



Utvärdering av sträckfilm och mantelfilm till rundbalat ensilage och plastfilm till hackat ensilage

Elisabet Nadeau, Dan-Axel Danielsson, Kristina Holmström

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Rapporter från institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd, nr 6
2025



Utvärdering av sträckfilm och mantelfilm till rundbalat ensilage och plastfilm till hackat ensilage

Elisabet Nadeau, <https://orcid.org/0000-0001-7430-2122>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd,

Dan-Axel Danielsson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd,

Kristina Holmström, <https://orcid.org/0000-0002-4681-534X>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd

Redaktör:	
Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Utgivningsår:	2025
Utgivningsort:	Skara
Omslagsbild:	Foto: Elisabet Nadeau
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Rapporter från institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Delnummer i serien:	6
ISSN (Online)	2004-934X
ISBN (elektronisk version)	978-91-8046-583-0
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.4b4q7i4aro
Nyckelord:	ensilage, ensilageplast, klimatavtryck

© 2025 Elisabet Nadeau, Dan-Axel Danielsson, Kristina Holmström

Detta verk är licensierat under CC BY ND 4.0, andra licenser eller upphovsrätt kan gälla för illustrationer.

ERRATA

Uppdaterad rapport 2025-12-16.

Ändringar från tidigare version

Sid 16. Formeln för att beräkna emissionsförlusternas klimatavtryck har bytts ut. Tidigare användes formeln för GW20. Nu används formel för GWP100, då den är samstämmig med det klimatavtryck som erhållits för plasten.

Sid 37-38. Enheten för emissionsförlusterna har ändrats från kg till g. Plasten hade rätt enhet även tidigare. Det innebär att emissionsförlusternas påverkan på de totala klimatavtrycken minskar radikalt.

Sid 3 & 40. Slutsatserna har ändrats till att plastens klimatavtryck helt överskuggar de skillnader som finns i klimatavtrycken från emissionsförluster.

Sammanfattning

Många fodergrödor ensileras och i de flesta fall används plast. Det kan vara runt rundbalar eller som täckning i plansilo. Plasten i sig är en belastning på klimatet, men det är också de förluster som sker under fermenteringen. Syftet med denna studie var att studera effekten av olika typer av sträckfilm, antal lager sträckfilm och mantelfilm i stället för nät på rundbalens densitet och täthet samt ensilagens fermenteringskvalitet, lagringsstabilitet, klimatavtryck och kostnader samt att studera effekten av olika typer av plansilofilm med och utan underlagsfilm på samma parametrar.

Studien utfördes på försöksgården Viken under år 2020 och år 2021. Tre olika plastfilmer, 4, 6 eller 8 lager och mantelfilm kontra nät studerades på totalt 132 rundbalar med skuren grönmassa som ensilerades. Fem olika kombinationer av täckplast studerades utifrån förhållanden som skulle efterlikna förhållandena i en plansilo med hackad grönmassa som ensilerades.

Emissionsförlusterna vid ensileringen hade marginell påverkan på klimatavtrycket jämfört med vilken plast som användes eller hur många lager plast som lades runt balen. Sammanfattningsvis visar dessa och tidigare studier på att mantelfilm, tjock sträckfilm och fler lager är positivt för ensilagens fermenteringskvalitet och ger därmed lägre klimatpåverkan. Det verkar inte vara någon nackdel att använda sträckfilm eller täckplast som innehåller återvunnen råvara.

Nyckelord: ensilage, ensilageplast, klimatavtryck

Abstract

Evaluation of different silage plastics

A lot of fodder crops are stored as silage. In many cases plastic is used. It can be either as wrapped around a round bale or as cover in a bunker silo. The plastic itself has an impact on the climate but the loss during fermentation has that too. The aim of this trial was to study the effect of different bale wrap silage films, different number of layers and different underlays on fermentation quality, storage stability, carbon footprint and costs, and study the same parameters with different kinds of bunker silo silage films.

This study was performed at the experimental farm Viken during 2020 and 2021. Three different bale wrap silage films, three 4, 6, and 8 layers and two different underlays were studied on in total 132 round bales. Five different combinations of bunker silo films were studied under conditions simulating bunker silo conditions.

The carbon footprint from the emission losses during fermentation was much lower than the carbon footprint from the silage films. Thicker film, more layers and mantle film is positive for the success of the fermentation and therefore give a lower carbon footprint. There seems to be no disadvantage to use film containing recycled content.

Keywords: silage, silage film, carbon footprint

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	5
Figurförteckning.....	7
Förkortningar.....	8
1. Bakgrund	9
2. Material och metoder.....	10
2.1 Försök med skuret ensilage i rundbal	10
2.1.1 År 2020	10
2.1.2 År 2021	11
2.2 Försök med hackat ensilage	13
2.2.1 År 2020	13
2.2.2 År 2021	14
2.3 Klimatavtryck.....	16
2.4 Kostnader.....	16
3. Resultat och diskussion.....	18
3.1 Försök med skuret ensilage i rundbal	18
3.1.1 År 2020	18
3.1.2 År 2021	23
3.2 Försök med hackat ensilage	29
3.2.1 År 2020	29
3.2.2 År 2021	34
3.3 Klimatavtryck.....	36
3.4 Kostnader.....	39
4. Slutsatser.....	40
4.1 Skuret ensilage i rundbal	40
4.2 Hackat ensilage.....	40
Referenser.....	42
Tack	43

Tabellförteckning

Tabell 1. Effekt av sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2020 (n = 36).	19
Tabell 2. Effekt av mantelfilm/nät på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2020 (n = 36).	20
Tabell 3. Tekniska parametrar och ensilagets kvalitet rundbalat med mantelfilm/nät och olika sträckfilmer 2020 (n = 18).	21
Tabell 4. Effekt av antal lager sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2020 (n = 24).	22
Tabell 5. Tekniska parametrar och ensilagets kvalitet rundbalat med mantelfilm/nät och olika antal lager sträckfilm 2020 (n = 12).	23
Tabell 6. Effekt av sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2021 (n = 30).	24
Tabell 7. Effekt av mantelfilm/nät på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2021 (n = 30).	25
Tabell 8. Effekt av antal lager sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2021 (n = 20).	26
Tabell 9 Tekniska parametrar och ensilagets kvalitet rundbalat med mantelfilm/nät och olika antal lager sträckfilm 2020 (n = 10).	27
Tabell 10. Effekt av sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2021 (n = 18).	28
Tabell 11. Effekt av antal lager sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet i genomsnitt över tre sträckfilmstyper 2021 (n = 12).	29
Tabell 12. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på Orkelbalar 2020 (n = 7).	31
Tabell 13. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på 1,7 liters glasburkar 2020 (n = 7).	32
Tabell 14. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med filmer i plansilo 2020 (n = 4).	32

Tabell 15. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på Orkelbalar 2021 (n = 7).....	34
Tabell 16. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på 1,7 liters glasburkar 2021 (n = 7).....	35
Tabell 17. Klimatavtryck för olika plaster och olika antal lager plast på en rundbal.	36
Tabell 18. Effekt av sträckfilm på klimatavtryck (n=36, 2020 n=30 2021).	37
Tabell 19. Effekt av antal lager sträckfilm på klimatavtryck (n=24, 2020 n=20 2021).	38
Tabell 20. Effekt av mantelfilm/nät på klimatavtryck (n=36, 2020 n=30 2021).	38
Tabell 21. Effekt av täckplast på klimatavtryck, kg CO ₂ e per kg ts (n=7 förutom Bunkersilo 2020 då n=4).....	38
Tabell 22. Kostnad, kr/kg ts, för mantelfilm/nät och antal lager sträckfilm under två år (2020, 2021).....	39
Tabell 23. Kostnad, kr/kg ts, med olika täckplaster under två år (2020, 2021).....	39

Figurförteckning

Figur 1. Temperatur i ensilage lagrat i Orkelbalar täckt med olika plastfilmer (linje) och utetemperatur (stapel) 2020.	33
Figur 2. Temperatur i ensilage lagrat i plansilo täckt med olika plastfilmer (linje) och utetemperatur (stapel) 2020.	33
Figur 3. Temperatur i ensilage lagrat i Orkelbal täckt med olika plastfilmer (punkter) och utetemperatur (stapel) 2021.	36

Förkortningar

CH ₄	Metan
CO ₂	Koldioxid
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
GWP	Global Warming Potential
LCA	Livscykelanalys
NH ₃ -N	Ammoniakkväve
O ₂	Syre
SEM	Medeltalets standardfel
WSC	Vattenlösliga kolhydrater

1. Bakgrund

Vall samt helsäd av spannmål, spannmål/trindsäd och majs är de största grödorna arealmässigt i Sverige och dessa grödor behöver till allra största delen ensileras för att kunna utfodras under vinterhalvåret. Lyckad ensileringsprocess förutsätter syrefri miljö.

Under lagringen sker förluster av näring med koldioxidutsläpp som har en negativ inverkan på klimatet. Förlusterna ökar vid otät lagring. Med god ensileringsteknik, vilket innebär noggrann packning och täckning av silo och slang, effektiv inplastning av balar samt användande av tillsatsmedel, kan förlusterna minskas samt mjölkproduktion och djurhälsa förbättras.

Samtidigt behöver vi minska plastanvändningen och öka möjligheterna till återvinning av plasten till andra produkter för att minska klimatavtrycket. Genom att ständigt förbättra kvaliteten på plastfilmen kan vi minska plastanvändningen samtidigt som vi minimerar lagringsförlusterna. Genom korrekt sortering och ökad återvinning av plasten minskar vi också på klimatavtrycket. De här förändringarna till en förbättrad miljö behöver medföra minskade kostnader för lantbrukaren.

Det övergripande syftet med denna studie är att minska klimatavtrycket från ensilageproduktionen genom att framställa högkvalitativt ensilage samtidigt som vi minskar kostnaderna för lantbrukaren.

Studierna som redovisas i denna rapport, har två syften.

- Att studera effekt av olika typer av sträckfilm, antal lager sträckfilm och mantelfilm istället för nät på rundbalens densitet och täthet samt ensilagens fermenteringskvalitet, lagringsstabilitet, klimatavtryck och kostnader.
- Att studera effekt av olika typer av plansilofilm med och utan underlagsfilm på ensilagens fermenteringskvalitet, lagringsstabilitet, temperatur i ensilage och klimatavtryck och kostnader.

2. Material och metoder

Försöken, som innefattar både skuret rundbalsensilage och hackat ensilage i plansilo och rundbal utfördes 2020 och 2021 på Viken, som är Lantmännens försöksgård utanför Falköping.

2.1 Försök med skuret ensilage i rundbal

En gräs/klövervall användes 2020 och 2021.

2.1.1 År 2020

Vallen bestod av 82 % gräs och 18 % klöver på torrsubstans (ts)-basis. Klöver var i blad (35 %)-till-stjälksträcknings (65 %) stadium och gräset var till 99 % i nodstadium och 1 % i bladstadium. Slåtter skedde kl 16-18 den 31 maj och gräset förtorkades genom bredspridning till en ts-halt på 45 % kl 11:15 den 1 juni då pressningen började. Pressningen skedde med en McHale Fusion 3+ press som kunde hantera både nät och mantelfilm.

Vi jämförde sträckfilmerna Triowrap plus 19 μ (Färg vit, dimensioner 730mm x 0,019mm x 2100m) per rulle med Triowrap 25 μ (Färg vit, dimensioner 750mm x 0,025mm x 1500m) och 3 olika lager av vardera sträckfilm; 4, 6 och 8 lager. Dessutom jämförde vi nät med mantelfilm TrioBaleCompressor (Färg vit, dimensioner 1400mm x 0,016mm x 2400m) under sträckfilmerna. Totalt hade vi 2 sträckfilmer $\times$ 3 lager $\times$ 2 underlag = 12 behandlingar. Samtliga 12 behandlingar ingick i var och en av 6 block som var jämnt fördelade över fältet. Det togs ut stora prover av gräset från sträng från de 6 blocken. Proven hackades och analyserades för ts-halt vid SLU i Skara. Fyra av de 6 proven analyserades för vattenlösliga kolhydrater (WSC) och råprotein vid Central laboratoriet, Humboldt universitet, Berlin, Tyskland. Totalt ingick 72 balar i försöket. Balarna flyttades från fältet till lagringsplatsen med hårdgjord yta direkt efter pressning. Balarna vägdes innan de ställdes på den hårdgjorda ytan för lagring. Medelvikten på balarna var 676 kg.

Balarna lagrades i 143 dagar till den 22 oktober 2020 då de vägdes igen för att beräkna ts-förluster under lagring enligt Weissbach (2005). Samtidigt borrades hål i balarna från sidorna för att ta ut prov för analys av ts, WSC, pH, syror, alkoholer och ammoniak-N samt för lagringsstabilitet. Analys av ensilagets ts och

lagringsstabilitet utfördes i laboratoriet på SLU i Skara medan ensilagens fermenteringskvalitet och WSC-innehåll analyserades våtkemiskt på Centrallaboratoriet, Humboldt universitet, Berlin, Tyskland. Ensilagens ts-halt korrigerades för ts-förluster under torkning enligt Weissbach och Strubelt (2008). Ensilagens lagringsstabilitet utfördes enligt temperaturmetoden och antal dagar innan temperaturen nådde 2°C över omgivningens temperatur registrerades (Honig, 1986). Ca 10 dagar innan borrhning skedde i balarna trycktes en ventil in i balarna för mätning av gas och tryck i balarna. Gaserna CO₂, O₂ och CH₄ mättes med en bärbar gasmätare GA 2000 (Geotechnical Instruments, Warwickshire, UK). Tätheten i balarna mättes med en vacuummetod där ett tryck på -200 Pa relativt till atmosfärtrycket tillsattes varje bal. Tiden det tog tills trycket minskade till -150 Pa registrerades (Spörndly et al., 2008). Tätheten i balarna uttrycktes i sekunder som det tar att motstå en trycksänkning på 50 Pa. Gas- och tryckmätningarna genomfördes under två dagar och medelvärden från de två dagarna användes för statistisk analys. Balarnas höjd mättes på tre sidor av balen och balarnas omkrets mättes vid tre höjder. Medelvärden av de tre mätningarna användes för beräkning av volym och omkrets.

Data på tekniska parametrar och ensilagens kvalitet analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{sträckfilm}_i + \text{lager}_j + \text{underlag}_k + (\text{sträckfilm} \times \text{lager})_{ij} + (\text{sträckfilm} \times \text{underlag})_{ik} + (\text{lager} \times \text{underlag})_{jk} + (\text{sträckfilm} \times \text{lager} \times \text{underlag})_{ijk} + \text{block}_l + \varepsilon_{ijklm}$$

där Y_{ijklm} är den beroende variabeln, sträckfilm är Triowrap plus 19 μ eller Triowrap 25 μ ($i = 1, 2$), lager är 4, 6 eller 8 lager av sträckfilm ($j = 1-3$), underlag är nät eller mantelfilm ($k = 1, 2$), block är 6 för tekniska parametrar och ts-förlust under lagring ($l = 1-6$) och 4 för ensilagens fermenteringskvalitet och lagringsstabilitet ($l = 1-4$) samt ε_{ijklm} är error termen.

När F-värdet var signifikant ($P < 0,05$), användes Tukey's test för att särskilja medelvärden som skilde sig åt signifikant. Skillnaderna var signifikanta vid $P < 0,05$ och tenderade att vara signifikanta vid $0,05 < P < 0,10$.

2.1.2 År 2021

Vallen dominerades av gräs men även klöver förekom upp till 20 % på ts-basis. Slåtter skedde klockan 16:30-18:30 den 7 juli i andra skörd och gräset förtorkades genom bredspridning till en ts-halt på 28 % klockan 10:00 den 8 juli då pressningen började. Pressningen skedde med en McHale Fusion press som kunde hantera både nät och mantelfilm.

Vi jämförde sträckfilmerna Triowrap plus 19 μ (Färg vit, dimensioner 730mm x 0,019mm x 2100m), Triowrap 25 μ (Färg vit, dimensioner 750mm x 0,025mm x 1500m), och Triowrap loop 25 μ (Färg vit, 30 % återvunnen råvara (PCR), dimensioner 750mm x 0,025mm x 1500m), och 3 olika lager av vardera sträckfilm; 4, 6 och 8 lager. Dessutom jämförde vi nät med mantelfilm TrioBaleCompressor

(Färg vit, dimensioner 1400mm x 0,016mm x 2400m) under Triowrap plus 19 μ och Triowrap 25 μ . För Triowrap loop 25 μ användes enbart nät. Totalt hade vi 2 sträckfilmer $\times$ 3 lager $\times$ 2 underlag = 12 behandlingar plus 1 sträckfilm $\times$ 3 lager = 3 behandlingar. Totalt blir det 15 behandlingar. Samtliga 15 behandlingar ingick i var och en av 5 block som var jämnt fördelade över fältet. Det togs ut stora prover av gräset från sträng från de 5 blocken. Proven hackades och analyserades för ts-halt vid SLU i Skara. Fyra av de 5 proven analyserades för vattenlösliga kolhydrater (WSC) och råprotein vid Centrallaboratoriet, Humboldt universitet, Berlin, Tyskland. Totalt ingick 75 balar i försöket. Balarna flyttades från fältet till lagringsplatsen med hårdgjord yta direkt efter pressning. Balarna vägdes innan de ställdes på den hårdgjorda ytan för lagring. Medelvikten på balarna var 746 kg.

Balarna lagrades i 105 dagar till den 22 oktober 2021 då de vägdes igen för att beräkna ts-förluster under lagring enligt Weissbach (2005). Samtidigt borrades hål i balarna från sidorna för att ta ut prov för analys av ts, WSC, pH, syror, alkoholer och ammoniak-N samt för lagringsstabilitet. Analys av ensilagens ts och lagringsstabilitet utfördes i laboratorier på SLU i Skara medan ensilagens fermenteringskvalitet och WSC-innehåll analyserades våtkemiskt på Centrallaboratoriet, Humboldt universitet, Berlin, Tyskland. Ensilagens ts-halt korrigerades för ts-förluster under torkning enligt Weissbach och Strubelt (2008). Ensilagens lagringsstabilitet utfördes enligt temperaturmetoden och antal dagar innan temperaturen nådde 2°C över omgivningens temperatur registrerades (Honig, 1986). Ca 10 dagar innan borring skedde i balarna trycktes en ventil in i balarna för mätning av gas och tryck i balarna. Gaserna CO₂, O₂ och CH₄ mättes med en bärbar gasmätare Biogas 5000 (Geotechnical Instruments, Warwickshire, UK). Tätheten i balarna mättes med en vacuummetod där ett tryck på -200 Pa relativt till atmosfärtrycket tillsattes varje bal. Tiden det tog tills trycket minskade till -150 Pa registrerades (Spörndly et al., 2008). Tätheten i balarna uttrycktes i sekunder som det tar att motstå en trycksänkning på 50 Pa. Gas- och tryckmätningarna genomfördes under två dagar och medelvärden från de två dagarna användes för statistisk analys. Balarnas höjd mättes på tre sidor av balen och balarnas omkrets mättes vid tre höjder. Medelvärden av de tre mätningarna användes för beräkning av volym och omkrets.

Data på tekniska parametrar och ensilagens kvalitet analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell för Trioplus 19 μ och Triowrap 25 μ :

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{sträckfilm}_i + \text{lager}_j + \text{underlag}_k + (\text{sträckfilm} \times \text{lager})_{ij} + (\text{sträckfilm} \times \text{underlag})_{ik} + (\text{lager} \times \text{underlag})_{jk} + (\text{sträckfilm} \times \text{lager} \times \text{underlag})_{ijk} + \text{block}_l + \varepsilon_{ijklm}$$

där Y_{ijklm} är den beroende variabeln, sträckfilm är Trioplus 19 μ eller Triowrap 25 μ ($i = 1, 2$), lager är 4, 6 eller 8 lager av sträckfilm ($j = 1-3$), underlag är nät eller mantelfilm ($k = 1, 2$), block är 5 för tekniska parametrar och ts-förlust under lagring ($l = 1-5$) och 4 för ensilagens fermenteringskvalitet och lagringsstabilitet ($l = 1-4$) samt ε_{ijklm} är errortermen.

Data på tekniska parametrar och ensilagens kvalitet analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell för Triowrap plus 19 μ , Triowrap 25 μ och Triowrap loop 25 μ :

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{sträckfilm}_i + \text{lager}_j + (\text{sträckfilm} \times \text{lager})_{ij} + \text{block}_k + \varepsilon_{ijkl}$$

där Y_{ijkl} är den beroende variabeln, sträckfilm är Triowrap plus 19 μ , Triowrap 25 μ eller Triowrap loop 25 μ ($i = 1-3$), lager är 4, 6 eller 8 lager av sträckfilm ($j = 1-3$), block är 5 för tekniska parametrar och ts-förlust under lagring ($k = 1-5$) och 4 för ensilagets fermenteringskvalitet och lagringsstabilitet ($k = 1-4$) samt ε_{ijkl} är errortermen.

När F-värdet var signifikant ($P < 0,05$), användes Tukey's test för att särskilja medelvärden som skilde sig åt signifikant. Skillnaderna var signifikanta vid $P < 0,05$.

2.2 Försök med hackat ensilage

2.2.1 År 2020

Förtorkad grönmassa av gräs/klöver vall exakthackades med en Jaguarhack i första skörden den 1 juni och det saltbaserade tillsatsmedlet Xtrasil Ultra HD vid en dosering på 3 liter/ton tillsattes grönmassan på hacken. Den hackade grönmassan transporterades från fältet och lassen tömdes vid en stationär Orkelpress. Prover togs av grönmassan från lassen för senare analys av ts, råprotein och WSC.

Orkelpressen matades med hackad grönmassa och rundbalar med åtta lager sträckfilm Triowrap 25 μ (Färg vit, dimensioner 750mm x 0,025mm x 1500m) producerades. Varje bal vägdes innan den placerades på en hårdgjord yta. Medelvikten på balarna var 857 kg. När samtliga 28 balar hade vägts och placerats på den hårdgjorda ytan skars sträckfilmen på toppen på varje bal av. En 25 cm djup grop skapades i mitten på toppen av balen och en temperaturlogger (Tinytag Talk, 2 Ägget, Intab, Stenkullen, Sverige) i plastpåse med ett snöre placerades i gropen, som täcktes med grönmassa. Plansilofilmer täckte toppen och ca 40 % av övre delen av sidorna på balen. Plansilofilmerna tejpadades tätt med vit ensilagetejp på balen. Temperaturloggar placerades också på balarna för att mäta utomhustemperaturen.

Plansilofilmerna var följande:

- 1) TriO₂ (färg: blå/svart, dimensioner: 6m x 0,115 x 50m, 42 % återvunnen råvara)
- 2) Svart plast på marknaden (dimensioner 8 x 50 m 150 μ svart/svart) + Triotech (underlagsfilm, färg: transparent, dimensioner: 8m x 0,040 x 100m, 79 % återvunnen råvara)
- 3) Triosun (färg: vit/vit, dimensioner: 6m x 0,115 x 30m, 50 % återvunnen råvara) + Triotech (underlagsfilm, färg: Transparent, dimensioner: 8m x 0,040 x 100m, 79 % återvunnen råvara)
- 4) Triosun (färg: vit/vit, dimensioner: 6m x 0,115 x 30m, 50 % återvunnen råvara)

Det användes 7 balar per plansilofilm. Balarna vägdes den 15 september efter 105 dagars lagring och plastfilmerna på toppen av balarna togs bort. Temperaturloggarna samlades in och prov på ensilaget togs ut i området kring botten på gropen från varje bal för senare analys.

Grönmassa från samma fält som användes till Orkelbalarna användes också till att fylla 1,7-liters *småsilor* av glas. Istället för lock med fermenteringsrör täcktes silorna med ovanstående plansilofilmer. Det användes 7 silor per plansilofilm. Silorna vägdes vid inläggning och vid öppning den 2 december. Prover togs på ensilaget från silorna för senare analys. Det var totalt 28 silor.

Grönmassa från samma fält som användes till Orkelbalarna användes också till att fylla en *plansilo*. Silon fylldes och grönmassan packades från klockan 8:30 till klockan 19 den 1 juni. Därefter packades grönmassan några timmar efter sista lasset. 62 ton grönmassa med en genomsnittlig ts-halt på 42,9 % lades i silon. Dagen därpå den 2 juni mättes 4 lika breda längder ut längs med silobreddens för att användas till plastfilmerna. Under varje område grävdes 4 st 25 cm djupa gropar jämnt fördelade längs med plansilons längd. I varje grop lades en påse som innehöll ca 1 kg grönmassa och en temperaturlogger. Påsen med innehåll vägdes innan den lades i gropen, som täcktes med grönmassa. Därefter lades plansilofilmen ut och överlappning gjordes mellan skarvarna. Slutligen täcktes plansilofilmen med träflis. Silon öppnades och påsarna grävdes fram och vägdes den 15 september efter 104 dagars lagring. Temperaturloggarna samlades in och prov på ensilaget togs från varje påse för senare analys.

Ts-förluster under lagring beräknades enligt Weissbach (2005). Analys av ensilagets ts och lagringsstabilitet utfördes i laboratoriet på SLU i Skara medan ensilagets fermenteringskvalitet och WSC-innehåll samt grönmassans råproteinhalt och WSC innehåll analyserades våtkemiskt på Centrallaboratoriet, Humboldt universitet, Berlin, Tyskland. Ensilagets ts-halt korrigerades för ts-förluster under torkning enligt Weissbach och Strubelt (2008). Ensilagets lagringsstabilitet utfördes enligt temperaturmetoden och antal dagar innan temperaturen nådde 2°C över omgivningens temperatur registrerades (Honig, 1986).

Data på ensilagets kvalitet analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell för Orkelbalar, småsilor och plansilo:

$$Y_{ij} = \mu + \text{filmbehandling}_i + \varepsilon_{ij}$$

där Y_{ij} är den beroende variabeln, filmbehandling_i är TriO₂ (blå), svart plast på marknaden + Triotech (underlagsfilm), Triosun (vit) + Triotech eller Triosun (i = 1-4) och ε_{ij} är errortermen.

När F-värdet var signifikant ($P < 0,05$), användes Tukey's test för att särskilja medelvärden som skilde sig åt signifikant. Skillnaderna var signifikanta vid $P < 0,05$.

2.2.2 År 2021

Förtorkad grönmassa av gräs/klöver vall exakthackades med en Jaguarhack utan tillsatsmedel i andra skörden den 12 juli. Den hackade grönmassan transporterades från fältet och lassen tömdes vid en stationär Orkelpress. Prover togs av grönmassan från lassen för senare analys av ts, råprotein och WSC.

Orkelpressen matades med hackad grönmassa och rundbalar med åtta lager sträckfilm producerades. Varje bal vägdes innan den placerades på en hårdgjord yta. Medelvikten på balarna var 841 kg. När samtliga 35 balar hade vägts och

placerats på den hårdgjorda ytan skars sträckfilmen på toppen på varje bal av. En 25 cm djup grop skapades i mitten på toppen av balen och en temperaturlogger (Tinytag Talk, 2 Ågget, Intab, Stenkullen, Sverige) i plastpåse med ett snöre placerades i gropen, som täcktes med grönmassa. Plansilofilmer täckte toppen och ca 40 % av övre delen av sidorna på balen. Plansilofilmerna tejpades tätt med vit ensilagetejp på balen. Temperaturloggerna placerades också på balarna för att mäta utomhustemperaturen.

Plansilofilmerna var följande:

1) TriO₂ (färg: blå/svart, dimensioner: 6m x 0,115 x 50m, 42 % återvunnen råvara)

2) Svart plast på marknaden (dimensioner 8 x 50 m 150µ svart/svart) + Triotech (underlagsfilm, färg: transparent, dimensioner: 8m x 0,040 x 100m, 79 % återvunnen råvara)

3) Triocare (färg: vit/svart, dimensioner: 8m x 0,150 x 50m, 92 % återvunnen råvara) + Triotech (underlagsfilm, färg: transparent, dimensioner: 8m x 0,040 x 100m, 79 % återvunnen råvara)

4) Triosun (färg: vit/vit, dimensioner: 6m x 0,115 x 30m, 50 % återvunnen råvara) + Triotech (underlagsfilm, färg: transparent, dimensioner: 8m x 0,040 x 100m, 79 % återvunnen råvara)

5) Triosun (färg: vit/vit, dimensioner: 6m x 0,115 x 30m, 50 % återvunnen råvara)

Det användes 7 balar per plansilofilm. Balarna vägdes den 11 november efter 120 dagars lagring och plastfilmerna på toppen av balarna togs bort. Temperaturloggarna samlades in och prov på ensilaget togs ut i området kring botten av gropen från varje bal för senare analys.

Grönmassa från samma fält som användes till Orkelbalarna användes också till att fylla 1,7-liters småsilar av glas. Istället för lock med fermenteringsrör täcktes silorna med ovanstående plansilofilmer. Det användes 7 silor per plansilofilm. Silorna vägdes vid inläggning och vid öppning den 29 november (138 dagars lagring). Prover togs på ensilaget från silorna för senare analys. Det var totalt 35 silor.

Ts-förluster under lagring beräknades enligt Weissbach (2005). Analys av ensilagets ts och lagringsstabilitet utfördes i laboratorier på SLU i Skara medan ensilagets fermenteringskvalitet och WSC-innehåll samt grönmassans råproteinhalt och WSC innehåll analyserades våtkemiskt på Centrallaboratoriet, Humboldt universitet, Berlin, Tyskland. Ensilagets ts-halt korrigerades för ts-förluster under torkning enligt Weissbach och Strubelt (2008). Ensilagets lagringsstabilitet utfördes enligt temperaturmetoden och antal dagar innan temperaturen nådde 2°C över omgivningens temperatur registrerades (Honig, 1986).

Data på ensilagets kvalitet analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell för Orkelbalar och småsilar.

$$Y_{ij} = \mu + \text{filmbehandling}_i + \varepsilon_{ij}$$

där Y_{ij} är den beroende variabeln, filmbehandling_i är TriO2 (blå), svart plast på marknaden + Triotech (underlagsfilm), Triocare (vit) + Triotech, Triosun (vit) + Triotech eller Triosun ($i = 1-5$) och ε_{ij} är errortermen.

När F-värdet var signifikant ($P < 0,05$), användes Tukey's test för att särskilja medelvärden som skilde sig åt signifikant. Skillnaderna var signifikanta vid $P < 0,05$.

2.3 Klimatavtryck

Klimatavtrycket i form av emissionsförluster vid ensileringsprocessen är beräknad enligt Krueger et al. (2023). Den formel som använts är:

$$GWP_{100} = -8526,1 - 0,22403A + ,11963E - 0,03173L + 1,46573D_v$$

Där A = ättiksyra, E = etanol, L = mjölksyra och D_v = korrigerad TS-förlust. GWP (Global Warming Potential) uttrycks i mg koldioxidekvivalenter (CO_2e) och övriga uttrycks i mg per kg ts ensilage.

Data på klimatavtryck för rundbalar analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell för:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{sträckfilm}_i + \text{lager}_j + \text{underlag}_k + (\text{sträckfilm} \times \text{lager})_{ij} + (\text{sträckfilm} \times \text{underlag})_{ik} + (\text{lager} \times \text{underlag})_{jk} + (\text{sträckfilm} \times \text{lager} \times \text{underlag})_{ijk} + \text{block}_l + \varepsilon_{ijklm}$$

där Y_{ijklm} är den beroende variabeln, sträckfilm är Trioplus 19 μ , Triowrap 25 μ och Triowrap 25 μ loop (endast 2021) ($i = 1-2$ eller $1-3$), lager är 4, 6 eller 8 lager av sträckfilm ($j = 1-3$), underlag är nät eller mantelfilm ($k = 1, 2$), block är 4 samt ε_{ijklm} är errortermen.

Data på klimatavtryck för analyserades statistiskt i PROC GLM i SAS (ver 9.4) med följande modell för Orkelbalar och småsilar.

$$Y_{ij} = \mu + \text{filmbehandling}_i + \varepsilon_{ij}$$

där Y_{ij} är den beroende variabeln, filmbehandling_i är TriO2 (blå), svart plast på marknaden + Triotech (underlagsfilm), Triosun (vit) + Triotech eller Triosun, Triocare (vit) + Triotech (endast 2021) ($i = 1-4$ eller $1-5$) och ε_{ij} är errortermen.

När F-värdet var signifikant ($P < 0,05$), användes Tukey's test för att särskilja medelvärden som skilde sig åt signifikant. Skillnaderna var signifikanta vid $P < 0,05$.

2.4 Kostnader

Kostnader per kg ts foder är beräknade från slätter till hemma på gård inplastad bal eller täckt silo. Kostnad för etablering av vall samt gödning och gödsling ingår ej.

Kostnader i maskinkedja bygger på beräkningar av Neuman 2024, plast och nätkostnader från Lantmännen samt arbetskostnader kopplade till hantering av nät och plaster från lantbrukare. Kostnader är beräknade utifrån arrondering i Götalands skogsbygd.

3. Resultat och diskussion

3.1 Försök med skuret ensilage i rundbal

3.1.1 År 2020

Grönmassan innehöll i medeltal $52,9 \pm 4,2$ % ts, $16,3 \pm 0,61$ % råprotein av ts och $30,6 \pm 2,31$ % WSC av ts vid pressningen. Det fanns inga signifikanta 3-vägssamspel mellan sträckfilmstyp, mantelfilm/nät och antal lager sträckfilm och heller inga signifikanta 2-vägssamspel mellan sträckfilmstyp och antal lager sträckfilm. Vid jämförelsen mellan sträckfilmstyper innehöll balar med Triowrap 25μ större andel CO_2 och CH_4 men mindre andel O_2 än balar med Triowrap plus 19μ (tabell 1), vilket visar på en större täthet i balar med Triowrap 25μ . Fermenteringen visade inga skillnader i ättiksyrahalt, etanolhalt och ts-förluster mellan sträckfilmstyperna, vilket visar på att skillnaden i CO_2 till största delen inte berodde på skillnader i CO_2 -producerande fermenteringsvägar (Buxton et al., 2003). Det var större andel smörsyra och propionsyra i ensilage med Triowrap plus 19μ , vilka bildas samtidigt som CO_2 produceras under fermenteringen av socker och mjölksyra, men halterna av dessa syror var minimala och därför av minimal inverkan på CO_2 -halten i balen. Eftersom ts-halten i ensilaget var hög, mellan 50 % och 55 %, var fermenteringen begränsad och dominerad av naturligt förekommande heterofermentativa mjölksyrabakterier och jästsvampar, vilket visar sig i höga etanolhalter samt 2,5-3 gånger så hög ättiksyrahalt som mjölksyrahalt i ensilaget. Eftersom CO_2 bildas vid bildning av etanol och ättiksyra blir ts-förlusterna i ensilaget höga. Ett tillsatsmedel innehållande nitrit, bensoat och/eller sorbat hade bidragit till mindre etanolproduktion och ts-förluster (Auerbach och Nadeau, 2019).

Tabell 1. Effekt av sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2020 ($n = 36$).

	Triowrap plus 19 μ	Triowrap 25 μ	SEM	P-värde
CO ₂ , %	81,0	85,7	1,38	0,020
CH ₄ , %	0,82	0,89	0,02	0,013
O ₂ , %	1,74	0,83	0,216	0,004
Täthet, sekunder	326	362	82,0	0,758
Omkrets, m	4,16	4,17	0,003	0,017
Volym, m ³	1,64	1,66	0,009	0,310
Densitet, kg ts/m ³	211	213	1,6	0,228
TS, %	53,7	52,8	0,56	0,304
pH	5,91	5,91	0,008	0,632
Mjölksyra, % ts	0,26	0,24	0,017	0,261
Ättiksyra, % ts	0,71	0,69	0,028	0,626
Propionsyra, % ts	0,009	0,004	0,001	0,001
Smörsyra, % ts	0,034	0,022	0,0026	0,004
Etanol, % ts	3,41	3,62	0,142	0,308
NH ₃ -N, % total N	6,1	6,0	0,139	0,907
WSC, % ts	6,50	7,11	0,311	0,180
TS-förlust, %	6,2	6,2	0,099	0,739
Aerob stabilitet, dagar	5,5	5,9	0,16	0,106

Ammoniak-halterna var låga och visar på låg proteolytisk aktivitet av mikroorganismer i ensilaget, vilket var förväntat vid de här höga ts-halterna (Nadeau et al., 2016). Det var en signifikant men biologiskt irrelevant skillnad i omkrets mellan balar med olika sträckfilmstyper (tabell 1).

Användande av mantelfilm i stället för nät under sträckfilmen gav större andel CO₂ och CH₄ i balen (tabell 2), vilket antyder en större täthet med mantelfilm trots att täthetsresultaten i sekunder inte skilde sig åt. Skillnaden i CH₄ mellan mantelfilm och nät var tydlig när Triowrap 25 μ användes men inte när Triowrap plus 19 μ användes (tabell 3). Trots att det inte var signifikanta skillnader i fermenteringsprofil av de analyserade parametrarna gav mantelfilmen lägre ts-förluster från ensilaget än nätet och skillnaden i ts-förluster kom främst från ensilage som balats med Triowrap plus 19 μ (tabell 2 och 3). Den här ts-skillnaden skulle kunna komma från respirationsförluster vid pressningen eller från fermenteringsvägar vars slutprodukter inte är analyserade. Dessutom hade balar

med mantelfilm signifikant mindre omkrets och volym samt högre densitet än balar med nät, vilket visar på tätare balar och bekräftar resultat av Spörndly och Nylund (2016; tabell 2).

Tabell 2. Effekt av mantelfilm/nät på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2020 (n = 36).

	Mantelfilm	Nät	SEM	P-värde
CO ₂ , %	86,4	80,3	1,38	0,003
CH ₄ , %	0,89	0,82	0,02	0,011
O ₂ , %	1,17	1,41	0,216	0,437
Täthet, sekunder	264	424	82,0	0,173
Omkrets, m	4,14	4,19	0,003	< 0,001
Volym, m ³	1,62	1,67	0,009	0,001
Densitet, kg ts/m ³	215	209	1,6	0,018
TS, %	52,9	53,6	0,56	0,332
pH	5,92	5,9	0,008	0,340
Mjölksyra, % ts	0,26	0,24	0,017	0,387
Ättiksyra, % ts	0,69	0,71	0,028	0,694
Propionsyra, % ts	0,006	0,007	0,001	0,391
Smörsyra, % ts	0,025	0,031	0,0026	0,146
Etanol, % ts	3,44	3,59	0,142	0,457
NH ₃ -N, % total N	6,2	5,9	0,14	0,127
WSC, % ts	6,67	6,94	0,311	0,537
TS-förlust, %	6,0	6,4	0,10	0,013
Aerob stabilitet, dagar	5,7	5,7	0,16	0,926

Tabell 3. Tekniska parametrar och ensilagens kvalitet rundbalat med mantelfilm/nät och olika sträckfilmer 2020 (n = 18).

	Triowrap plus 19 µ		Triowrap 25 µ		SEM	P-värde
	Mantelfilm	Nät	Mantelfilm	Nät		
CO ₂ , %	84,5	77,5	88,3	83	1,95	0,675
CH ₄ , %	0,82 ^b	0,81 ^b	0,96 ^a	0,82 ^b	0,028	0,018
O ₂ , %	1,56	1,92	0,77	0,89	0,305	0,692
Täthet, sekunder	235	418	294	431	116,0	0,842
Omkrets, m	4,13	4,18	4,15	4,19	0,005	0,105
Volym, m ³	1,61 ^c	1,68	1,64	1,67	0,013	0,098
Densitet, kg ts/m ³	214	207	216	211	2,3	0,579
TS, %	53,3	54,0	52,4	53,3	0,79	0,935
pH	5,91	5,92	5,92	5,89	0,012	0,053
Mjölksyra, % ts	0,27	0,26	0,25	0,22	0,025	0,879
Ättiksyra, % ts	0,72	0,70	0,66	0,72	0,04	0,311
Propionsyra, % ts	0,008	0,01	0,003	0,005	0,002	0,941
Smörsyra, % ts	0,033	0,034	0,017	0,027	0,004	0,249
Etanol, % ts	3,25	3,57	3,63	3,61	0,201	0,392
NH ₃ -N, % tot-N	6,2	5,9	6,2	5,9	0,20	0,994
WSC, % ts	6,21	6,79	71,2	7,09	0,441	0,490
TS-förlust, %	5,8	6,5	6,2	6,2	0,14	0,052
Aerob stabilitet, dagar	5,6	5,4	5,8	5,9	0,22	0,641

Åtta lager plast gav störst andel CO₂ i balen och den skillnaden kommer från balar med nät (tabell 4 och 5). Ts-förlusterna var större för ensilage med 4 lager sträckfilm än för 6 och 8 lager sträckfilm och den skillnaden kom främst från balar med nät (tabell 4 och 5). De större ts-förlusterna med 4 lager sträckfilm kunde relateras till den större etanol-halten i ensilaget, som kan ha producerats av jästsvamp och heterofermentativa mjölksyrabakterier (tabell 4). Omkretsen var större för balar med 4 lager sträckfilm än för balar med 8 lager sträckfilm och den skillnaden kom främst från balar med nät (tabell 4 och 5). När 4 lager sträckfilm användes tenderade balar med nät att ha lägre densitet än balar med mantelfilm.

Tabell 4. Effekt av antal lager sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2020 ($n = 24$).

	4 lager	6 lager	8 lager	SEM	P-värde
CO ₂ , %	78,3 ^b	82,9 ^b	88,9 ^a	1,69	0,0002
CH ₄ , %	0,88	0,87	0,81	0,025	0,162
O ₂ , %	1,30	1,34	1,22	0,336	0,947
Täthet, sekunder	254	405	374	100,3	0,551
Omkrets, m	4,17 ^a	4,16 ^{ab}	4,15 ^b	0,004	0,012
Volym, m ³	1,65	1,66	1,64	0,011	0,240
Densitet, kg ts/m ³	212	211	214	1,9	0,480
TS, %	53,6	52,9	53,3	0,68	0,742
pH	5,91	5,90	5,92	0,01	0,526
Mjölksyra, % ts	0,28	0,26	0,22	0,021	0,168
Ättiksyra, % ts	0,70	0,70	0,70	0,035	0,989
Propionsyra, % ts	0,006	0,007	0,006	0,001	0,737
Smörsyra, % ts	0,028	0,030	0,026	0,0032	0,681
Etanol, % ts	3,81	3,55	3,19	0,174	0,056
NH ₃ -N, % tot-N	5,9	6,1	6,1	0,17	0,744
WSC, % ts	7,29	6,94	6,19	0,382	0,133
TS-förlust, %	6,6 ^a	6,0 ^b	6,0 ^b	0,12	0,002
Aerob stabilitet, dagar	5,9	5,5	5,7	0,19	0,420

Tabell 5. Tekniska parametrar och ensilagens kvalitet rundbalat med mantelfilm/nät och olika antal lager sträckfilm 2020 (n = 12).

	Mantelfilm			Nät			SEM	P-värde
	4 lager	6 lager	8 lager	4 lager	6 lager	8 lager		
CO ₂ , %	85,1 ^a	86,0 ^a	88,1 ^a	71,5 ^b	79,8 ^{ab}	89,6 ^a	2,39	0,011
CH ₄ , %	0,94	0,92	0,81	0,82	0,81	0,82	0,035	0,152
O ₂ , %	0,74	1,32	1,44	1,87	1,35	1,00	0,374	0,112
Täthet, sekunder	263	323	207	245	486	542	142,0	0,478
Omkrets, m	4,14 ^c	4,14 ^c	4,14 ^c	4,21 ^a	4,18 ^{ab}	4,17 ^b	0,006	0,013
Volym, m ³	1,61	1,64	1,62	1,69	1,68	1,65	0,016	0,371
Densitet, kg ts/m ³	217	214	21	206	207	214	2,8	0,088
TS, %	54,0	51,5	53,0	53,2	54,2	53,6	0,97	0,205
pH	5,92	5,92	5,91	5,89	5,89	5,93	0,015	0,115
Mjölksyra, % ts	0,29	0,25	0,24	0,26	0,27	0,2	0,03	0,587
Ättiksyra, % ts	0,63	0,69	0,76	0,77	0,72	0,64	0,049	0,041
Propionsyra, % ts	0,004	0,008	0,005	0,007	0,007	0,007	0,002	0,685
Smörsyra, % ts	0,025	0,027	0,024	0,031	0,034	0,028	0,004	0,979
Etanol, % ts	3,87	3,36	3,09	3,74	3,74	3,29	0,246	0,578
NH ₃ -N, % tot-N	5,9	6,5	6,2	6,0	5,6	6,0	0,24	0,114
WSC, % ts	7,33	6,69	5,98	7,24	7,18	6,4	0,54	0,841
TS-förlust, %	6,3	5,7	6,0	6,8	6,3	5,9	0,17	0,075
Aerob stabilitet, dagar	5,8	5,5	5,7	5,9	5,5	5,6	0,27	0,907

3.1.2 År 2021

Grönmassan innehöll i medeltal $31,8 \pm 4,05$ % ts, $18,0 \pm 1,55$ % råprotein av ts och $10,3 \pm 1,80$ % WSC av ts vid pressningen. Ensilaget var av relativt god kvalitet men mjölksyra-bildningen var inte tillräckligt hög för att pH skulle sjunka till en nivå under 4,5. Det högre pH värdet gynnade proteolytiska mikroorganismer, som resulterade i relativt hög ammoniak-N halt på 12 % av total N (tabell 6). Ensilage balat med Triowrap plus 19 μ tenderade att ha större ts-förluster än ensilage balat med Triowrap 25 μ men de ökade förlusterna kunde inte förklaras av de fermenteringsprodukter som var analyserade. Det är möjligt att de högre ts-

förlusterna kunde bero på större respirationsförluster vid pressningen för balar med Triowrap plus 19 μ eller från fermenteringsvägar vars slutprodukter inte är analyserade.

Tabell 6. Effekt av sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagens kvalitet 2021 (n = 30).

	Trioplus 19 μ	Triowrap 25 μ	SEM	P-värde
CO ₂ , %	36,6	38,3	1,87	0,542
CH ₄ , %	0,02	0,03	0,005	0,384
O ₂ , %	2,21	1,88	0,381	0,540
Täthet, sekunder	651	558	125,9	0,606
Omkrets, m	4,20	4,21	0,008	0,382
Volym, m ³	1,72	1,73	0,008	0,599
Densitet, kg ts/m ³	136	138	1,0	0,319
TS, %	33,0	32,2	0,43	0,190
pH	4,50	4,52	0,024	0,718
Mjölksyra, % ts	5,58	5,71	0,195	0,645
Ättiksyra, % ts	1,03	1,14	0,049	0,127
Etanol, % ts	0,49	0,47	0,019	0,519
NH ₃ -N, % total N	11,9	12,4	0,22	0,157
WSC, % ts	5,07	4,94	0,252	0,715
TS-förlust, %	4,8	4,2	0,20	0,060
Aerob stabilitet, dagar	7,4	8,2	0,62	0,405

Balar med mantelfilm hade större andel CO₂, lägre omkrets och volym men högre densitet än balar med nät, vilket överensstämmer med resultat från Spörndly och Nylund (2016; tabell 7). Resultaten visar på en större täthet hos balar med mantelfilm än med nät. Den större andelen CO₂ kan relateras till mantelfilmen eftersom fermenteringsprofilerna var lika mellan mantelfilm och nät för de CO₂ avgivande fermenteringsvägarna då bland annat ättiksyra och etanol bildas. Dessutom tenderade ensilage med mantelfilm vara mer lagringsstabil vid lufttillträde, en skillnad på nästan 2 dygn. Den lägre tätheten mätt som antal sekunder för 50 Pa tryckskillnad i bal med mantelfilm kan vi inte förklara men vår erfarenhet är att vi hade stora variationer mellan balar med mättekniken.

Tabell 7. Effekt av mantelfilm/nät på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2021 ($n = 30$).

	Mantelfilm	Nät	SEM	<i>P</i> -värde
CO ₂ , %	41,5	33,4	1,87	0,004
CH ₄ , %	0,02	0,03	0,005	0,468
O ₂ , %	2,03	2,06	0,381	0,953
Täthet, sekunder	414	795	125,9	0,038
Omkrets, m	4,17	4,24	0,008	<0,001
Volym, m ³	1,70	1,75	0,008	<0,001
Densitet, kg ts/m ³	139	135	1,0	0,015
TS, %	33,0	32,2	0,43	0,227
pH	4,51	4,51	0,024	0,828
Mjölksyra, % ts	5,70	5,59	0,195	0,680
Ättiksyra, % ts	1,05	1,12	0,049	0,322
Etanol, % ts	0,49	0,47	0,019	0,549
NH ₃ -N, % total N	12,1	12,2	0,22	0,627
WSC, % ts	5,0	5,0	0,252	0,995
TS-förlust, %	4,5	4,5	0,20	0,950
Aerob stabilitet, dagar	8,7	6,9	0,62	0,064

Andelen CO₂ i balen ökade från 4 till 6 och 8 lager sträckfilm, vilket bekräftar resultaten från Spörndly och Nylund (2016; tabell 8). Dessutom var omkrets och volym mindre för 8 lager än för 4 lager sträckfilm och den skillnaden uppstår främst när nät används under sträckfilmen (tabell 8 och 9). Generellt sett var det dock ingen skillnad i densitet mellan antalet lager sträckfilm. TS-förlusterna varierade mer mellan antal lager sträckfilm när mantelfilm användes än när nät användes under sträckfilmen. Lagringsstabiliteten i ensilaget vid luftning tenderade att öka med ökat antal lager sträckfilm och var 2,6 dagar längre för 8 lager än för 4 lager sträckfilm (tabell 8).

Det var ett signifikant 3-vägssamspel mellan sträckfilm, mantelfilm/nät och antal lager sträckfilm ($P < 0,01$) samt ett signifikant 2-vägssamspel mellan sträckfilm och antal lager sträckfilm ($P = 0,01$) med avseende på CH₄ men andelarna CH₄ i balarna var mycket små och varierade från 0,0 till 0,05 %, vilket inte ger någon relevans till skillnaderna. Detsamma gäller för det signifikanta *P*-värdet för CH₄ i tabell 8.

Tabell 8. Effekt av antal lager sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagens kvalitet 2021 ($n = 20$).

	4 lager	6 lager	8 lager	SEM	P-värde
CO ₂ , %	28,7 ^c	37,9 ^b	45,8 ^a	2,29	<0,001
CH ₄ , %	0,03	0,03	0,01	0,007	0,034
O ₂ , %	1,78	1,66	2,70	0,466	0,236
Täthet, sekunder	567	765	481	154,3	0,413
Omkrets, m	4,24 ^a	4,21 ^{ab}	4,18 ^b	0,01	0,001
Volym, m ³	1,75 ^a	1,73 ^{ab}	1,69 ^b	0,01	0,002
Densitet, kg ts/m ³	136	138	137	1,2	0,426
TS, %	33,0	32,2	32,6	0,53	0,577
pH	4,52	4,47	4,54	0,03	0,219
Mjölksyra, % ts	5,25	5,91	5,76	0,239	0,139
Ättiksyra, % ts	1,05	1,12	1,08	0,06	0,705
Etanol, % ts	0,48	0,50	0,46	0,023	0,567
NH ₃ -N, % total N	12,1	11,9	12,4	0,27	0,502
WSC, % ts	5,13	4,99	4,89	0,309	0,858
TS-förlust, %	4,2	4,9	4,3	0,24	0,074
Aerob stabilitet, dagar	6,4	8,0	9,0	0,76	0,058

Tabell 9 Tekniska parametrar och ensilagets kvalitet rundbalat med mantelfilm/nät och olika antal lager sträckfilm 2020 (n = 10).

	Mantelfilm			Nät			SEM	P-värde
	4 lager	6 lager	8 lager	4 lager	6 lager	8 lager		
CO ₂ , %	35,0	41,3	48,3	22,3	34,5	43,4	3,23	0,458
CH ₄ , %	0,03	0,03	0,00	0,04	0,03	0,02	0,009	0,598
O ₂ , %	1,79	1,64	2,66	1,78	1,67	2,74	0,659	0,998
Täthet, sekunder	549	444	249	585	1085	714	218,1	0,371
Omkrets, m	4,2 ^b	4,16 ^b	4,17 ^b	4,27 ^a	4,26 ^a	4,19 ^b	0,014	0,019
Volym, m ³	1,71 ^b	1,69 ^b	1,69 ^b	1,79 ^a	1,77 ^{ab}	1,70 ^b	0,014	0,017
Densitet, kg ts/m ³	139 ^{ab}	142 ^a	136 ^{ab}	133 ^b	135 ^{ab}	138 ^{ab}	1,8	0,031
TS, %	33,6	32,3	33,1	32,4	32,1	32,1	0,74	0,761
pH	4,51	4,46	4,57	4,52	4,48	4,52	0,042	0,669
Mjölksyra, % ts	5,38	6,16	5,56	5,12	5,67	5,96	0,338	0,404
Ättiksyra, % ts	1,01	1,14	0,97	1,08	1,10	1,17	0,085	0,416
Etanol, % ts	0,49	0,50	0,47	0,47	0,49	0,45	0,032	0,989
NH ₃ -N, % total N	11,8	12,0	12,4	12,4	11,9	12,4	0,38	0,631
WSC, % ts	5,42	4,84	4,74	4,84	5,14	5,04	0,437	0,523
TS-förlust, %	4,2 ^{ab}	5,4 ^a	3,9 ^b	4,1 ^{ab}	4,5 ^{ab}	4,8 ^{ab}	0,34	0,040
Aerob stabilitet, dagar	7,8	8,7	9,5	4,9	7,3	8,5	1,07	0,667

Det fanns inga signifikanta samspel mellan sträckfilmstyp och antal lager sträckfilm med avseende på de tekniska parametrarna och ensilagets kvalitet (se tabell 9). Sträckfilmstyp påverkade heller inte de tekniska parametrarna och ensilagets fermenteringskvalitet och aerobisk stabilitet när analysen skedde i genomsnitt över antal lager sträckfilm (tabell 10).

Tabell 10. Effekt av sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagets kvalitet 2021 (n = 18).

	Triowrap plus 19 µ	Triowrap 25 µ	Triowrap loop 25µ	SEM	P-värde
CO ₂ , %	34,2	32,6	31,9	2,65	0,815
CH ₄ , %	0,02	0,04	0,04	0,010	0,400
O ₂ , %	1,91	2,22	1,70	0,530	0,791
Täthet, sekunder	900	713	907	211,0	0,756
Omkrets, m	4,24	4,24	4,27	0,010	0,201
Volym, m ³	1,75	1,75	1,78	0,010	0,280
Densitet, kg ts/m ³	134	136	133	1,5	0,331
TS, %	32,8	31,6	33,0	0,61	0,250
pH	4,49	4,53	4,57	0,036	0,316
Mjölksyra, % ts	5,58	5,59	5,61	0,294	0,996
Ättiksyra, % ts	1,07	1,16	1,22	0,083	0,448
Etanol, % ts	0,47	0,48	0,54	0,028	0,161
NH ₃ -N, % total N	11,9	12,6	12,7	0,33	0,182
WSC, % ts	4,94	5,07	5,14	0,341	0,914
TS-förlust, %	4,8	4,1	4,5	0,29	0,222
Aerob stabilitet, dagar	6,7	7,1	6,5	1,57	0,969

Balar med 6 eller 8 lager sträckfilm innehöll större andel CO₂ än balar med 4 lager sträckfilm i genomsnitt över de tre sträckfilmstyperna (tabell 11). Skillnaden i CO₂ kan sannolikt tillskrivas antal lager plast eftersom de CO₂-producerande fermenteringsvägarna med bland annat ättiksyra och etanol som slutprodukter inte skilde sig mellan 4, 6 och 8 lager sträckfilm. Dessutom hade balar med 8 lager sträckfilm mindre omkrets och volym än balar med 6 eller 4 lager sträckfilm (tabell 11).

Tabell 11. Effekt av antal lager sträckfilm på tekniska parametrar och ensilagens kvalitet i genomsnitt över tre sträckfilmstyper 2021 ($n = 12$).

	4 lager	6 lager	8 lager	SEM	P-värde
CO ₂ , %	22,4 ^b	34,8 ^a	41,5 ^a	2,65	<0,001
CH ₄ , %	0,04	0,03	0,02	0,013	0,307
O ₂ , %	1,50	1,44	2,89	0,531	0,107
Täthet, sekunder	632	1160	728	211,3	0,179
Omkrets, m	4,29 ^a	4,26 ^a	4,21 ^b	0,013	0,001
Volym, m ³	1,80 ^a	1,77 ^a	1,71 ^b	0,010	0,001
Densitet, kg ts/m ³	134	133	137	1,5	0,109
TS, %	32,7	32,7	32,1	0,61	0,722
pH	4,54	4,51	4,53	0,036	0,881
Mjölksyra, % ts	5,32	5,67	5,80	0,294	0,499
Ättiksyra, % ts	1,12	1,19	1,15	0,083	0,853
Etanol, % ts	0,53	0,50	0,46	0,028	0,200
NH ₃ -N, % total N	12,4	12,3	12,4	0,33	0,966
WSC, % ts	4,76	5,15	5,24	0,341	0,578
TS-förlust, %	4,2	4,6	4,6	0,29	0,560
Aerob stabilitet, dagar	5,0	7,4	7,9	1,57	0,404

3.2 Försök med hackat ensilage

3.2.1 År 2020

Grönmassan innehöll i medeltal $42,9 \pm 3,50$ % ts samt $15,2 \pm 0,58$ % råprotein och $33,0 \pm 0,20$ % WSC av ts vid pressningen. Fermenteringsprofilen följde liknande mönster mellan Orkelbalar, småsilor och plansilo med dominans av heterofermentativa mjölksyrabakterier som fanns i grönmassan vid inläggning (tabell 12, 13 och 14). Dessa mjölksyrabakterier förjäser WSC till både mjölksyra och ättiksyra samt mjölksyra till ättiksyra, etanol och koldioxid (Buxton et al., 2003). *Lactobacillus buchneri* är en heterofermentativ mjölksyrabakterie som förjäser mjölksyra till lika delar 1,2-propandiol och ättiksyra samt mycket små andelar etanol (Oude Elferink et al., 2001). De metaboliska slutprodukterna från 1,2-propandiol – propionsyra och n-propanol, som bildas av *Lactobacillus diolivorans* (Krooneman et al., 2002), återfanns inte i ensilaget. Detta kan bero på

att bakteriearten inte fanns i grönmassan vid ensileringen, var inte metabolisk aktiv under fermenteringen eller konkurrerades ut av andra mikroorganismer. Gomes et al. (2019) fann högre koncentrationer av propionsyra och n-propanol vid 21 % ts än vid 30 % ts i helsädesensilage av havre, vilket tyder på att epifytisk *Lactobacillus diolivorans* stammar kan ha låg osmotolerans. Liknande resultat har tidigare återfunnits i gräsensilage i västra Sverige där Viken har varit en av gårdarna (Auerbach och Nadeau, 2020) men i den här studien är ättiksyrahalten större än mjölksyrahalten och nästan dubbelt så hög som halten 1,2-propandiol i Orkelbalarna och i små silorna, vilket visar på att även andra heterofermentativa mjölksyrabakterier har varit aktiva med att förbruka socker och mjölksyra. Däremot var halterna av ättiksyra och 1,2-propandiol ungefär lika i ensilaget lagrat i plansilo, vilket visar på dominans av *Lactobacillus buchneri*. Den höga ättiksyrahalten i ensilaget och användande av ett salt-baserat medel innehållande bensoat (Xtrasil Ultra HD, Konsil Scandinavia, Tvååker) har gett ett mycket lagringsstabilt ensilage som inte fick förhöjd temperatur under hela aeroba stabilitetstestet på 14 dagar (tabell 12, 13 och 14; Muck et al., 2018; Auerbach och Nadeau, 2019).

Ensilaget i Orkelbalarna visade lägst variation mellan ensilage som var täckt med lika plastfilmsbehandling, vilket syns med det lägre standardiserade medelavvikelsen (standard error of the mean, SEM) för ensilaget i Orkelbal jämfört med ensilaget i små silor och i plansilo. Därför har resultaten från Orkelbalarna fler signifikanta skillnader mellan plastfilmsbehandlingarna än vad de övriga ensilagen har. Eftersom fermenteringsmönstret är lika mellan lagringssystemen är lagring i Orkelbal av hackat ensilage en bra försöksmetod för att utvärdera plastfilmer för plansilo.

Vid jämförelse mellan plastfilmsbehandlingar i balat ensilage gav Triosun + Triotech lägre ättiksyrahalt och tendens till lägre halt av 1,2-propandiol, vilket ledde till lägre ts-förluster jämfört med Triosun utan Triotech (tabell 12). Triosun + Triotech hade liknande ättiksyrahalt och TS-förluster som svart plast + Triotech och TriO₂. Det var även liknande TS-förluster mellan Triosun och TriO₂. Däremot hade Triosun lägre ammoniak-halt än svart plast + Triotech och TriO₂, vilket visar på lägre nedbrytning av proteinet under ensileringen (tabell 12).

Tabell 12. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på Orkelbalar 2020 ($n = 7$).

	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triosun	Triosun + Triotech	SEM	P-värde
TS, %	40,6	40,9	41,4	41,6	0,44	0,388
pH	4,28 ^a	4,23 ^{ab}	4,22 ^b	4,24 ^{ab}	0,013	0,027
Mjölksyra, % ts	1,77	1,79	1,74	1,54	0,099	0,278
Ättiksyra, % ts	4,01 ^b	4,25 ^b	4,97 ^a	4,07 ^b	0,14	<0,001
Etanol, % ts	0,35	0,40	0,41	0,33	0,033	0,189
1,2-Propandiol, % ts	2,50	2,54	2,98	2,30	0,174	0,069
WSC, % ts	0,94	1,10	1,12	0,88	0,092	0,199
NH ₃ -N, % total N	8,6 ^{ab}	8,8 ^a	7,3 ^c	7,8 ^{bc}	0,22	<0,001
TS-förlust, %	7,1 ^b	7,4 ^{ab}	7,8 ^a	7,1 ^b	0,15	0,012
Aerob stabilitet, dagar	14,0	14,0	14,0	14,0		

I ensilage lagrat i små silor tenderade etanolhalt ($P = 0,06$) och WSC-halt att vara lägre med Triosun + Triotech än med enbart Triosun (tabell 13). I ensilage lagrat i plansilo gav Triosun och TriO₂ mindre andel 1,2-propandiol än Triosun + Triotech och svart plast + Triotech, vilket ledde till lägre pH nivå för Triosun än för plastfilmerna med Triotech (tabell 14).

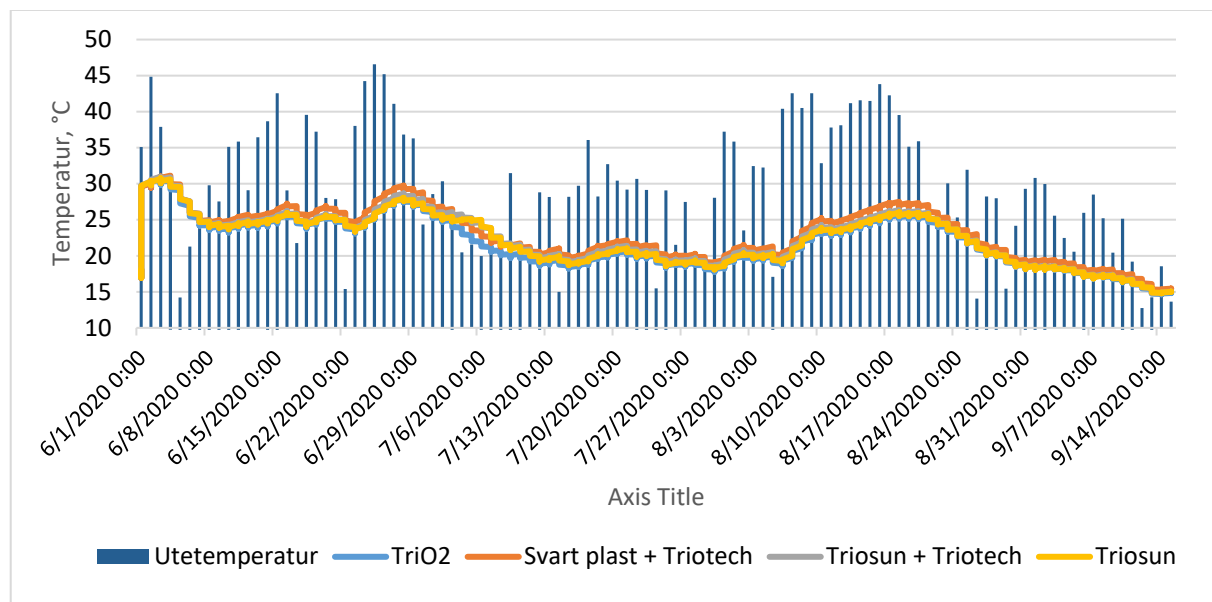
Tabell 13. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på 1,7 liters glasburkar 2020 ($n = 7$).

	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triosun	Triosun + Triotech	SEM	P-värde
TS, %	37,8	38,3	39,8	38,4	0,80	0,318
pH	4,12	4,15	4,17	4,11	0,026	0,325
Mjölksyra, % ts	2,62	2,97	2,71	2,87	0,189	0,572
Ättiksyra, % ts	4,44	4,06	4,26	4,32	0,236	0,714
Etanol, % ts	0,34	0,62	0,72	0,28	0,117	0,036
1,2-Propandiol, % ts	2,15 ^a	1,58 ^b	1,81 ^{ab}	1,80 ^{ab}	0,129	0,035
WSC, % ts	1,01	1,65	1,94	0,84	0,309	0,061
NH ₃ -N, % total N	8,0	7,4	7,2	7,90	0,25	0,090
TS-förlust, %	Inga värden eftersom silorna tagit åt sig fukt under utomhus lagring på Viken.					
Aerob stabilitet, dagar	14	13,1	14	14	0,44	0,410

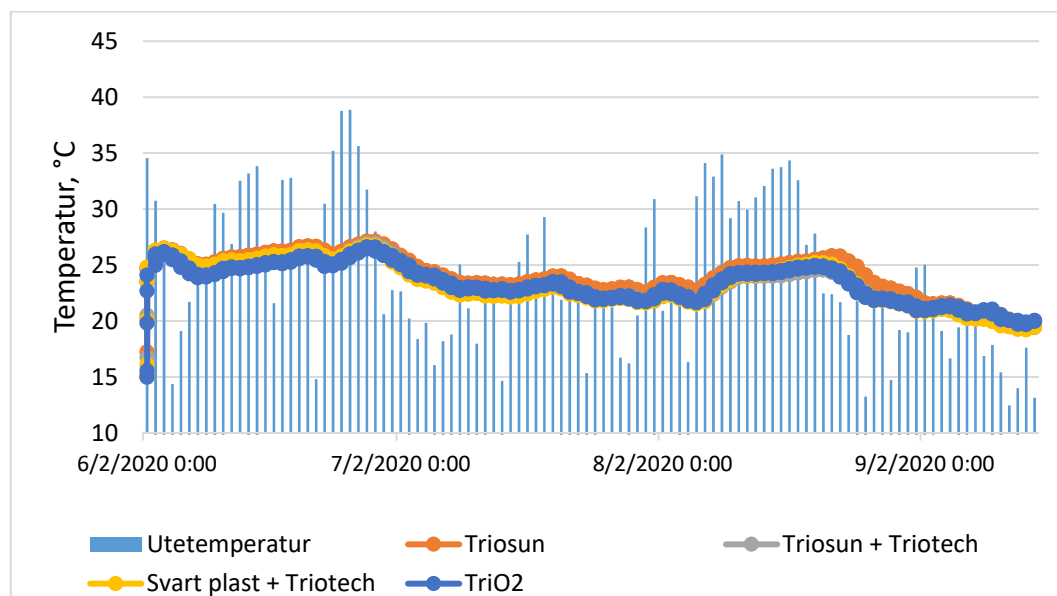
Tabell 14. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med filmer i plansilo 2020 ($n = 4$).

	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triosun	Triosun + Triotech	SEM	P-värde
TS, %	40,4	40,6	40,6	40,4	0,26	0,887
pH	4,37 ^a	4,32 ^{ab}	4,29 ^b	4,38 ^a	0,013	0,003
Mjölksyra, % ts	2,06	2,33	2,47	2,07	0,113	0,065
Ättiksyra, % ts	4,08	3,57	4,30	4,11	0,213	0,146
Etanol, % ts	0,31	0,37	0,39	0,36	0,053	0,752
1,2-Propandiol, % ts	5,68 ^a	4,36 ^b	4,99 ^b	6,01 ^a	0,151	<0,001
WSC, % ts	0,93	1,06	1,09	1,05	0,137	0,850
NH ₃ -N, % total N	8,8	8,5	8,5	8,3	0,62	0,940
TS-förlust, %	8,4	8,5	9,8	8,9	1,78	0,950
Aerob stabilitet, dagar	14,0	14,0	14,0	14,0		

Temperaturen i ensilaget under lagring i Orkelbal och i plansilo var likvärdiga och följde utetemperaturen med en större följsamhet av temperaturen i ensilage lagrat i Orkelbal än i plansilo (figur 1 och 2). Orsaken till den högre lufttemperaturen för Orkelbalarna kan bero på lagringsplatsen som var vid en vägg. Det fanns inga stora skillnader i ensilagens temperatur mellan filmbehandlingarna.



Figur 1. Temperatur i ensilage lagrat i Orkelbalar täckt med olika plastfilmer (linje) och utetemperatur (stapel) 2020.



Figur 2. Temperatur i ensilage lagrat i plansilo täckt med olika plastfilmer (linje) och utetemperatur (stapel) 2020.

3.2.2 År 2021

Grönmassan innehöll i medeltal $33,2 \pm 1,21$ % ts, $16,0 \pm 0,13$ % råprotein av ts och $13,0 \pm 0,37$ % WSC av ts vid pressningen. Ensilaget 2021 innehöll mer mjölksyra i förhållande till ättiksyra och halten 1,2-propandiol var betydligt lägre än i ensilaget från 2020, vilket ledde till lägre ts-förluster (tabell 15 och 16). Den standardiserade medelavvikelsen (SEM) var för flera variabler lägre för ensilage i Orkelbalar än för ensilage lagrat i små silor, vilket resulterade i fler signifikanta skillnader mellan plastfilmsbehandlingarna för ensilage lagrat i Orkelbalar. Som framgick av resultaten 2020 är ensilage lagrat i Orkelbal en bra försöksmetod för att jämföra plastfilmer avsedda för plansilos.

Ensilage täckt med Triosun med och utan Triotech i Orkelbalar hade högre mjölksyrainhalt än övriga ensilage och lägre halter av ättiksyra, 1,2-propandiol och n-propanol än ensilage täckt med Triocare + Triotech och svart plast + Triotech, vilket resulterade i lägre pH-värde för Triosun-behandlingarna (tabell 15). Det lägre pH-värdet bidrog till lägre proteolytisk aktivitet med Triosun-behandlingarna jämfört med Triocare och svart plast, båda med Triotech. Bildningen av 1,2-propandiol är betydligt lägre än i ensilaget från 2020 men visar ändå på förekomst av naturligt förekommande *Lactobacillus buchneri* i ensilaget (Oude Elferink, 2001). Det verkade också förekomma viss aktivitet av *Lactobacillus diolivorans* eftersom små andelar n-propanol kunde påvisas men däremot ingen propionsyra, som också är en slutprodukt från 1,2-propandiol (Krooneman et al., 2002). Den aeroba lagringsstabiliteten var bra i samtliga ensilage med en stabilitet under hela eller nästan hela testperioden på 14 dagar (tabell 15).

Tabell 15. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på Orkelbalar 2021 ($n = 7$).

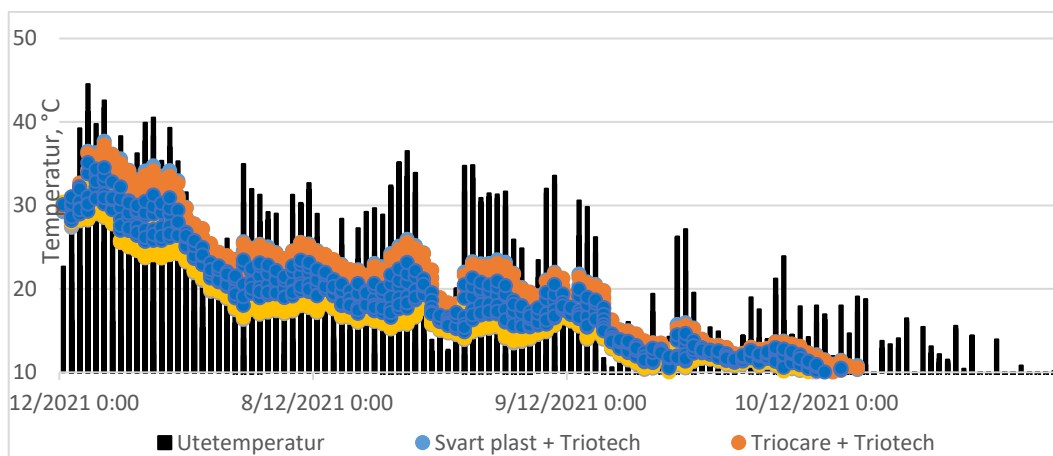
	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triocare + Triotech	Triosun	Triosun + Triotech	SEM	P-värde
TS, %	32,3	33,6	32,7	33,5	33,6	0,34	0,030
pH	4,22 ^{ab}	4,13 ^{bc}	4,26 ^a	4,11 ^c	4,06 ^c	0,024	<0,001
Mjölksyra, % ts	7,06 ^b	7,31 ^b	6,24 ^b	8,98 ^a	8,86 ^a	0,354	<0,001
Ättiksyra, % ts	2,66 ^a	1,77 ^b	2,67 ^a	1,56 ^b	1,45 ^b	0,189	<0,001
Etanol, % ts	0,52	0,45	0,54	0,42	0,34	0,051	0,070
1,2-Propandiol, % ts	0,51 ^a	0,31 ^{ab}	0,54 ^a	0,18 ^b	0,15 ^b	0,062	<0,001
n-Propanol, % ts	0,18 ^a	0,04 ^b	0,20 ^a	0,02 ^b	0,00 ^b	0,019	<0,001
WSC, % ts	1,10 ^{ab}	1,48 ^a	0,99 ^b	1,48 ^a	1,54 ^a	0,110	0,002
NH ₃ -N, % total N	10,5 ^a	9,0 ^b	10,0 ^a	8,5 ^b	8,4 ^b	0,27	<0,001
TS-förlust, %	6,7	7,3	7,2	6,9	6,9	0,33	0,667
Aerob stabilitet, dagar	14,0 ^a	13,2 ^{ab}	14,0 ^a	13,5 ^a	11,5 ^b	0,46	0,004

Ensilaget i små silor hade en mer homofermentativ ensilering, vilket visade sig i betydligt lägre ättiksyrahalt än i ensilaget i Orkelbalar (tabell 15 och 16). En mer mjölksyradominerad förjäsning resulterade i betydligt lägre aerob stabilitet i ensilaget i små silor jämfört med ensilaget i Orkelbalar eftersom mjölksyra inte inhiberar förekomst av jäst och mögelsvamp till skillnad från ättiksyra. Mjölksyran används istället som kol- och energikälla av jäst och mögelsvamp (Jonsson och Pahlow, 1984). Förekomst av etanol i ensilage i både små silor och i Orkelbalar antyder på förekomst av jästsvamp samt heterofermentativa mjölksyrabakterier (Buxton et al., 2003). Det var inga skillnader mellan plastfilmsbehandlingarna med avseende på ensilagens fermenteringskvalitet förutom en tendens till lägre halt av ammoniak-N i ensilage täckt med Triosun + Triotech jämfört med ensilage täckt med svart plast + Triotech (tabell 16).

Tabell 16. Fermenteringskvalitet och aerob stabilitet i ensilage täckt med plansilofilmer på 1,7 liters glasburkar 2021 ($n = 7$).

	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triocare + Triotech	Triosun	Triosun + Triotech	SEM	<i>P</i> -värde
TS, %	31,9	32,3	32,6	32,2	32,6	0,25	0,250
pH	4,46	4,46	4,42	4,46	4,43	0,072	0,986
Mjölksyra, % ts	6,78	6,42	6,92	6,62	7,11	0,332	0,635
Ättiksyra, % ts	0,71	0,78	0,72	0,96	0,65	0,216	0,878
Etanol, % ts	0,30	0,25	0,34	0,26	0,39	0,049	0,238
1,2-Propandiol, % ts	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,005	0,181
WSC, % ts	0,95	0,82	0,99	0,84	0,94	0,09	0,610
NH ₃ -N, % total N	11,7	8,8	8,6	9,5	8,5	0,86	0,072
TS-förlust, %	6,9	6,4	6,6	7,50	6,3	0,44	0,303
Aerob stabilitet, dagar	3,8	2,9	3,6	2,1	4,7	1,15	0,631

Ensilagens temperatur i Orkelbal följde utetemperaturen 2021 (figur 3). Det verkar vara något högre temperatur i ensilaget täckt med svart plast och Triocare, båda med Triotech än med Triosun.



Figur 3. Temperatur i ensilage lagrat i Orkelbal täckt med olika plastfilmer (punkter) och utetemperatur (stapel) 2021.

3.3 Klimatavtryck

Klimatavtrycket för de olika plasterna framgår av tabell 17. De är värden som är LCA-modellerade i SimaPro, med hjälp av data från ecoinvent-inventeringsdatabasen och erhöles av tillverkaren (Anders Larsson, TrioWorld, personlig kommunikation, 2024). För att erhålla klimatavtrycket per kg ts delades erhållna värden med genomsnittliga balvikter respektive år. Balarna innehöll i medeltal 350 kg ts år 2020 (se värdena för volym och densitet i tabell 1) och i medeltal 240 kg ts år 2021 (se värdena för volym och densitet i tabell 6).

Tabell 17. Klimatavtryck för olika plaster och olika antal lager plast på en rundbal.

Klimatavtryck	Triowrap 25 μ	Triowrap plus 19 μ	Triowrap loop 25 μ
Kg CO ₂ e/kg film	2,40	2,31	1,70
Kg CO ₂ e/bal 4 lager	2,00	1,46	1,42
Kg CO ₂ e/bal 6 lager	2,99	2,18	2,13
Kg CO ₂ e/bal 8 lager	3,99	2,91	2,84
2020			
Kg CO ₂ e/kg ts 4 lager	5,7	4,2	4,1
Kg CO ₂ e/kg ts 6 lager	8,5	6,2	6,1
Kg CO ₂ e/kg ts 8 lager	11,4	8,3	8,1
2021			
Kg CO ₂ e/kg ts 4 lager	8,3	6,1	5,9
Kg CO ₂ e/kg ts 6 lager	12,5	9,1	8,9
Kg CO ₂ e/kg ts 8 lager	16,6	12,1	11,8

Klimatavtrycket på mantelfilmen var 2,2 CO₂e per kg film och åtgången var enligt tillverkaren 0,28 kg per bal enligt tillverkaren (Anders Larsson, TrioWorld,

personlig kommunikation, 2024). För att erhålla klimatavtrycket per kg ts delades erhållna värden med genomsnittliga balvikter respektive år. Det blev då 1,76 g CO₂e per kg ts år 2020 och 2,57 g CO₂e per kg ts år 2021. För nätet kunde inga officiella uppgifter erhållas från tillverkaren, men enligt inofficiella uppgifter är klimatavtrycket i storleksordningen 1 g CO₂e per kg ts.

Effekten på klimatavtrycket beroende på sträckfilm framgår av tabell 18. År 2020 var det ingen signifikant skillnad i klimatavtryck beroende på emissionsförluster. När klimatavtrycket för plasten lades till var plastens klimatavtryck helt avgörande. fanns det en tendens till att klimatavtrycket var högre då den tjockare plasten användes.

År 2021 var det en signifikant skillnad i emissions klimatavtryck mellan den tjocka och den tunna plasten men den skillnadens suddades helt ut när plastens klimatavtryck lades till.

Tabell 18. Effekt av sträckfilm på klimatavtryck (n=36, 2020 n=30 2021).

	Triowrap plus 19μ	Triowrap 25μ	Triowrap loop 25μ	SEM	P-värde
2020					
Emission, g CO ₂ e/kg ts	37	39	-	8	0,3596
Emission + plast, g CO ₂ e/kg ts	6275 ^a	8591 ^b	-	346	<.0001
2021					
Emission, g CO ₂ e/kg ts	57 ^a	44 ^b	47 ^b	14	0,0210
Emission + plast, g CO ₂ e/kg ts	9152 ^{ab}	12517 ^a	8864 ^b	508	<.0001

Effekten på klimatavtrycket beroende på antal lager sträckfilm framgår av tabell 19. År 2020 var det en signifikant skillnad i emissionsförluster mellan 4 och 8 lager plast. Skillnaden mellan 6 och 8 lager plast var inte signifikant. Det lägre klimatavtrycket med färre lager plast kompenserade mycket väl de ökade emissionsförlusterna.

År 2021 var det en signifikant skillnad i emissions förluster mellan 4 och 6 lager plast. Där 6 lager hade det sämsta värdet. Det är dock inte rimligt att tro att 6 lager plast skulle sämre än 4 lager. Eftersom plastens klimatavtryck är helt avgörande är antalet lager plast det som har betydelse.

Tabell 19. Effekt av antal lager sträckfilm på klimatavtryck ($n=24$, 2020 $n=20$ 2021).

	4 lager	6 lager	8 lager	SEM	P-värde
2020					
Emission, g CO ₂ e/kg ts	44 ^a	35 ^b	35 ^b	8	0,0017
Emission + plast, g CO ₂ e/kg ts	4987 ^a	7421 ^b	9892 ^c		<.0001
2021					
Emission, g CO ₂ e/g ts	47 ^a	56 ^b	46 ^a	14	0,0345
Emission + plast, g CO ₂ e/g ts	6704 ^a	10181 ^b	13648 ^c	508	<.0001

Effekten på emissionsförlusternas klimatavtryck beroende på om mantelfilm eller nät använts framgår av tabell 20. År 2020 var det en signifikant skillnad i emissionsförluster där mantelfilmen hade det lägre värdet. Några värden på klimatpåverkan när effekten av plasten läggs till har inte kunnat beräknas då värden för nätet ej kunnat erhållas. År 2021 var det inga skillnader i emissionsförlusternas klimatavtryck.

Tabell 20. Effekt av mantelfilm/nät på klimatavtryck ($n=36$, 2020 $n=30$ 2021).

	Mantelfilm	Nät	SEM	P-värde
2020				
Emission, g CO ₂ e/kg ts	33	43	8	<.0001
2021				
Emission, g CO ₂ e/kg ts	49	49	14	0,09809

Effekten på emissionsförlusternas klimatavtryck beroende på vilken täckplast som använts efterliknande plansilos framgår av tabell 21. Inga skillnader i emissionsförlusternas klimatavtryck kunde konstateras mellan de olika plasterna.

Tabell 21. Effekt av täckplast på klimatavtryck, kg CO₂e per kg ts ($n=7$ förutom Bunkersilo 2020 då $n=4$).

	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triosun + Triotech	Triosun	Triocare + Triotech	SEM	P-värde
Orkelbalar 2020	86	90	99	92	-	11	0,0899
Bunkersilo 2020	105	107	125	112	-	53	0,9639
Orkelbalar 2021	81	91	86	86	88	13	0,6095
Minisilos 2021	88	81	80	97	81	17	0,3030

Kostnader

Antal kg ts som finns i ensilagebalarna påverkar kostnaderna där balarna innehöll mer kg ts år 2020 än 2021, och detta gör kostnaderna per kg ts högre 2021 oavsett mantelfilm/nät och antal lager sträckfilm (tabell 22). Kostnaderna för ensilage som har mantelfilm eller nät under sträckfilm skiljer mycket lite inom sträckfilmstyp. Skillnaden i kostnad per kg ts ensilage är oftast större mellan 8 och 6 lager sträckfilm än mellan 6 och 4 lager sträckfilm.

Tabell 22. Kostnad, kr/kg ts, för mantelfilm/nät och antal lager sträckfilm under två år (2020, 2021)

		Antal lager balplast		
		4	6	8
Triowrap plus 19 µ, 2020	Mantelfilm	0,65	0,72	0,78
Triowrap plus 19 µ, 2020	Nät	0,65	0,72	0,78
Triowrap 25 µ, 2020	Mantelfilm	0,63	0,68	0,74
Triowrap 25 µ, 2020	Nät	0,63	0,68	0,78
Triowrap plus 19 µ, 2021	Mantelfilm	0,88	0,96	1,10
Triowrap plus 19 µ, 2021	Nät	0,84	0,94	1,10
Triowrap 25 µ, 2021	Mantelfilm	0,82	0,91	1,03
Triowrap 25 µ, 2021	Nät	0,83	0,88	0,98
Triowrap Loop 25 µ, 2021	Nät	0,81	0,93	1,01

Kostnaden per kg ts ensilage ökar med underlagsfilm. Det är marginell skillnad mellan olika år inom täckplast (tabell 23).

Tabell 23. Kostnad, kr/kg ts, med olika täckplaster under två år (2020, 2021)

	Svart plast + Triotech	TriO ₂	Triosun + Triotech	Triosun	Triocare + Triotech
Orkelbalar, 2020	1,23	1,11	1,23	1,08	-
Bunkersilo, 2020	1,24	1,12	1,24	1,09	-
Orkelbalar, 2021	1,23	1,11	1,23	1,07	1,22
Minisilos, 2021	1,23	1,11	1,23	1,07	1,22

4. Slutsatser

4.1 Skuret ensilage i rundbal

- Triowrap 25 μ gav mer CO₂ i balen än Triowrap plus 19 μ i ett av två år. Eftersom det inte var skillnader i CO₂-avgivande fermenteringsvägar med ättiksyra och etanol som slutprodukter antyder den större CO₂-andelen på en större täthet i balen med Triowrap 25 μ .
- Mantelfilmen TrioBaleCompressor gav båda åren större andel CO₂ i balen än nät, vilket kan antyda på en större täthet i balen eftersom fermenteringsprofilen inte skilde sig åt mellan mantelfilm och nät. Mantelfilmen höll samman balarna bättre än vad nätet gjorde. Densiteten var högre medan volym och omkrets var lägre för mantelfilm än för nät. Vidare gav mantelfilm lägre ts-förluster och bättre aerob lagringsstabilitet än nät under ett av de två åren.
- Torrsubstansförlusterna var större för 4 lager sträckfilm än för 6 och 8 lager sträckfilm, vilka inte skilde sig åt i förluster under ett av två år. Koldioxidandelen ökade med ökat antal lager sträckfilm från 4 till 6 och till 8 lager. Åtta lager sträckfilm gav mindre omkrets och volym än 4 lager sträckfilm och detta gäller speciellt när nät användes.
- Emissionsförlusterna vid ensileringen har marginell påverkan på klimatavtrycket än vilken plast som används eller hur många lager plast som läggs runt balen.
- Kostnaderna för ensilage som har mantelfilm eller nät under sträckfilm skiljer mycket lite inom sträckfilmstyp.

Sammanfattningsvis visar dessa och tidigare studier på att mantelfilm, tjock sträckfilm och fler lager är positivt för ensilagens fermenteringskvalitet och därmed ger lägre klimatpåverkan. Det verkar inte vara någon nackdel att använda sträckfilm som innehåller återvunnen plast.

4.2 Hackat ensilage

- Orkelbal visade sig vara bra modell för utvärdering av plansilofilm.
- Triosun + Triotech på Orkelbal hade lägre halter av ättiksyra och 1,2-propandiol och därmed lägre ts-förluster än Triosun utan Triotech 2020. Triosun + Triotech hade lika ättiksyrahalt och ts-förluster som svart plast +

Triotech och TriO2. Vidare hade Triosun likadan halt av ammoniak-N som Triosun + Triotech men lägre halt av ammoniak-N än svart plast + Triotech och TriO2.

- År 2021 hade Triosun med och utan Triotech på Orkelbal högre halt av mjölksyra men lägre halt av ättiksyra, 1,2-propandiol och n-propanol än Triocare och svart plast, båda med Triotech. Därmed var pH-värdet lägre för Triosunbehandlingarna än för Triocare och svart plast. Det lägre pH-värdet ledde till lägre ammoniak-N produktion i Triosun med och utan Triotech än i Triocare och svart plast, båda med Triotech.
- Temperaturen i ensilaget följde utetemperaturen med en variation från 15°C till 27°C 2020 och en variation från 10°C till 37°C 2021.
- Inga skillnader i klimatavtryck av emissionsförluster kunde ses mellan de olika täckplasterna.
- Kostnaden per kg ts ensilage ökar med underlagsfilm.

Sammanfattningsvis verkar det inte vara någon nackdel att använda täckplast med lägre klimatpåverkan då vi i denna studie inte kunde se några skillnader i emissionsförluster från fermenteringen.

Referenser

- Auerbach, H., and Nadeau, E. 2019. Chemical additives for silages: When to use it and what are the options? In: Nussio, L. G., Silva, É. B., Oliveira, K., Gritti, V. C., Salvo, P. A. R., Salvati, G. G., & Sousa, D. O. (eds). *Proceedings of the VII International Symposium on Forage Quality and Conservation*, Piracicaba, Brazil, 2019, pp. 49-79.
- Auerbach, H., and Nadeau, E. 2020. Effects of additive type on fermentation and aerobic stability and its interaction with air exposure on silage nutritive value. *Agronomy* 10, 1229 <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10091229>
- Buxton, D. R., Muck, R. E. and Harrison, J. H. 2003. *Silage Science and Technology*. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy Inc.
- Gomes, A.L.M., Jacovaci, F.A., Bolsson, D.C., Nussio, L.G., Jobim, C.C. and Daniel, J.L.P. 2019. Effect of light wilting and heterolactic inoculant on the formation of volatile organic compounds, fermentative losses and aerobic stability of oat silage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 247, 194–198.
- Honig, H. Evaluation of aerobic stability. In *Proceedings of the EUROBAC Conference*, Uppsala, Sweden, 12–16 August 1986.
- Jonsson, A. and Pahlow, G. 1984. Systematic classification and biochemical characterization of yeasts growing in grass silage inoculated with *Lactobacillus* cultures. *Anim. Res. Dev.* 20, 7–22.
- Krooneman, J., Faber, F., Alderkamp, A.C., Oude Elferink, S.J.H.W., Driehuis, F., Cleenwerck, I., Swings, J., Gottschal, J.C. and Vancanneyt, M. 2002. *Lactobacillus diolivorans* sp. nov., a 1,2-propanediol-degrading bacterium isolated from aerobically stable maize silage. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52, 639–646.
- Krueger, L.A, Koester, L.R, Jones, D.F. and Spangler, D. A. 2023. Carbon dioxide equivalent emissions from corn silage fermentation. *Front Microbiol.* 2023 Jan 9:13 DOI: 10.3389/fmicb.2022.1092315.
- Muck, R. E., Nadeau, E.M.G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F.E., Santos, M.C. and Kung Jr., L. 2018. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science* 101:3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- Nadeau, E., Richardt, W. and Nørgaard, P. 2016. Fibre and protein quality of silages and their effects on ruminant performance. *Proceedings of the 17th International Conference on Forage Conservation*, Horný Smokovec, Slovak Republic, September 27-29. L´. Rajčáková (Ed.) pp. 39-53. ISBN 978-80-89418-45-9. EAN 9788089418459.
- Neuman, L. Spirina Consult, Timmele, Sverige. Personligt Meddelande 2024.
- Oude-Elferink, S.J.W.H. Krooneman, J., Gotschal, J.C., Spoelstra, S.F., Faber, F., Driehuis, F. 2001. Anaerobic degradation of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Appl. Environm. Microbiol.* 67, 125–132.
- Spörndly, R., Nylund, R., Hörndahl, T. och Algerbo, P. 2008. Handling round bale silage after stretch-film application. *Grassland Science in Europe* 13, 681-683.
- Spörndly, R. och Nylund, R. 2016. Net replacement film in round bale ensiling of ley crops. *Grassland Science in Europe* 21, 284-286.
- Weissbach, F. and Strubelt, C. 2008. Correcting the dry matter content of grass silages as a substrate for biogasproduction. *J. Agric. Eng.* 63, 210.
- Weissbach, F. 2005. A simple method for the correction of fermentation losses measured in laboratory silos. In *Proceedings of the XIVth International Silage Conference*, Belfast, UK.

Tack

Tack riktas till försökstekniker Frida Dahlström, Karin Wallin och Gunilla Jacobsson, HMM, SLU Skara, Ulrika Nilsson och medarbetare på Viken, Andreas Andersson, AHA Lantbrukstjänst, John Jakobsson, Konsil Scandinavia och Horst Auerbach, Konsil Europe, Jonny Knutsson, Hällestad Lindåsen och Anders Larsson med medarbetare från Trioworld för fint samarbete under försöket.