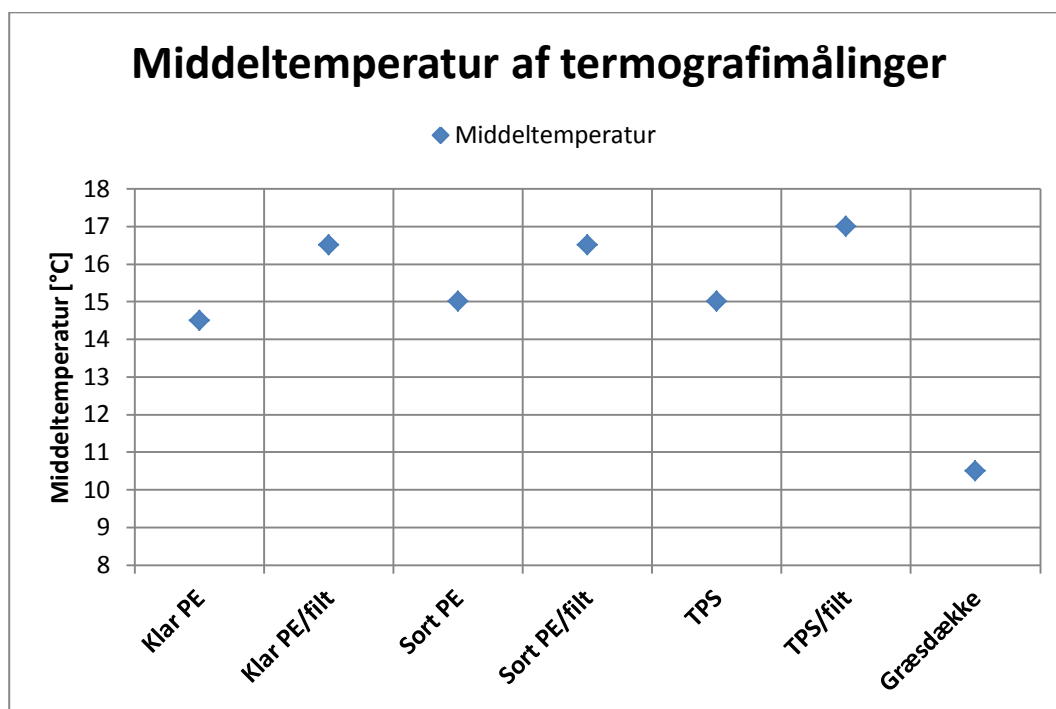
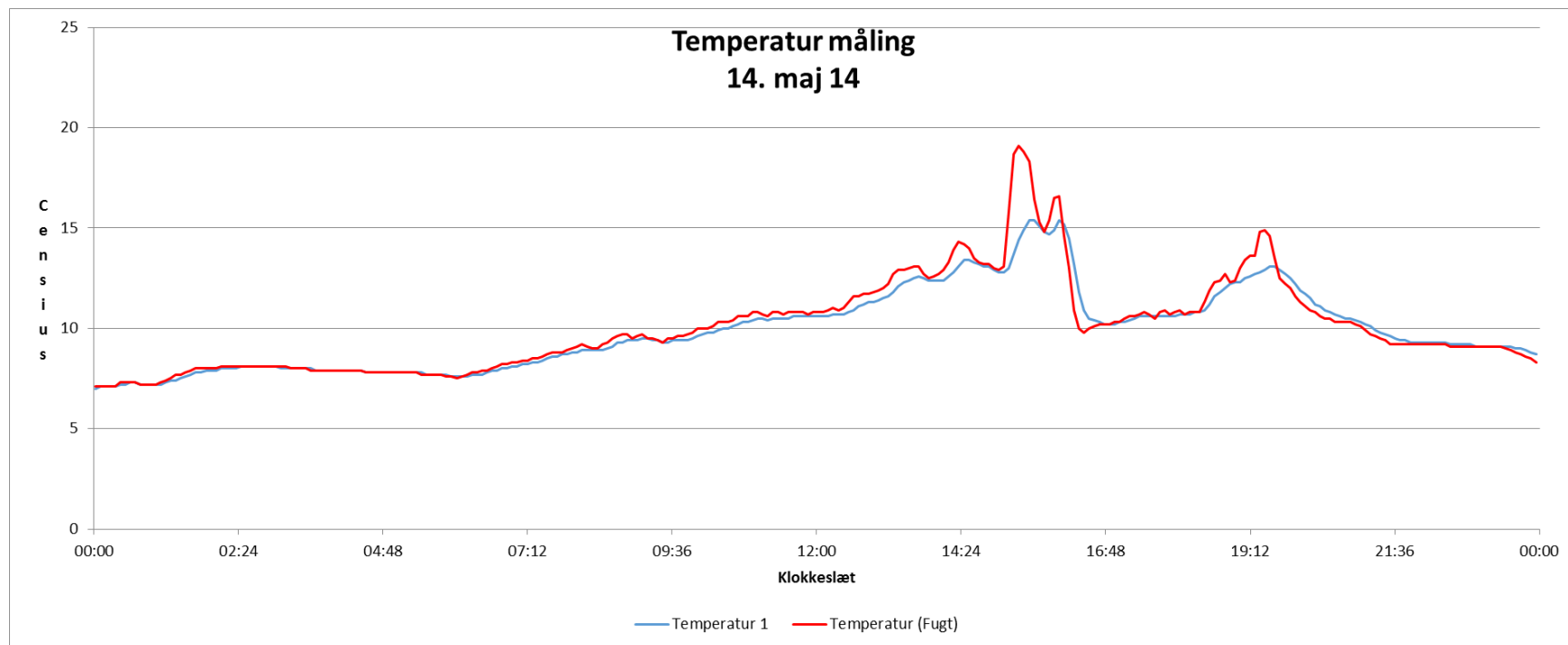
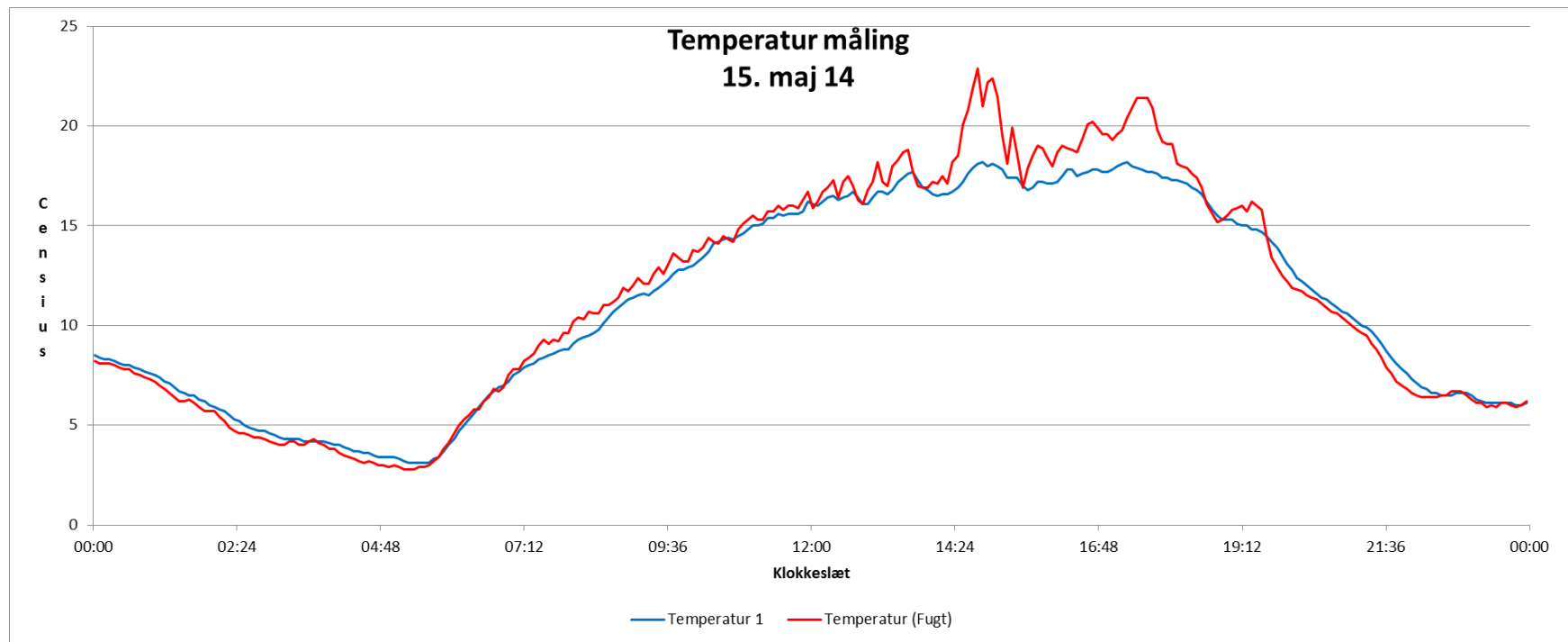


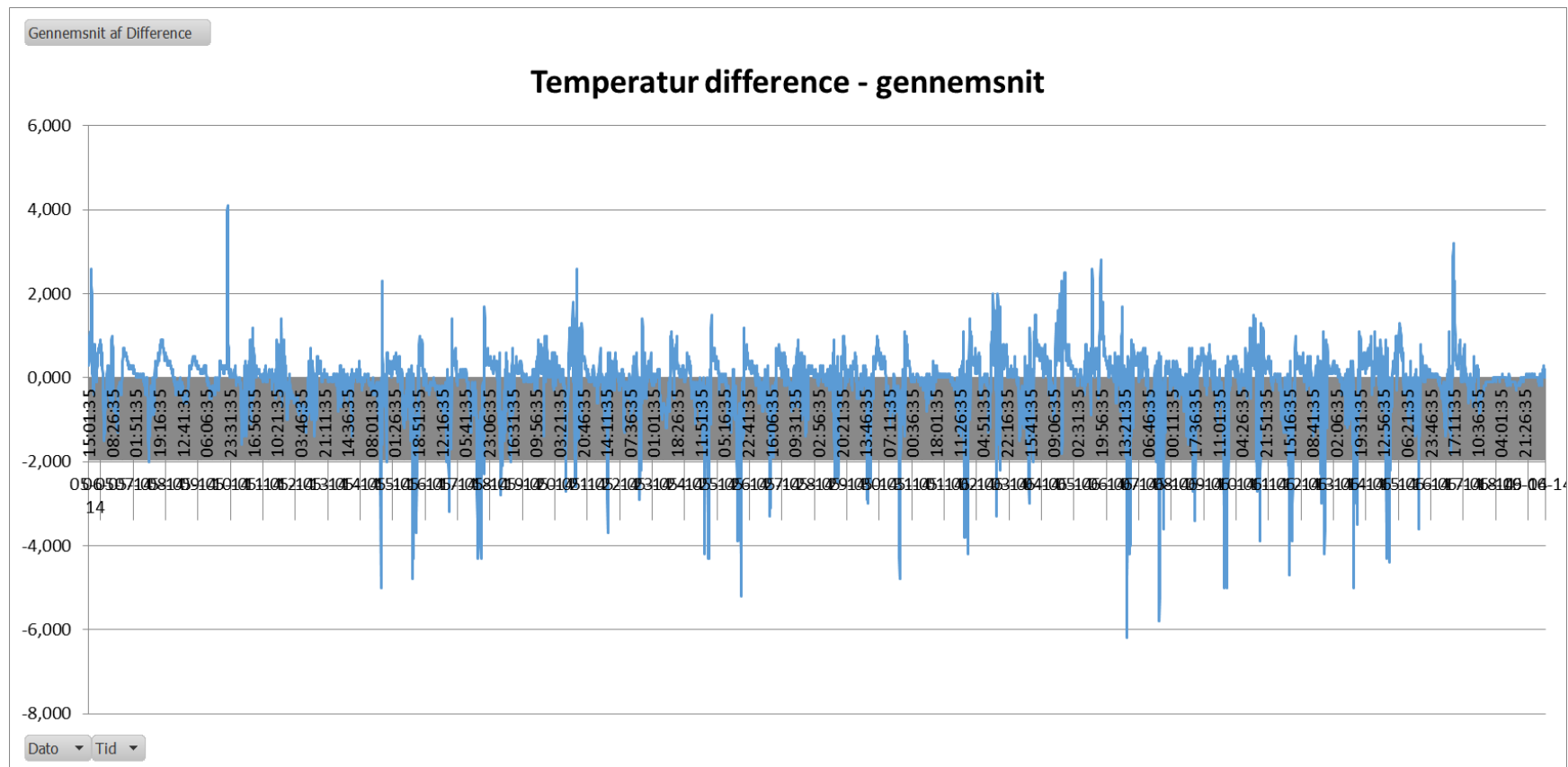
Diagram 1. Samlet oversigt over middeltemperaturer på folie- og jordoverflade målt med termografikamera.

Samlet set var der ret stor forskel på måleniveauer for hhv. termokamera og laser-punktmåler. Dette skyldes formentlig, at termografikameraet og laser-punktmåler ikke opererer med det samme niveau for emission/absorption. Det var helt bevidst ikke ændret på måleapparaternes standardkonfiguration, da målingerne foregik over flere dage og under meget forskellige konditioner mht. omgivelsestemperaturer samt dag/nat forhold. Selv med forskellene i måleniveauer kunne man alligevel godt sammenligne de enkelte målinger.

Bilag 6: Temperatur måling af markforsøg







Bilag 7:

I forlængelse af undersøgelsen af varmeisolerende egenskaber i afdækningsfolier i foråret 2013 blev der iværksat endnu mindre undersøgelse omkring risikoen for frostskafer i foråret 2014.

Der blev kun opsat 2 stk. loggere på forsøgsarealet i Sunds til måling af døgntemperaturen

Loggerne var udlånt af Teknologisk Institut

Loggerne var kalibreret inden for $\pm 0,1$ grad på stedet, hvilket var acceptabelt til forsøget.



Figur 1. De 2 typer loggere, hvor den ene også kunne måle luftfugtighed (logger 2)

Forsøgsopstilling

Loggerne var anbragt i 18-20 cm højde (relevant for små træer) i åbne ventilerede plastkasser med indlagte plader uden påvirkning af direkte regn og solskin.



Figur 2. Placering af logger 1 i plastkassen placeret over direkte jord.

I figur 2 ses kasserne placeret således den ene kasse står over folien (logger 2) og den anden (logger 1) over jord.

Da forsøget startede, var der ikke noget ukrudt af betydning mellem rækkerne. Til slut, hvor dette billede var taget, står det spredt, således der stadig opnås udstråling fra den bare jord.



Figur 3 Forsøgsopstilling med logger. Dato: 16-6-2014

Data

Loggerne målte over en periode fra 5. maj 2014 til og med d. 19. juni 2014 med 5 minutters interval, hvilket førte til 12.934 målinger. Loggerne var efter forsøgets afslutning indleveret, og blevet aflæst hos Teknologisk Institut. Efterfølgende var dataene indlæst i et regneark med grafisk illustration af udviklingen i forsøgsperioden (bilag 4.) Der var ingen nætter med frost i perioden.

Validering

Selvom forsøget havde strakt sig over halvanden måned, og selv med det store antal målinger var det ikke muligt at danne sig et entydigt billede af forskellen mellem temperaturen over folie versus uden folie.

Loggerne måler kun temperatur, de siger intet om vejret den pågældende dag.

I dage med byger falder og stiger temperaturen drastisk, og derfor bliver resultaterne forplumrede.

Et eksempel på et resultat var f.eks. målingerne fra d. 14 - til d. 15. maj med en af de koldeste nætter i prøve perioden. Der henvises til bilag 4.

Fra kl 12 den 14. maj var temperaturerne for begge kasser næsten ens, og de fulgtes ad i løbet af nogle timer indtil kl 15, hvor der pludselig indenfor 20 minutter skete en temperaturstigning over folien med 5 grader i forhold til temperaturen i kassen over jorden. 20 minutter senere var temperaturen ens igen.

Herefter fulgtes de 2 logger nogenlunde ad igen over de næste 12 timer indtil kl. 4 d. 15. maj, hvor kassen over folien ca. var 0,5 grader koldere indtil solopgangen kl 5:30 -5:45, hvor der så var ens temperatur igen. Det vender så igen med klimaks den 15. maj kl 14:45, hvor kassen over folien igen viser 5 grader over kassen over jorden, som så over 45 minutter falder igen til ens temperatur

Udvikling af polymerdug til ukrudtsbekæmpelse i træbeplantninger

Udvikling af en folie, der tænkes anvendt til udlægning i træbevoksninger for at hæmme ukrudtsvæksten og effektivisere ressourceindsatsen i den løbende træpleje. Folien skulle tilgodese de miljømæssige behov.

Funktionaliteten med at hæmme ukrudtet med en forgængelig folie er til gavn for miljøet, så anvendelse af pesticider kan mindskes og naturen ikke forurenes med uforgængelige materialer. Dugen er ikke færdigudviklet. Der er forslag til videreudvikling.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk