

Ventilering av rotfrukter lagrade i stukor på fält

RAPPORT MED FÖRSÖKSDATA OCH RESULTATTABELLER



Joakim Ekelöf
Joakim.ekelof@nbrf.nu
+46 (0)73 6286724

Nordic Beet Research Foundation (Fond)
DK: Højbygårdvej 14, DK-4960 Holeby
SE: Borgeby Slottsväg 11, SE-237 91 Bjärred
Phone: +45 54 60 14 40

www.nordicbeet.nu



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Bakgrund	3
INLEDNING.....	3
GENOMFÖRANDE	4
Utveckling av ventilationsrör	4
Avstånd mellan ventilationsrör	4
Temperaturspjut (hårdvara)	5
Mjukvara	5
Praktiska tester i fält	5
Resultat	7
SOCKERBETOR	7
Temperatur och fläktaktivitet	7
Lagringsförluster sockerbetor	7
STÄRKELSEPOTATIS.....	8
Temperatur och fläktaktivitet	8
Lagringsförluster stärkelsepotatis.....	9
Diskussion.....	10
Rapportering	10
Referenser.....	10

Bakgrund

Projektet startade 2017 på initiativ av Nordic Beet Research (NBR) som tillsammans med Nordic sugar, Lyckeby Starch, Farm Mac, Sense Farm, Frabil El AB och Hushållningssällskapet Skåne sökte och fick beviljat medel från Europeiska fonden för landsbygdsutveckling (EIP). Projektet syftade till att skapa ett innovativt lagringskoncept för att möjliggöra långtidslagring med minimala förluster av rotfrukter i fält. Detta skulle ske genom utveckling av ett ventilationsrör som kunde föras in och dras ut från en befintlig stuka samt utveckla en mjukvara som automatiskt slår av och på en fläktenhet för att kyla stukan.

Detta för att ge industrier så som ex. socker och stärkelse möjlighet till bättre fabriksutnyttjande genom längre kampanjer, och samtidigt ge lantbrukaren en säkrare lagring och ett högre netto på sin odling. Flera av våra processande industrier inom lantbruksnäringen i Sverige står idag med dyra och kapitalkrävande fabriker som inte utnyttjas under stora delar av året. vilket ger höga fasta kostnader. Typiskt så står Sveriges socker- och stärkelsefabriker stilla 8 månader om året. År 2012 avreglerades stärkelsemarknaden i Europa och 2017 avregleras sockret. Detta medför en ökad konkurrens inom EU och mycket kommer då att handla om att producera så billigt som möjligt för att överleva. Ett effektivt sätt att öka konkurrenskraften skulle vara att utnyttja vårt kalla klimat för att minska lagringsförlusterna och förlänga kampanjerna.

INLEDNING

I Sverige odlas idag ca 30 000 hektar sockerbetor och 8000 ha stärkelsepotatis. Då endast ett sockerbruk och tre stärkelsefabriker finns kvar i Sverige blir ofta i lagringsperioderna långa för odlarna. En svensk bet/stärkelsekampanj (den period på året då sockerbetorna levereras till fabriken) varar normalt sett från mitten av september till mitten av januari. Den första tiden tas grödan upp i samma takt som fabriken kan processa dem. På grund av frostrisk tas i stort sett all kvarvarande gröda upp under november (något tidigare för stärkelsepotatis) och lagras i stuka. Skörd i november kan i dagsläget innebära lagring i närmare två månader. Väl i stuka kan grödan tidigt komma att utsättas för frost vilket kan medföra stora ekonomiska konsekvenser för odlaren om stukan inte hanteras korrekt. Vid leverans klassas frostsadade betor som smuts vilket med det nya avtalet för 2017 innebär ett prisavdrag med 5 kr per ton per procent som smutshalten ökar. Odlaren ansvarar för betorna fram till leveransdagen. Senarelagd leverans regleras med pristillägg. Detta ska täcka de lagringsförluster som är oundvikliga, samt ersätta sockerbetodlaren kostnader för material och arbete.

Att förvara och bevara rotfrukter i fält i stuka under månaderna december till januari i Sverige kan många gånger vara en utmaning. Vädret kan snabbt växla mellan minus 10 och plus 10 grader vilket ställer höga krav på odlaren som måste följa och tolka väderprognoserna och agera därefter. Ofta går det relativt enkelt att isolera stukan med halm och plast eftersom stukan i sig genererar värme genom respiration. Problemet är bara att det lätt blir för varmt i stukan som då genererar onödigt många daggrader. Att hela tiden täcka av och på stukan anser de flesta vara allt för mödosamt vilket resulterar i att när väl frotskyddet är på så får det ligga på.

Socket- och stärkelseförluster sker under normala betingelser huvudsakligen genom respiration vilket är starkt kopplat till antalet daggrader som rotfrukten lagras i (Jaggard, Clark et al. 1997, Haagenson, Klotz et al. 2008). Men mekaniska skador i samband med upptagning kan dock öka förlusterna betydligt (Wiltshire and Cobb 2000). Dels på grund av att mer energi går åt under såråkningsperioden men också för att svampar och bakterier får fri passage in i betan (Klotz, Finger et al. 2006). Men det har visats att lägre lagringstemperaturer (6 grader jämfört med 12) ger mindre viktörluster och betydligt lägre respiration under såråkningsprocessen (Fugate, Ribeiro et al. 2016). Ogynnsamma förhållanden så som frost och fri vattenfilm på betan kan också störa betans cellväggar och bana väg för mikrobiell nedbrytning (Draycott 2008, Olsson 2008).

Flera tidigare studier har visat att det sällan eller aldrig är några problem att lagra betor i upp till 300 daggrader (Huijbregts, Legrand et al. 2013). Därefter kan svamp och bakterietillväxten i vissa fall accelerera och nedbrytningen gå fort (Bugbee 1982, Klotz and Finger 2004). Här spelar framförallt odlingslokal och årsmån en viktig roll, men även sorten har betydelse (Liebe and Varrelmann 2015). Under gynnsamma betingelser kan dock lagring upp till 500 daggrader utföras utan större problem (Olsson 2011). Men för att vara på den säkra sidan bör man hålla sig under 300 daggrader. Den optimala lagringstemperaturen för betor ligger mellan 1,5 och 5 grader (Wyse 1978). För stärkelsepotatis är den optimala temperaturen något högre då stärkelse omvandlas till socker när temperaturen går ner mot 4 grader.

GENOMFÖRANDE

Utveckling av ventilationsrör

Under de första åren av projektperioden (2017-2022) utfördes utveckling och tester på flera varianter av ventilationsrör. Den första varianten av rör hade en diameter på 300 mm och var tänkt att pressas eller dras in i stukan med kätting. Man konstaterade snabbt att den lösningen inte var gångbar. Därefter konstruerades ett 200 mm rör med 1,5 varvs gänga monterad i främre delen av röret som var tänkt att skruvas in i stukan med en frontmonterad, hydrauldriven skruvmaskin. Efter en del modifieringar av både rör och skruvmaskin fungerade den lösningen utmärkt (Figur 1).

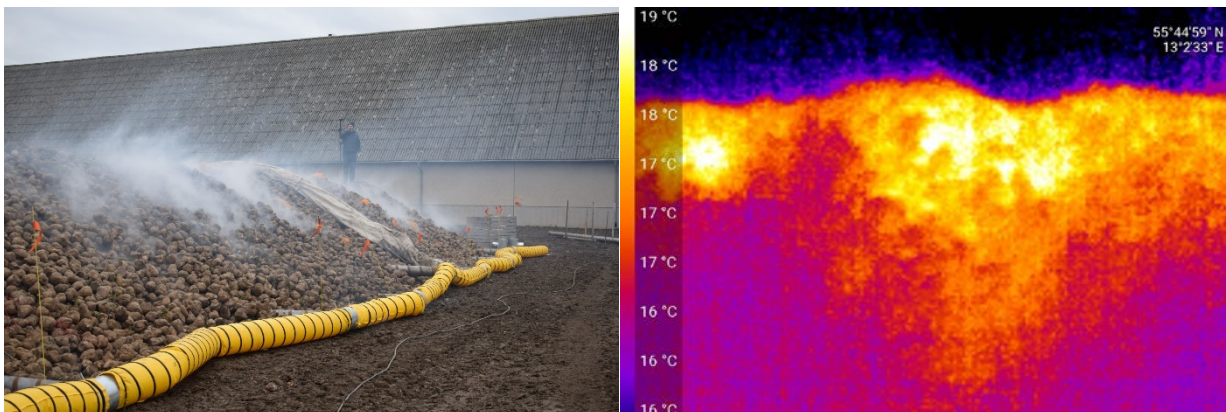


Figur 1. Här skrivs ventilationsröret in i en betstuka med den frontmonterade, hydrauldrivna skruvmaskinen.

Avstånd mellan ventilationsrör

För att studera luftflödet och anpassa avstånden mellan rören i stukan gjordes ett flertal tester i både sockerbeter och potatis. Både rökbomber och värmekanon i kombination med värmekamera testades (Figur

2). Det mest effektiva sättet var dock att använda rök. Det optimala avståndet mellan rören var 3 m för sockerbetor och 2,5 m för potatis.



Figur 2. Här studeras luftflödet med rök och värme. Till vänster har en rökbomb placerats vid insuget av fläkten. Till höger har ett gasolldrivet värmeelement placerats vid luftintaget, bilden är tagen med en värmekamera i en potatistuka.

Temperaturspjut (hårdvara)

Temperaturspjuten konstruerades av ett 1,5 m långt vattenrör (10 mm) med en kabelburen temperatursensor i botten. I toppen av spjutet fästes en dosa som innehåll själva mottagarenheten. Den första prototypen var sedan sammankopplad med fläktens styrenhet via kabel. Kabeln visade sig dock skapa driftsstörningar då fläktens aktivitet påverkade mätvärdena samt att kabeln var utsatt för yttre påverkan så som ex. gnagare. Projektgruppen utvecklade därför i stället trådlösa tempgivare baserat på LORA (Figur 3). Varje fläktenhet utrustades med fyra temperaturgivare, två som var placerade rakt över ventilationsrören och två som placerades mellan ventilationsrören.



Figur 3. LORA-baserade temperaturspjut

Mjukvara

För att kunna övervaka och styra enheterna på distans skapades en plattform där man via datorn eller mobilen kunde styra alla ingående parametrar till fläkten samt övervaka all aktivitet i fält. Detta arbete pågick under i stort sett hela projektperioden och förbättrades år från år.

En relativt stor del av projektet gick ut på att skapa själva mjukvaran som styr fläktens aktivitet. Då temperaturkraven ser olika ut för sockerbetor och potatis skapades två olika program. Optimering av dessa program gjordes både på labb och i fält under säsong och pågick fram till och med år 2019. Under lagringssäsongen 2020 och 2021 arbetade fläkten som det var tänkt och endast mindre justeringar gjordes.

Praktiska tester i fält

Praktiska tester i stor skala har utförts mellan åren 2018-2021 i faktiska potatis och betstukor. Under de sista tre åren har tre fläktenheter använts, två i sockerbetsstukor och en i stärkelsepotatistuka. Storleken på stukorna har varierat lite men typiskt har storleken varit 120 ton per stuka för sockerbetor och 60 ton

för stärkelsepotatis. Som referens har en lika stor stuka lagrats parallellt vid varje testplats för att utvärdera effekten på lagringsförlusterna. Potatisen skördades kring mitten av oktober och levererades till de sista dagarna på kampanjen vilket oftast var några dagar in i januari. Sockerbetorna skördades i början av oktober och även dem levererades strax innan fabriken stängde vilket de senaste åren har varit några dagar in i februari. För att utvärdera lagringsförluster och viktstapp lades 12 invägda säckar in i stukorna vid starten av lagringssäsongen. Vid leverans vägdes och analyserades säckarna. Dessutom plockades ytterligare 12 prover per stuka ut för att säkerställa eventuella skillnader.

Vid upptagning täcktes stukorna med duk (Toptex) för att förhindra regn att tränga in i stukan. Vid varningar om kallt väder skyddades även stukorna med en vindtät plast. Både den ventilerade stukan och referensstukan hanterades identiskt.



Figur 4. Fläktenhet installerad i en betstuka. I toppen av stukan syns temperaturspjuten.



Figur 5. Drönarfoto över en ventilerad och en referensstuka vid leveransdagen den 5 februari 2021.



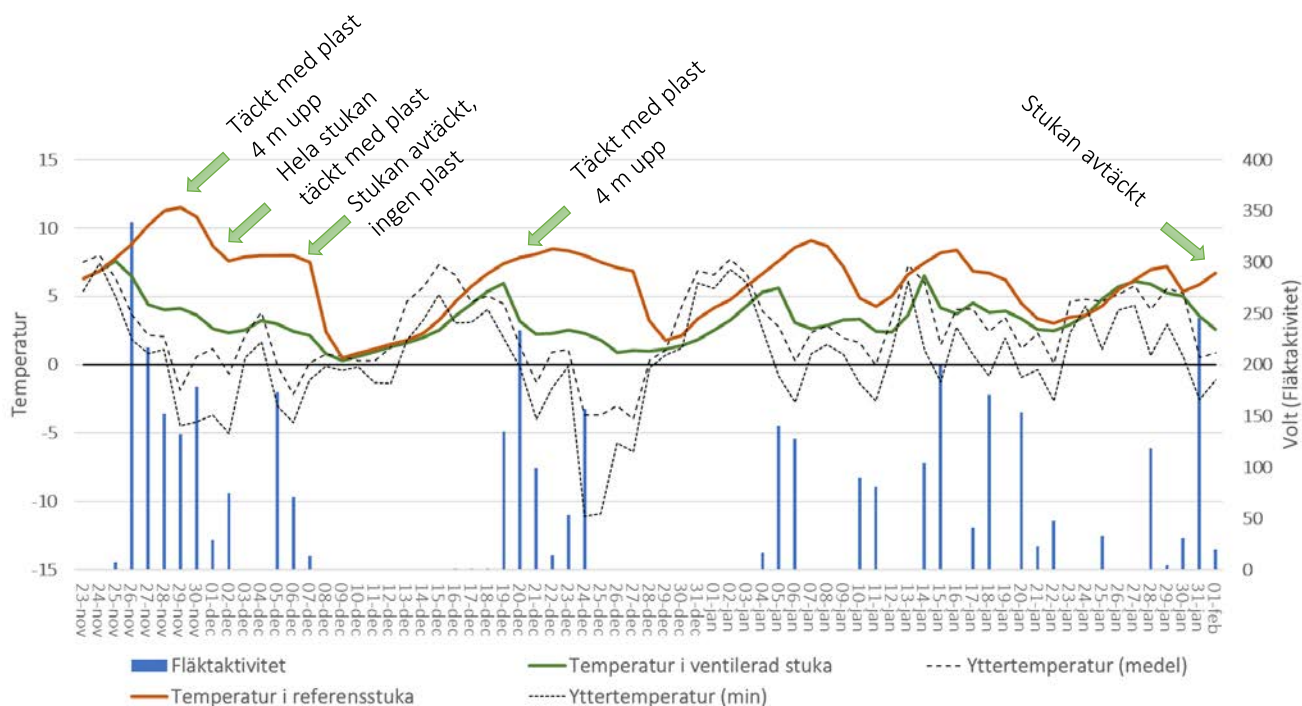
Figur 6. Bildserie över arbetet med inlagring och leverans.

Resultat

SOCKERBETOR

Temperatur och fläktaktivitet

Ett av huvudmålen i projektet var att minska antalet daggrader under lagringen genom aktiv ventilering och därigenom minska lagringsförlusterna. Temperaturmätningar från de två sista säsongerna, alltså de år då både rör och mjukvara var "färdigutvecklade" visar på ca 35% färre daggrader i de ventilerade stukorna jämfört med referensstukorna. I genomsnitt över fyra platser uppmättes 311 daggrader i de ventilerade stukorna och 474 daggrader i referensstukorna. Nedan visar temperaturgrafan från en av testplatserna 2021.



Figur 7. Temperatur och fläktaktivitet i sockerbetsstukan i Borgeby 2021. Fläkten var i drift i 97 timmar och förbrukade 232 kWh under säsongen.

Lagringsförluster sockerbetor

Ventileringen har i genomsnitt minskat sockerförlusterna från 12,4% till 10,3 vilket motsvarar en minskning på ungefär 17%. Effekten varierar dock kraftigt mellan år och mellan platser och sträcker sig från 3 till 22%. Skillnaden är signifikant för både sockerhalt och totala sockerförluster om man ser till genomsnittet. Gällande renheten så var det bara på en av platserna som ventileringen resulterade i en signifikant förbättring.

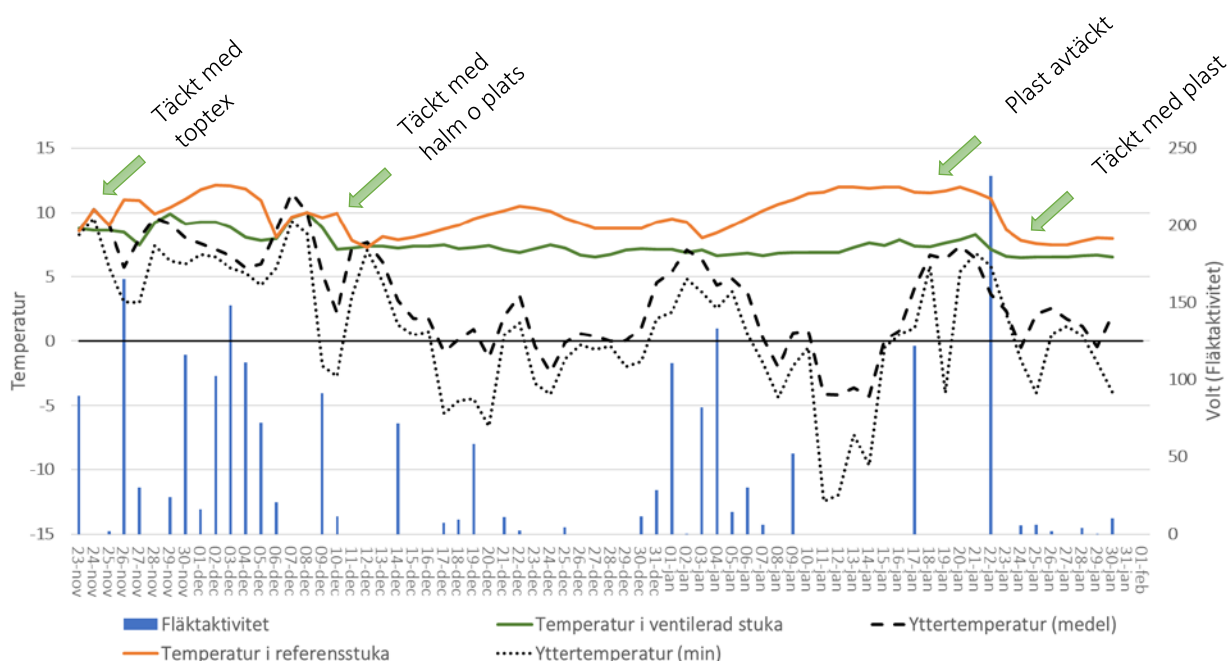
Tabell 1. Effekt av aktiv ventilering på sockerhalt, renhet och lagringsförluster i sockerbetor.

Ventilerad lagring	Temperatur	Dagar	Sockerhalt	Renhet	Lagringsförlust
Förklaring	Daggrader	i lager	Efter lagring	Efter lagring	Under lagring
Enhet	C	dagar	%	%	%
Referens Ädelholm 2020	497	90	17,11	83,96	14,2%
Ventilerad stuka, Ädelholm 2020	367	90	17,20	84,79	12,7%
P_värde			0,600	0,619	0,458
Referens Hamstadgården 2020	530	85	15,29	85,44	10,7%
Ventilerad stuka, Hamstadgården 2020	357	85	15,53	86,77	7,9%
P_värde			<0.05	<0.05	<0.05
Reference Alfahill 2021	423	89	17,76	91,80	6,9%
Ventilerad stuka, Alfahill 2021	290	89	17,89	91,93	6,7%
P_värde			0,339	0,757	0,868
Reference Borgeby 2021	445	73	15,86	87,43	17,6%
Ventilerad stuka, Borgeby 2021	229	73	16,46	89,01	13,8%
P_värde			<0.05	0,077	<0.05
Medeltal alla referensstukor	474	84	16,49	87,14	12,4%
Medeltal alla ventilerade stukor	311	84	16,74	88,12	10,3%
P_värde			<0.05	0,084	<0.05

STÄRKELSEPOTATIS

Temperatur och fläktaktivitet

Även fläkten och mjukvaran som styrde temperaturen i stärkelsepotatisstukorna har fungerat väl. Temperaturmätningar från de två sista säsongerna, alltså de år då både rör och mjukvara var "färdigutvecklade" visar på ca 21% färre daggrader i de ventilerade stukorna jämfört med referensstukorna. I genomsnitt över de båda åren uppmättes 581 daggrader i de ventilerade stukorna och 704 daggrader i referensstukorna. Nedan visar temperaturgrafan från testplatsen 2021.



Lagringsförluster stärkelsepotatis

Ventileringen har i genomsnitt minskat lagringsförlusterna från 10,8% till 6,3% vilket motsvarar en minskning på ungefär 42%. Effekten varierar dock kraftigt mellan år och mellan platser och sträcker sig från 18 till 70%. lagringsförlusterna var bara dock bara signifikant ett av åren. Mervärdet av de minskade lagringsförlusterna uppgår till i genomsnitt 1900 kr per 50 ton. Varken vikt-förlusterna eller renheten påverkades signifikant av ventileringen.

Tabell 2 Effekt av aktiv ventilering på stärkelsehalt, smutshalt och lagringsförluster i stärkelsepotatis.

Ventilerad lagring	Temperatur	Dagar	Stärkelsehalt	Smutshalt	Lagringsförlust
Potatis					
Förklaring	Daggrader	i lager	Efter lagring	Efter lagring	Under lagring
Enhet	C	dagar	%	%	%
Referens Borgeby 2020	740	73	20,4%	1,4%	9,5%
Ventilerad stuka, Borgeby 2020	643	73	21,7%	1,5%	2,8%
P_värde			<0,0001	0,843	<0.05
Referens Borgeby 2021	667	69	19,7%	5,6%	12,0%
Ventilerad stuka, Borgeby 2021	518	69	20,2%	4,8%	9,8%
P_värde			0,884	0,460	0,272
Medeltal alla referensstukor	704	71	20,0%	3,5%	10,8%
Medeltal alla ventilerade stukor	581	71	21,0%	3,2%	6,3%

Diskussion

Projektet har löpt på väl enligt den ursprungliga planen, speciellt med tanke på utvecklingen av rör, mjukvara och temperaturspjut. Resultaten som uppnåtts gällande temperatur i stukorna ligger också väl i linje med vad som förväntades innan projektet startade.

Gällande sockerbetorna har tyvärr inte lagringsförlusterna minskat i den omfattning som förväntats och som beskrivits i tidigare litteratur (Jaggard, Clark et al. 1997, Haagenson, Klotz et al. 2008) där man menar att lagringsförlusterna är direkt kopplade till antalet daggrader. Under lagringssäsongen 2021 halverades i stort sett antalet daggrader med hjälp av fläktutrustningen på Borgeby och Alfahill (Tabell 1). Trots detta gav ventileringen marginell skillnad på Alfahill och endast 22 % lägre förluster på Borgeby. Det tycks alltså vara så att ventileringen medför någon slags negativ effekt på lagringen som inte kan förklaras med temperatur. Det hade varit rimligt att anta att viktsförlusterna skulle vara högre i de ventilerade stukorna men så var inte fallet, utan snarare tvärt om (data ej visat). Vid ett Betpris på 330 kr per ton motsvarar minskningen i lagringsförluster som kan uppnås med fläkten i storleksordningen 7 kr per ton vilket inte betalar för merarbetet och kostnaderna som utrustningen medför.

Det kan också tilläggas att lagringsförlusterna var mer än dubbelt så stora på Borgeby jämfört med Alfahill. Det betyder att yttre faktorer så som jordart och sortval har betydligt större betydelse än lagringstemperaturen.

Gällande stärkelsepotatisen så gav åtminstone ett av åren tydliga positiva effekter av ventileringen. Här gav ventileringen närapå dubbelt så stor minskning i lagringsförluster som minskning i antalet daggrader. Men med tanke på att rören behöver placeras tätare i potatis och det faktum att en potatisstuka innehåller färre ton per meter täcker knappt mervärdet som ventileringen ger kostnaden för systemet. Så att så länge kampanjlängderna inte är längre och det går att lagra stukorna med halm och plast kommer det alternativet alltid vara enklare och billigare. Skulle priset stiga eller kampanjerna bli längre är det inte helt osannolikt att ventileringsystemet som utvecklats i detta projekt kan bli lönsamt. Baserat på ovanstående resultat har kommersialiseringen av systemet har därför inte genomförts enligt den plan som projektet hade från början.

Rapportering

Projektet har avrapporterats i tidningen betodlaren samt på odlarmöten. Projektet har även presenterats i posterform på IIRB:s 77 kongress i Mons i Belgien. Utöver det har projektet uppmärksammats i tidningen ATL där både en artikel och en film kring projektet presenterats. Projektgruppen har även fått förfrågan om att skriva en vetenskaplig artikel till den amerikanska tidsskriften Sugar Industry.

Referenser

Bugbee, W. M. (1982). "Storage rot of sugar beet." Plant Dis **66**: 871-873.

Downie, A. (1950). "cs, 1949 results of ventilated storage of sugar beets." Proc. Amer. Soc. Sug. B. Tech **6**: 640-641.

Draycott, A. P. (2008). Sugar beet, John Wiley & Sons.

Fugate, K. K., et al. (2016). "Cold temperature delays wound healing in postharvest sugarbeet roots." Frontiers in plant science **7**.

GADDIE, R. S. and B. TOLMAN (1952). "Large Scale Supplemental Ventilation of Sugar Beets Stored for 106 Days1." Proceedings of the ASSBT **7**: 644-648.

Haagenson, D. M., et al. (2008). "Impact of storage temperature, storage duration, and harvest date on sugarbeet raffinose metabolism." Postharvest biology and technology **49**(2): 221-228.

Huijbregts, T., et al. (2013). Long-term storage of sugar beet in North-West Europe, COBRI.

Jaggard, K., et al. (1997). "Changes in the weight and quality of sugarbeet (*Beta vulgaris*) roots in storage clamps on farms." The Journal of Agricultural Science **129**(03): 287-301.

Klotz, K. L. and F. L. Finger (2004). "Impact of temperature, length of storage and postharvest disease on sucrose catabolism in sugarbeet." Postharvest biology and technology **34**(1): 1-9.

Klotz, K. L., et al. (2006). "Wounding increases glycolytic but not soluble sucrolytic activities in stored sugarbeet root." Postharvest biology and technology **41**(1): 48-55.

Lafta, A. M. and K. K. Fugate (2009). "Dehydration accelerates respiration in postharvest sugarbeet roots." Postharvest biology and technology **54**(1): 32-37.

Liebe, S. and M. Varrelmann (2015). "Effect of environment and sugar beet genotype on root rot development and pathogen profile during storage." Phytopathology **106**(1): 65-75.

Olsson, R. (2011). "Sustainable harvest and storage of sugar beets." NBR report **611**(1): 34.

Olsson, Å. (2008). "Strategier för sort och platsval, upptagning och lagring vid sen leverans av sockerbetor 2007–2009." Nordic Beet Research Foundation **606-2006-2008**: 37.

Peto, F. (1952). Effect of Frost on Sugar Content in Beets. Proceedings, General Meeting-American Society of Sugar Beet Technologists, American Society of Sugar Beet Technologists.

Quamme, A. (1952). "Ventilation of storage beets by forced air." Proceedings Am. Soc. Sugar Beet Tech: 652-654.

Shaaban, M. S., et al. (2014). Modeling Heat Profile of Sugar Beet Pile During Storage Campaign. 2014 Montreal, Quebec Canada July 13–July 16, 2014, American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Stout, M. (1950). "Heat and moisture transfer studies in relation to forced ventilation of insulated columns of sugar beets." Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Tech **6**: 647-652.

Tabil, L. G., et al. (2003). "Airflow resistance of sugarbeet." Journal of sugar beet research **40**(3): 68.

Wiltshire, J. and A. Cobb (2000). "Bruising of sugar beet roots and consequential sugar loss: current understanding and research needs." Annals of applied biology **136**(2): 159-166.

Wyse, R. and R. Holdredge (1982). "A comparison of forced ventilation and natural convection as means of cooling sugarbeet storage piles in several geographic locations." J. Am. Soc. Sugar Beet Techno **21**: 235-246.

Wyse, R. E. (1978). "Effect of low and fluctuating temperatures on the storage life of sugarbeets." J. Am. Soc. Sugar Beet Technol **20**: 33-42.