



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Val av värmekälla till spannmålstorken

Choosing heat source for the grain dryer

Willi Petersson

Val av värmekälla till spannmålstorken

Choosing heat source for the grain dryer

Willi Petersson

Handledare: Universitetsadjunkt Torsten Hörndahl, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Forskare Sven Nimmermark, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 10 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G1E

Kurstitel: Examensarbete för lantmästarprogrammet inom lantbruksvetenskap

Kurskod: EX0619

Program/utbildning: Lantmästare - kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2016

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: värmekällor, spannmålstork, värme, tork, spannmål, värmeteknik.



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

FÖRORD

Lantmästar- kandidatprogrammet är en tre årig universitetsutbildning där det går att ta ut en lantmästarexamen efter andra året (120 hp) och en kandidatexamen efter tredje året (180 hp). En av de obligatoriska delarna i denna är att genomföra ett eget arbete som ska presenteras med en skriftlig rapport och ett seminarium. Detta arbete kan t.ex. ha formen av ett mindre försök som utvärderas eller en sammanställning av litteratur vilken analyseras. Detta arbete är gjort efter andra året. Arbetsinsatsen ska motsvara minst sex veckors heltidsstudier (10 hp).

Jag har själv varit intresserad av värmekällor till spannmålstorkar och ville därför undersöka hur valet av värmekällan motiveras.

Ett varmt tack riktas till Martin Thorsson på AB Akron-maskiner, Kenneth Dahlqvist på Kosan gas AB och Torsten Hörndahl som har bidragit med information.

Forskare Sven Nimmermark har varit examinator.

Alnarp maj 2016

Willi Petersson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	5
1. INLEDNING	6
1.1 BAKGRUND	6
1.2 SYFTE	6
1.3 FRÅGESTÄLLNING	6
1.4 AVGRÄNSNING	7
2. LITTERATURSTUDIE	8
2.1 TORKANLÄGGNINGAR	8
2.1.1 SATSTORK	9
2.1.2 KONTINUERLIG TORK	10
2.1.3 TORKNING I RUNDSILO	11
2.2 VÄRMEKÄLLOR	12
2.2.1 GASBRÄNNARE	13
2.2.2 OLJEBRÄNNARE	14
2.2.3 HALMPANNA	15
2.2.4 FLIS- OCH PELLETSBRÄNNARE	16
2.2.5 ALLMÄNT, VÄRMEKÄLLOR	18
3. MATERIAL OCH METOD	20
4. RESULTAT	22
4.1 VÄRMEKÄLLOR	22
4.2 TRÖSKKAPACITET	24
4.3 SITUATIONSPLANER	24
5. DISKUSSION	30
6. REFERENSER	32
6.1 SKRIFTLIGA	32
6.2 MUNTliga	34
BILAGOR	35

SAMMANFATTNING

I examensarbetet jämförs olika typer av värmekällor till spannmålstorkar och om dessa är lämpliga i kombination med de vanligaste konventionella varmluftstorkarna. Kostnader per effektiv kWh (nettoenergi till torkning) finns uträknat för de olika värmekällorna. Även uträkningar av uppskattad arbetsåtgång och arbetskostnad finns med i arbetet.

Vid utbyggnation av spannmålstork är valet av värmekälla viktigt. Dagens utbud av varmluftstorkar är stort och även kombinationerna av värmekällor till dessa är många. För att kunna göra valet av värmekälla är det många faktorer som spelar roll. Några av dessa är bränslepriset och arbetsinsatser under drift. I arbetet har jag använt gården Klakeborg som exempelgård för mina uträkningar. Exempelgården är i behov av att bygga en större spannmålstork. Om utbyggnation av torken sker kommer inte den befintliga halmpannan att täcka värmebehovet. Därför behandlar detta examensarbetet frågeställningen:

- Ska exempelgården Klakeborg fortsätta med halm eller finns det andra, bättre alternativ?

Uträkning av effektbehovet (kW) under torkning måste göras för att kunna dimensionera värmekällan och i sin tur också välja typ av värmekälla. I exempelgårdens fall är möjligheten för lagring av våt spannmål mycket begränsad. Därför är dimensioneringen av värmekällan uträknad för att hinna torka spannmålen i takt med tröskan. För exempelgården innebär detta att en värmekälla med en effekt på minst 1310 kW måste finnas. Eftersom det redan finns en halmpanna på 350 kW, måste 960 kW byggas till.

Det finns två tumregler när det gäller val av värmekälla enligt Nilsson (2001):

- Värmekällor som har en hög investeringskostnad men ett lågt bränslepris används till gårdens basvärmebehov. T.ex. uppvärmning av byggnader m.m.
- Värmekällor som har en låg investeringskostnad men ett högt bränslepris används vid värmebehovets toppar. T.ex. kompletterande värme till spannmålstorken.

Eftersom den nya värmekällan enbart ska tillgodose torken blir svaret på min frågeställning att exempelgården ska behålla sin halmpanna för uppvärmning av gårdens basbehov och bygga till en gasbrännare för att tillgodose den nya torkens värmebehov. För en gård med liknande förutsättningar som exempelgården, men utan befintlig värmekälla kan fliseldning vara intressant.

SUMMARY

There are many options when it comes to choosing heat source for the grain dryer. Some of the heat sources may not be optimal for certain types of grain dryers. This study compares different types of heat sources and also if they are compatible with some of the most common types of grain dryers.

Choosing a heat source is not always easy. You need to look at the individual farm conditions before you can make a choice. Some of the important factors are: fuel prices, fuel availability, use of the heat source, and required work effort.

In this study I have used the farm Klakeborg as model for my calculations in order to be able to calculate the heating power needed. Klakeborg is using straw for heating the grain dryer today. There are plans to increase the drying capacity with a new grain dryer on the farm. The current heat source is already running on maximum capacity. The farm therefore needs to invest in a new heating source if they build a new grain dryer. The key question of this study is:

- Should Klakeborg continue with straw for heating or are there any other, better options?

The possibility to store non-dried grain is very limited on the farm. Therefore, the calculations to design the heat source is based on the capacity of the combine harvester. In this case it needs an additional heating source with a capacity of 960 kW since there is already a heater of 350 kW for the existing dryer.

According to Nilsson (2001) an expensive heat source which uses low price fuel can be a good option for basic heating. A heat source with lower investment costs but with higher fuel price can be used for a shorter period of time.

My conclusion of this study is:

The farm should keep the current straw heater to maintain the farm during the whole year and invest in heating with gas during grain drying. For farms having the same conditions as Klakeborg except that they do not have an existing heat source, investment in a heating system for burning wood chips can be interesting.

1. INLEDNING

Allt fler gårdar har idag egna anläggningar för torkning av spannmål. Majoriteten av dessa torkar är s.k. varmluftstorkar. Dagens utbud av olika typer av varmluftstorkar är stort och även alternativen av värmekällorna till dessa är många. Därför kan det vara svårt att vid byggnation/tillbyggnation av en torkanläggning välja rätt kombination av värmekälla och typ av tork. För att reda ut detta bör man känna till vilken typ av värmekälla som är det bästa alternativet för en viss typ av tork eftersom även bränslepris och arbetsåtgång påverkar valet, d.v.s. är då bästa valet att vid en utbyggnad bygga en likadan panna eller är det bättre att installera ett annat system för att tillgodose det ökade värmebehovet? Denna studie kommer att handla om kompatibilitet mellan de olika värmekällorna/torkarna och om kostnader kring de olika värmekällornas drift.

1.1 BAKGRUND

Exempelgården är i stort behov av att bygga ut torkanläggningen för spannmål då den befintliga har blivit för liten i takt med att gården utvecklats. Den befintliga torken värms upp med en halmeldad panna med en effekt på 350 kW (pers. medd., Pettersson, 2016). Då det planeras att bygga en ny tork på gården, väcktes intresset för vilken kombination av värmekälla och tork som skulle vara bästa alternativet. Framförallt vill jag undersöka om det är lönsamt att fortsätta med halm för uppvärmning av torken.

1.2 SYFTE

Syftet med detta arbete är att jämföra olika typer av värmekällor med avseende på driftskostnad och arbetsbehov för värmekällor till de vanligaste typerna av torkar på marknaden. Målet är att undersöka om det ur detta perspektiv är värt att använda en anläggning med halmeldning som värmekälla på exempelgården efter en utbyggnation.

1.3 FRÅGESTÄLLNING

Ska exempelgården Klakeborg fortsätta med halm eller finns det andra, bättre alternativ?

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Denna studie kommer att lägga fokus på olika värmekällor och även innehålla en övergripande beskrivning av de olika typerna av varmluftstorkar. De torktyperna jag valt att beskriva är kontinuerlig tork, satstork och torkning i rundsilo. Beräkningar för värmebehov och torkkapacitet kommer att grundas på exempelgården Klakeborgs tröskkapacitet och genomsnittliga avkastning. Lagring av spannmål kommer inte att tas med, inte heller spannmålsdepåernas torkavgifter. Specifika priser på investeringskostnader tas inte heller upp då det kan skilja sig stort mellan olika typer av fabrikat, storlek m.m.

2. LITTERATURSTUDIE

För att hålla god kvalitet på spannmål finns det olika metoder för att göra den lagringsduglig: gastät lagring, kylning, syrakonservering eller torkning av spannmålen. Torkning av spannmålen är den vanligaste förekommande åtgärden i världen (Brooker et al. 1992).

Det mest avgörande vid spannmålstorkning är den omgivande luftens fuktighet. Ju torrare luften omkring är, desto mer fukt klarar den att bära (tvinga ut ur kärnan) (Svedinger et al. 1995). Under torkningsprocessen bär den omgivande luften med sig fukten från kärnan, om luftens ångtryck är lägre än kärnans kapillära tryck. Den omgivande luften och kärnan försöker alltså uppnå en balans. Denna beskrivna process är långsam och sker bara i kallluftstorkar. I varmluftstorkar används en större mängd luft och då hinner inte luften nå jämvikt med spannmålen (Jonsson, 2006). Eftersom varmluften har låg relativ luftfuktighet, och fuktens transporthastighet ut ur kärnan ökar med högre temperatur, kommer luften ändå att dra ut den lättillgängliga fukten ur kärnan (Svedinger et al. 1995).

När spannmålen skördas bör den om möjligt hålla en vattenhalt på ca 20 % eller lägre för att inte orsaka alltför höga torkkostnader. Ska spannmålen lagras en längre tid måste vattenhalten ner under 14 % annars kommer den att mögla (Brooker et al. 1992). Ska den däremot bara lagras över vintern vid en lägre temperatur, t.ex. till djurfoder, kan man acceptera en högre vattenhalt. Spannmål med en vattenhalt mellan 16,5 – 18,5 % kan lagras säkert i 3 – 18 månader om dess temperatur hålls mellan 3 – 10 °C (Brooker et al. 1992).

2.1 TORKANLÄGGNINGAR

I Sverige torkas den mesta spannmålen i varmluftstorkar (ca 80-90%) enligt Jonsson (2006). Vid val av tork bör man tänka på hur det ser ut volymmässigt på gården i dagsläget.

Det finns två arbetssätt för konventionella spannmålstorkar: kontinuerlig tork och satstork. Den kontinuerliga torken fylls, torkar, kyler och töms kontinuerligt. Satstorken torkar i sats och där görs dessa moment var för sig.

2.1.1 SATSTORK

Huvudprincipen går ut på att man torkar ett parti spannmål åt gången i s.k. satser. Tid för torkning och kylning kan styras med en timer. Tiden för torkning och kylning beror på spannmålets vikt, vattenhalt och med vilken temperatur torken körs. När torkningen är klar kyls spannmålen och torken töms för att sedan fyllas på med en ny sats. Det är vanligt att man har en dubbelsatstork, där man har båda torkarna kopplad till samma panna. När en av torkarna är färdig och börjar kyla, startar den andra med torkningen. På så vis får man inget avbrott i torkningen vid tömning/påfyllning (Jonsson, 2006).

En satstork kan vara konstruerad för både stillaliggande och cirkulerande spannmål. I en satstork med cirkulerande system, tas spannmålen ut ur torken i botten och förs via en elevator upp i toppen på torken igen under själva torkningsprocessen (Jonsson, 2006).

Den vanligaste typen av satstork är den där luften går genom schakt eller v-formade balkar. Dessa typer av torkar använder sig av tvärströmmande luft eller s.k. mixflöde (Jonsson, 2006).

Fördelen med en satstork är att det är en relativt billig investering eftersom det inte krävs särskilt mycket utrustning i anslutning till torken. Det är i princip en värmekälla, själva torken och en elevator för tömning/påfyllning som behövs. En annan fördel är att det enkelt går att torka mindre partier eftersom det går att växla om spjällen till varmluften i torken och på så vis köra torken även om den inte är helt full. En nackdel är att det är mer arbetskrävande än kontinuerlig torkning om man inte har en automatisk satsväxlare (Akron, 2016a).

Samtliga värmekällor fungerar bra till en dubbelsatstork. Dock är det inte helt optimalt att använda sig utav en halmpanna till en enkel satstork. Det beror på att det tar längre tid för en halmpanna att komma upp i temperatur inför torkning. Det tar även lång tid att få pannan att kylas ner inför kylningen av spannmålen: då den använder samma fläkt för att kyla såväl som att torka spannmålen förlänger detta hela torkprocessen. Samma sak gäller för flis och pellets pannor om dessa drivs med vattenburen värme. Detta gäller inte för varmluftspannor. Det kan dock fungera med halm för uppvärmning om varmluften värms indirekt via varmvattenbatteri. Finns en magnetventil eller en shuntgrupp på varmvattenbatteriet som stoppar tillflödet av varmvattnet, minskar nedkylningstiden (pers. medd., Thorsson 2016).

2.1.2 KONTINUERLIG TORK

En kontinuerlig tork fungerar på så vis att den beräknar vilken vattenhalt spannmålen i torken håller. Torken fylls på med spannmål i toppen i en s.k. sjunkzon. Allteftersom spannmålen torkas krymper volymen på spannmålen i torken. Torken fylls sedan på automatiskt i sjunkzonen. I mitten av torken är den s.k. torkzonen, där torkas spannmålen för att sedan ta sig ner i kylzonen för kylning innan torken töms. Torken töms från botten och släpper då bara ut en liten del i taget. Torkar utan vågceller töms med ett visst tidsintervall. Eftersom torken fylls och töms lite hela tiden kallas den för kontinuerlig tork (Jonsson, 2006).

Fördelen med denna typ av tork är att det går att torka större partier under en kortare tid. En kontinuerlig tork har en högre torkkapacitet i kg H₂O/ton eftersom den både torkar, kyler, tömmer och fyller på spannmålen samtidigt. Här slipper man alltså uppehållet i torkningen som uppstår vid tömning och fyllning i en satstork (pers. medd., Pettersson, 2016).

Den kontinuerliga torken är inte särskilt arbetskrävande då den oftast är helautomatiserad med fyllning och tömning. En nackdel med systemet är att det är en relativt dyr investering eftersom det kräver flera komponenter, t.ex. automatiska spjäll, en större våtficka, en elevator för tömning och en elevator för påfyllning samt en ficka där den färdigtorkade spannmålen ska lagras (Akron, 2016b).

Samtliga värmekällor fungerar bra att använda till en kontinuerlig tork, det är ingen större skillnad att använda sig av de olika systemen (pers. medd., Thorsson 2016).

2.1.3 TORKNING I RUNDSILO

Torkning kan även ske i en s.k. rundsilo med omrörning, som placeras utomhus. Spannmålen fylls i lager om ca 1.5 m åt gången medan varmluft blåses in genom den perforerade plåten i golvet. Direkt under inloppet sitter det en spridare som fördelar spannmålen jämnt i silon. Under påfyllningens gång körs omrörningsskruvarna som lyfter spannmålen nära botten i silon upp till toppen. Spannmålen blandas då runt eftersom de kärnor som ligger överst dras nedåt vid omrörningen. När omrörningen sker lyfts spannmålen och det kommer in luft mellan kärnorna, vilket ökar torkeffekten med ca 10 % under omrörning. Det är viktigt att inte röra om för mycket i en rundsilo eftersom fröskal tenderar att dras ner till botten och stanna kvar där och på så vis försämra luftflödet. Ren vara är därför av stor vikt i detta system. Temperaturen på tillskottsvärmen i en rundsilo bör ligga runt 40-60 °C. Efter torkning kopplas värmekällan bort och spannmålen kyls med samma fläkt som den torkades med (Brooker et al. 1992).

Fördelen med detta torksystem är att det blir en jämn kvalitet på partiet genom omrörningen och stora kvantiteter kan lastas in och torkas under kort tid. Blandningen blir i stort sett homogen utom i botten eftersom skruvarna inte går hela vägen ner (Brooker et al. 1992).

Rundsilos kan ha många typer av värmekällor vid torkning, t.ex. oljebrännare, varmvattenbatteri eller gasbrännare (Sukup, 2015).

Det bör tilläggas att torkning i rundsilo hamnar någonstans mitt emellan det som karaktäriseras som varmluftstork respektive kalluftstork då den körs med lägre temperatur än vanliga konventionella varmluftstorkar (Jonsson, 2006).

2.2 VÄRMEKÄLLOR

Vid val av värmekälla finns det många olika faktorer att tänka på. En av dessa är om den kan användas till något annat resterande del av året, då det ej torkas spannmål. Om det t.ex. redan finns en värmekälla på gården, kan man om möjligt låta den nya gå maximalt under torkning och låta den befintliga värmekällan komplettera den nya. När det inte är säsong för torkning kan den befintliga värmekällan sköta gårdens övriga värmebehov medan den nya är avstängd. En kombination av gårdens basbehov och torkens behov av värme är bra att tänka på inför valet av värmekälla (pers. medd., Thorsson 2016). Vad som också kan vara bra att ha i åtanke är att det är förbjudet i Sverige att använda sig av direktverkande värme i en spannmålstork, d.v.s. att torken värms direkt av rökgaserna från värmeanläggningen. Därför måste värmen växlas till friskluft eller vatten. Undantaget från detta är gasbrännare, där det är tillåtet att värma med rökgaserna (Jonsson, 2006).

Värmekällorna kan i huvudsak delas in i två grupper: varmluftspanna och vattenburen värme. En varmluftspanna värmer upp uteluft i rör som går genom förbränningsrummet. Den varma luften blåses sedan in i torken. Vattenburen värme fungerar på ungefär samma sätt men där värmer rökgaserna och flammen upp en vattentank, det varma vattnet växlas sedan över till luft via ett varmvattenbatteri och den varma luften blåses in i torken. Fördelen med vattenburen värme är att den är lätt att transportera längre sträckor via kulvert. Värmeanläggningen behöver då nödvändigtvis inte stå i nära anslutning till torken (pers. medd., Thorsson 2016).

Har gården ett uppvärmningsbehov i övrigt, är det lämpligt att använda vattenburen värme. Ska anläggningen däremot endast användas vid skörd är vattenburen värme ett sämre alternativ eftersom pannan då måste tömmas på vatten inför vintern eller eldas ändå för att hålla systemet frostfritt. En varmluftspanna är frostfri även när den inte är i drift, utan åtgärder (pers. medd., Thorsson 2016).

Värmeförlusterna i en nedgrävd kulvert är lägre än i rör som ligger ovan jord. Dessa uppskattas till ca 10-25 W/m i en nedgrävd kulvert under vintern (Nilsson, 2001).

Det finns två tumregler när det gäller val av värmekälla enligt Nilsson (2001):

- Värmekällor som har en hög investeringskostnad men ett lågt bränslepris används till gårdens basvärmebehov. T.ex. uppvärmning av byggnader m.m.
- Värmekällor som har en låg investeringskostnad men ett högt bränslepris används vid värmebehovets toppar. T.ex. kompletterande värme till spannmålstorken.

2.2.1 GASBRÄNNARE

Som tidigare nämnts är gasbrännare den enda tillåtna typen av värmekälla för användning av rökgaserna för direkt uppvärmning. Effekten av detta är att det inte sker några värmeväxlingsförluster. Att värma direkt med rökgaser sparar mellan 10 – 15 % energi jämfört med värmeväxlande system (Jonsson, 2006). Därför blir en gasbrännare i direkt anslutning till torken mer energieffektiv (pers. medd., Dahlqvist 2016). Nackdelen med gasbrännare (med gasol) är kraven för att få bygga och driva en gasolvärmeanläggning, då det krävs att man har en särskild utbildning. Investeringskostnaden i en gasbrännare är relativt låg, men bränsletanken hyrs i normala fall från gasleverantören (pers. medd., Thorsson 2016). Verkningsgraden på en gasolbrännare är ca 98 % (VVS Företagen, u.å.). Gasol 50/50 har ett effektivt värmevärde på ca 46,1 MJ/kg vilket för gasol i vätskefas vid 15 °C innebär ca 25 000 MJ/m³ (Preem, 2015). För effektiva värmevärden se även tabell 1.

Det finns två typer av gasbrännare: atmosfärgasbrännare och fläktbrännare. I en atmosfärgasbrännare sugas förbränningsluften in i förbränningsröret precis innan flamman tack vare det vakuum som uppstår i röret vid förbränning. Där blandas den med gasen. Gasen förs in i röret tack vare det rådande trycket i gasledningen. Vid förbränningen tänds gasen längst ut på röret i förbränningsmunstycket. En fläktbrännare är lite mer invecklad då den har en fläkt som tryckstegrar förbränningsluften in i röret, vilket gör att förbränningen blir mer effektiv. I en fläktgasbrännare kan luften och gasen blandas på olika sätt (Enberg, 2008).

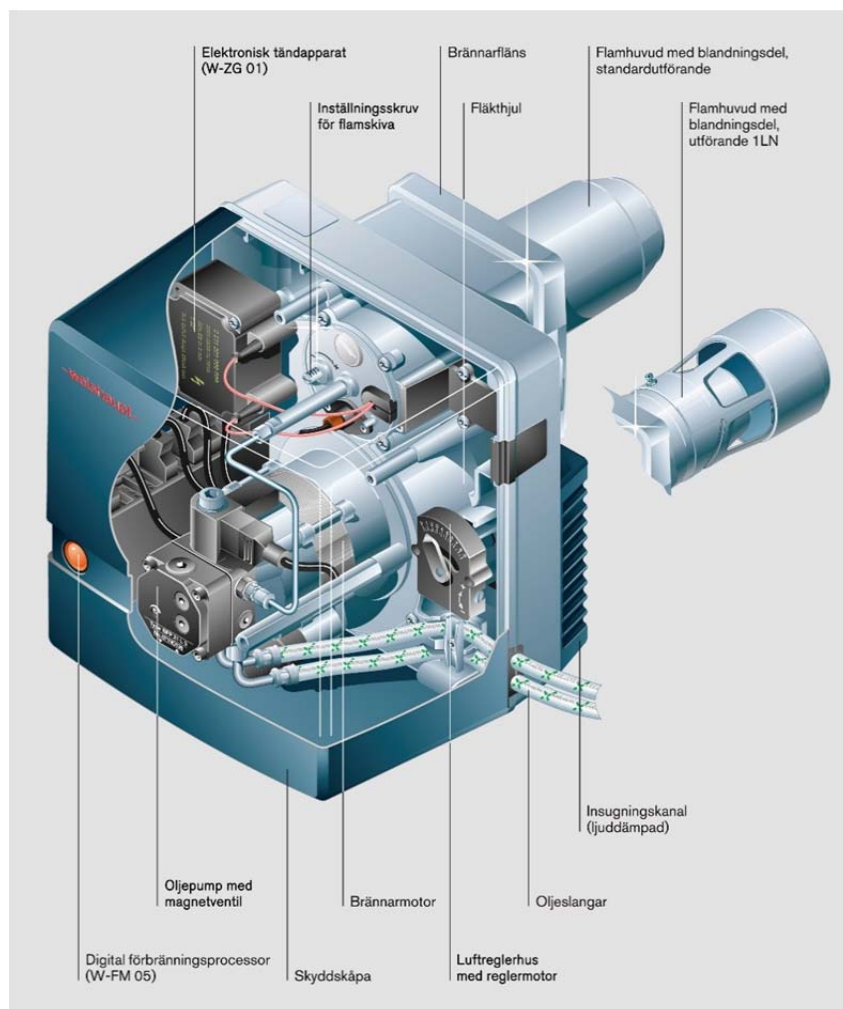
En gasbrännare kan utrustas med flera steg där mer än ett brännarmunstycke är monterat. På så sätt kan effekten styras genom att olika steg kopplas in vid olika tillfällen (Cimbria, 2016). Tack vare det och gasens höga värmevärde blir gasbrännarens temperaturprecision hög (Tornum, u.å.).

En gasbrännare drivs av antingen naturgas eller gasol. Valet av bränsle beror på tillgängligheten i det område man bor. I Östergötland finns inte naturgasledning och då är det kvarstående alternativet gasol. Gasol är en restprodukt vid framställning av olja och därför är priset på gas hårt bundet till priset på olja. Lågt oljepris innebär lågt gaspris och vice versa (pers. medd., Thorsson 2016). Innehållet i gasolen är en blandning av propan och butan (Preem, 2015).

Eftersom gasbrännaren sköter sig själv via automatik, krävs mycket liten arbetsinsats.

2.2.2 OLJEBRÄNNARE

En oljebrännare fungerar i stort sett likadant som en gasbrännare förutom att den har ett annat insprutningsmunstycke. Oljan pumpas in via ledningen med en pump och sedan blandas luft och bränsle i munstycket innan flamman. Flamman tänds med en elektronisk tändapparat (se figur 1 nedan).



Figur 1. Illustration av oljebrännare, modell WL5 från Weishaupt, där uppbyggnaden framgår. (Weishaupt GmbH, u.å.)

Eftersom oljebrännaren sköter sig själv via automatik, krävs ingen egen arbetsinsats.

En modern oljebrännare har idag en verkningsgrad på ca 90 % (Energirådgivningen, 2015a). Det effektiva värmevärdet i eldningsolja E10 är ca 36 000 MJ/ m³ (Preem, 2014). För effektiva värmevärden se även tabell 1.

2.2.3 HALMPANNA

Intresset för halm som bibränsle väcktes på 70-talet under den första oljekrisen. Danmark satsade stort på halmeldade gårdspannor. I Sverige var vi lite sena med halmpannor p.g.a. att det i Sverige finns stor tillgång på skog och därför satsades det mer på vedeldning på landsbygden. I tätorter satsades mer på eluppvärmda villor före och efter oljekrisen då energipriset var lägre (Nilsson, 2001).

Att elda med halm istället för ved ställer också till en del problem. Ett vanligt problem i pannan är att halmen skapar avlagringar som fräter på förbränningskammarens yta när askan smälter, s.k. sintring. Halmen har en hög askhalt, ca 3 - 5 % av kg TS, vilket i kombination med askans låga smältpunkt, ca 900 – 1400 °C, orsakar hög sintring. Därför fanns det problem med att äldre pannor rostade sönder. På senare år när utvecklingen och hållbarheten av pannorna förbättrats, har dessa gårdspannor blivit alltmer populära även i Sverige (Nilsson, 2001).

Det finns i huvudsak två typer av halmpannor. I den vanligaste panntypen ställs hela halmbalar direkt i förbränningskammaren. I denna typ av panna går det även att elda andra bränslen, t.ex. ved. Under eldning blåses luft in av en fläkt via luftspjäll för att få en så effektiv förbränning som möjligt. Ovanpå förbränningskammaren förs röken ut via rökrör, som värmer upp en vattentank ovanpå dessa. Varmvattnet pumpas sedan via rör till ett vattenbatteri där torkfläkten växlar över värmen till varmluft (Nikolaisen et al. 1998). Om halmpannan har en stor ackumulatortank, hålls jämnare temperatur under längre tid (pers. medd., Thorsson 2016).

Den andra mindre vanliga typen av halmpanna fungerar på det vis att balarna ställs upp på ett avlastarbord kopplad till en rivanordning. Efter att balen rivits sönder skruvas den in i förbränningskammaren. Det är vanligt att denna typ av panna är en varmluftspanna. Då värmer rökrören upp uteluft istället för en vattentank (Nikolaisen et al. 1998).

En halmeldad panna har en verkningsgrad på ca 77-82 % (Nikolaisen et al. 1998). Det effektiva värmevärdet i halm (stora fyrkantsbalar) är ca 2 500 MJ/m³ (Agriwise, 2009-11-26) (Bioenergiportalen, 2013). För effektiva värmevärden se även tabell 1.

2.2.4 FLIS- OCH PELLETSBRÄNNARE

I en panna för flis- och pelletsbränning skruvas förbränningsmaterialet (flis eller pellets) från någon typ av ficka eller buffertanordning in i pannans förbränningskammare. Medan materialet brinner upp matas det med ett kedjeband vidare till en skruv som skruvar ut askan ur förbränningskammaren. Förbränningen sker via kontinuerlig påfyllning i förbränningskammaren (Serup et al. 1999).

I en s.k. varmluftspanna leds rökgaserna genom rökrör vidare ut till skorstenen efter förbränningen. Runt rökrören blåses friskluften, som värms upp av rören, motströms. Eftersom rökgaserna i rören svalnar av detta, blåses röken ut med hjälp av en rökgasfläkt. En flispanna kan även konstrueras så att den värmer upp vatten istället för luft (Akron, 2016c).

Vid förbränning av fuktigare flis kan det vara bra att använda sig av en s.k. förugn. Den fungerar i korthet så att man låter förgasningen av bränslet ske utanför själva pannan. Flisen eldas i en separat behållare och elden/rökgaserna blåses sedan in i själva pannan bredvid. På så vis uppnås den högre temperaturen som krävs för att få en effektiv förbränning av den fuktigare flisen (Nilsson, 2001).

En flispanna är den dyraste anläggningen av de olika värmekällorna. Anläggningar för pellets är lite billigare. Det högre priset på anläggningen kompenseras av att flisen i normala fall är ett billigt bränsle. Enligt Thorsson (pers. medd., 2016) räknas det normalt med att en flisanläggning ska ha betalat sig efter 7-8 år. Flispannan är mer arbetskrävande än pelletspannan, bl.a. då man i många system måste fylla på flisbehållaren med lastmaskin eftersom flisen varierar mycket i storlek. *''Tycker man om att köra lastmaskin är flispannan ett bra alternativ''* som en försäljare uttryckte det (pers. medd., Thorsson 2016). (se figur 2 och 3)

Pellets kan transporteras med skruvtransportör. En pelletsbrännare kan därför hämta bränslet med skruv från en silo som lastbilar fyller. Används en pelletsbrännare krävs mycket liten egen arbetsinsats.

Automatiska flis/pellets pannor har en verkningsgrad på ca 85-92 % medan manuella pannor ligger något lägre (Serup et al. 1999). Värmevärdet i pellets är ca 9 200 – 12 000 MJ/m³ (Hadders, 1999). Värmevärdet i torrflis är ca 3 200 MJ/m³ vid en vattenhalt på ca 35 % (Bioenergiportalen, 2013). För effektiva värmevärden se även tabell 1.



Figur 2. Helautomatisk flispanna kallad Chip Burner från Tornum AB. (Publiceras med tillstånd av Tornum AB)



Figur 3. Luckan öppen för påfyllning från sidan av en helautomatisk flispanna kallad Chip Burner från Tornum AB. (Publiceras med tillstånd av Tornum AB)

2.2.5 ALLMÄNT, VÄRMEKÄLLOR

Det är många faktorer som spelar in i valet av värmekälla till en spannmålstork. För att få en så ekonomiskt och praktiskt försvarbar anläggning som möjligt måste alla dessa faktorer vägas in i motiveringen. I figur 4 visas några exempel kring hur man bör tänka i samband med valet av värmekälla.



Figur 4. Det är många faktorer att ha i åtanke vid val av värmekälla.

När man eldar med halm måste bortföringen av halmens påverkan på åkermarkens mullhalt beaktas. En normal mullhalt i åkermarken är ca 3 – 5 %. Håller åkermarken denna mullhalt kan halmen bärgas någon gång i växtföljden utan att föras tillbaka. Har man däremot låg mullhalt (3 % eller lägre) kan det vara katastrofalt att bärga all halm utan att återföra den t.ex. i form av stallgödsel. Vid odling av fånggrödor eller vall i växtföljden är det möjligt att bärga halm oftare (Nilsson, 2001).

Generellt sett är investeringskostnader för de olika pannanläggningarna från dyrast till billigast: flispanna, pelletspanna, halmpanna (gårdspanna där hela balar lastas in), gasbrännare och oljebrännare. Flispannan är dyrast p.g.a. att flisens storlek varierar och

kräver därför mer teknik vid automatisering. Pellets pannan är något billigare p.g.a. att pellets har jämnare storlek och är därför lättare att automatisera med billigare teknik. Halmpannan har en enklare konstruktion för förbränning än flis- och pellets pannor. Gasbrännaren har en mycket enkel konstruktion, däremot blir denna anläggning lite dyrare än oljebrännaren p.g.a. de högre kraven som ställs på bränsletanken (pers. medd., Thorsson 2016).

Bränslekostnaden för de olika panntyperna är varierande och flis och ved är billigt medan eldningsoljan är dyrast. Flis är billig p.g.a. god tillgång på massaved i landet medan pellets ligger högre i pris p.g.a. pelleteringsprocessen. Halm är en billig råvara, men priset per effektiv kWh (nettoenergi till torkning) höjs p.g.a. det låga värmevärdet och pannans lägre verkningsgrad. Gaspriset följer oljepriset då det är en restprodukt från oljeutvinningen. Det som gör gasen billigare än oljan är det höga värmevärdet och pannans höga verkningsgrad tack vare direkt uppvärmning med rökgaserna (pers. medd., Thorsson, 2016). Vid eldning av flis och halm tillkommer kostnader för maskin och arbete. Vid användning av nedgrävd kulvert tillkommer en kostnad för värmeförluster på ca 10-15 W/m under vintermånaderna (Nilsson, 2001).

Tabell 1 nedan visar effektiva värmevärden för olika typer av bränslen per ton. Detta för att kunna räkna ut hur mycket av ett specifikt bränsle det behövs för att täcka värmebehovet.

Tabell 1. *Effektiva värmevärden. (Bioenergiportalen, 2013-05-31; Agriwise, 2009-11-26; Preem, 2014-11-26; Preem, 2015-08-21)*

	Densitet kg/m ³	Värmevärde MJ/kg	Värmevärde MJ/m ³	Värmevärde MWh/ton
Eldningsolja E1	840,00	42,80	35 952	11,9
Gasol Blandgas 50/50	538*	46,1	-	12,8
Halm Storbäl, Fyrkant	170	14,40	2 448	4,00
Ved bland. Stock	-	13,80	-	3,80
Torrflis	270**	12,00**	3 240**	3,3**
Träpellets	550 - 700	16,80	9 240 - 11 760	4,70

* Vid 15 °C (vätskefas)

** Vid ca 35% vattenhalt

3. MATERIAL OCH METOD

Litteraturen till detta arbete har jag främst hittat i SLU-bibliotekets databas Primo. De sökmotorer på internet jag använt mig av är google scholar och den vanliga google sökmotorn. De sökord jag använt mig av är spannmålstorkning, värmekällor och gårdspannor. Min handledare har även tipsat om litteratur inom teknik och byggnadskonstruktion. Priser och praktiska uppgifter har kommit från muntliga källor inom branschen, dels via säljare och dels via Stig-Åke Pettersson som driver gården Klakeborg idag.

I arbetet har jag använt gården Klakeborg som exempelgård. Exempelgården ligger placerad utanför Skänninge mitt på Östgötaslätten. Huvudfokus för gården ligger i att göda mjölkkrastjurar till slakt och därmed odlas mycket spannmål på gården. På gården är det idag mycket begränsad möjlighet att lagra spannmålen våt. Därför bör den nya torken klara av att hålla jämn takt med tröskan. I dagsläget brukas ca 450 hektar åkermark varav ca 330 hektar är spannmålsgrödor. De spannmålsgrödor som odlas är främst vete, korn, åkerbönor och höstraps. Areal- och skördemässigt är vetet den största grödan på gården. Totala skörden av vete uppskattas till ca 1 350 ton på ca 150 hektar under en skördeperiod på ca 2 veckor (pers. medd., Pettersson, 2016). Därför har jag i beräkningarna kring torkkapaciteten valt att beräkna värmebehovet efter denna gröda.

På exempelgården används det idag en 35 fots rotortröska med en kapacitet på ca 3 ha/h. I kapaciteten ingår tid för flytt mellan fält och fördröjningar p.g.a. långa transportsträckor med traktor. Snittskörden på vete är ca 9 ton/ha våt vikt (pers. medd., Pettersson, 2016).

Idag finns det en halmpanna (gårdspanna för eldning av hela halmbalar) på exempelgården med en effekt på 350 kW. Tillgången på halm är mycket god och gården har en egen storbalpress för fyrkantsbalar. Det pressas ca 3 000 balar om året på exempelgården (pers. medd., Pettersson, 2016).

Önskemålet från Stig-Åke Pettersson är att den nya värmekällan till utbyggnationen av torken inte ska ha en alltför hög investeringskostnad.

Tillvägagångssätt för att dimensionera värmekällan utefter tröskans takt finns beskrivet i bilaga 1 och är beräknat per dygn. Siffrorna när det gäller tröskkapacitet, snittskörd och areal är tagna från exempelgården Klakeborg med Stig-Åke Pettersson som referens. Den verkliga kapaciteten på tröskan är ca 5 ha/h under rullning med flygande uttömning. För att få en mer realistisk siffra räknade jag med tiden för flyttning mellan åkrar och stillestånd mellan långa spannmålstransporter. Därför har jag istället valt siffran 3 ha/h.

De ekonomiska uträkningarna är baserade på dagens ca-priser, där jag har ringt till olika försäljare och hört mig för var dagens snittpris ligger. Pristabeller och värmevärdestabeller stämmer därför någorlunda exakt i dagens läge.

Tabeller för kg/H₂O och volymvikter är uträknade med hjälp av kursmaterial från kursen i växtproduktionens teknik, TN0312. Tabeller med kg/H₂O och volymvikter hittas i bilaga 3 och 4. Tabell med effektiva värmevärden hittas i resultatdelen.

För att beräkna arbetskostnad för flis- och halmeldning har jag uppskattat värden för maskinkostnad och lön till anställda. Detta för att kunna ha en siffra att räkna på i mitt exempel och för att kunna visa och jämföra relationen mellan de båda bränslena. Tidsåtgång för halm är en uppskattning som jag gjort utifrån exempelgårdens halmpanna. Tidsåtgången för fliseldning är en uppskattning som jag har baserat på hur lång tid det kan tänkas ta att fylla en skopa och tippa den i flisbehållaren. Dessa uträkningar redovisas i bilaga 2. Olje- och gasbrännare samt pelletspanna kräver ingen arbetsinsats enligt de beskrivningar och produktblad jag har hittat om dessa.

För att visa hur det kan se ut på en gård i praktiken, redovisas exempel på situationsplaner med olika värmekällor. Där visas t.ex. vilken nytta det går att ha av vattenburen värme. Situationsplanerna är inte baserade på någon specifik gård. De visar bara exempel på hur det skulle kunna se ut. Anledningen till att jag gjorde en mer allmän situationsplan istället för att använda exempelgården som modell var att det idag inte finns plats för en ny torkanläggning på gården. Därför måste en del gamla och oanvända byggnader rivs för att ge plats åt den nya torken och då anser jag att den befintliga situationsplanen inte blir relevant.

4. RESULTAT

I tabell 2 visas priser per ton exklusive moms på olika bränslen. Lantbrukare får idag dra av 20 % av koldioxidskatten och 70 % av energiskatten på gasol och eldningsdiesel (Skatteverket, 2016). Därför är dessa avdrag medräknade på den nedersta raden i tabellen.

Tabell 2. Tabellen visar ca-priser per ton för olika bränslen efter skatter och avdrag, exklusive moms.

	Halm	Flis	Pellets	Diesel E10	Gasol	Brännved
Pris per ton (exkl. moms)	800 kr ¹	851 kr ²	2 008 kr ³	8 435 kr ⁴	3 200 kr ⁵	778 kr ²
CO ₂ skatt per ton	-	-	-	3 814 kr	3 370 kr	-
Energiskatt per ton	-	-	-	1 007 kr	1 087 kr	-
Avdragbar CO ₂ skatt (20%) ⁶	-	-	-	-763 kr	-674 kr	-
Avdragbar Energiskatt (70%) ⁶	-	-	-	-705 kr	-761 kr	-
Totalt pris per ton efter avdrag (exkl. moms)	800 kr	851 kr	2 008 kr	11 788 kr	6 222 kr	778 kr

¹ pers. medd., Pettersson (2016)

² pers. medd., Broman (2016)

³ Energirådgivningen, 2015b)

⁴ pers. medd., Rehn (2016)

⁵ pers. medd., Dahlqvist (2016)

⁶ Skatteverket (2016)

4.1 VÄRMEKÄLLA

Vid val av värmekälla ska det ses till hur situationen på gården ser ut i dagsläget.

En värmekälla med låg investeringskostnad bör användas under kortare perioder med höga värmebehovstoppar.

Flispannan är ett bra alternativ förutsatt att det finns god tillgång på flis. Denna värmekälla har hög effekt och bränslet är billigt. Dock kräver den högre arbetsinsatser än olje- och gasbrännare och har en hög investeringskostnad. Flisen kräver enligt bedömning ca en timmes arbete var 38:e timme och arbetskostnaden uppskattas till ca 1,8 öre per effektiv kWh (nettoenergi till torkning). Uträknat per kWh energiinnehåll i bränslet beräknas flisen kosta ca 0,26 kr/kWh (med pris per ton enligt Broman, pers. medd., 2016)

Pelletspannan kräver ingen arbetsinsats vid drift och är därför ett bra alternativ där det inte finns tid för driftsunderhåll av anläggningen. Enligt Thorsson (pers. medd., 2016) är investeringskostnaden lägre än för flispannan. Uträknat per kWh energiinnehåll i bränslet beräknas pellets kosta ca 0,43 kr/kWh med pris per ton enligt Energirådgivningen (2015b).

En halmpanna för eldning av hela balar har en lägre investeringskostnad än flis- och pelletspannor. Halmpannan är lämpligast för gårdens basbehov och mindre torkanläggningar. Halmen kräver enligt bedömning ca 15 min arbete var 7,7 timme och arbetskostnaden uppskattas till 4,5 öre per effektiv kWh. Bränslekostnaden har uppskattats till 0,20 kr/kWh (pers. medd. Pettersson, 2016).

Energibesparingen vid uppvärmning av gasbrännare direkt med rökgaser är ca 10 – 15 %. Gasbrännaren har låg investeringskostnad och bränslet ett relativt lågt pris/kWh (0,49 kr/kWh enligt beräkningar med pris per ton enligt Dahlqvist (pers. medd., 2016). Gasbrännaren kräver inte heller någon egen arbetsinsats och inga särskilda åtgärder krävs inför vintern.

Oljebrännaren har lägst investeringskostnad av värmekällorna. Dock har den dyrast bränslepris (0,99 kr/kWh, med oljepris enligt pers. medd., Rehn 2016). Oljebrännaren kräver ingen arbetsinsats vid drift.

I tabell 3 visas ca-priser för olika typer av bränslen och priset per kWh tillgänglig energi i bränslet exklusive moms. Siffrorna längst ned i tabellen visar priset per effektiv kWh (nettoenergi till torkning). Eftersom värmekällorna har olika verkningsgrad blir priset per effektiv kWh en mer relevant siffra att titta på än priset per ren kWh. Tabellen tar inte hänsyn till systemverkningsgrad, d.v.s. värmeförluster mellan värmekällan och spannmålstorken. Priserna är baserade på vikt, dvs. per ton eller per ton TS.

Tabell 3. *Ca-priser för olika bränslen och beräknat pris per effektiv kWh (nettoenergi till torkning).*

	Halm	Flis	Pellets	Diesel E10	Gasol	Brännved
Pris/ton	800 kr ¹	851 kr ²	2 008 kr ³	11 788 kr ⁴	6 222 kr ⁵	778 kr ²
Värmevärde kWh/ton	4 000	3300	4 700	11 900	12 800	3 800
Pris/kWh	0,20 kr	0,26 kr	0,43 kr	0,99 kr	0,49 kr	0,20 kr
Pannans Verkningsgrad	80%	88%	88%	90%	98%	80%
Pris/Effektiv kWh	0,25 kr*	0,29 kr**	0,49 kr	1,10 kr	0,50 kr***	0,26 kr
Driftskostnad per år för 290 000 kWh	85 500:-	90 200:-	141 000:-	319 000:-	159 000:-	74 000:-

¹ pers. medd. Pettersson (2016)

² pers. medd. Broman (2016)

³ Energirådgivningen (2015b)

⁴ pers. medd. Rehn (2016)

⁵ pers. medd. Dahlqvist (2016)

* Vid eldning av halm tillkommer en arbets- och maskinkostnad på ca 4,5 öre per kWh.

** Vid eldning av flis tillkommer en arbets- och maskinkostnad på ca 1,8 öre per kWh.

*** Vid eldning av gasol tillkommer en årskostnad för hyra av tank på ca 15 000 kr/år (pers. medd., Dahlqvist 2016).

4.2 TRÖSKKAPACITET

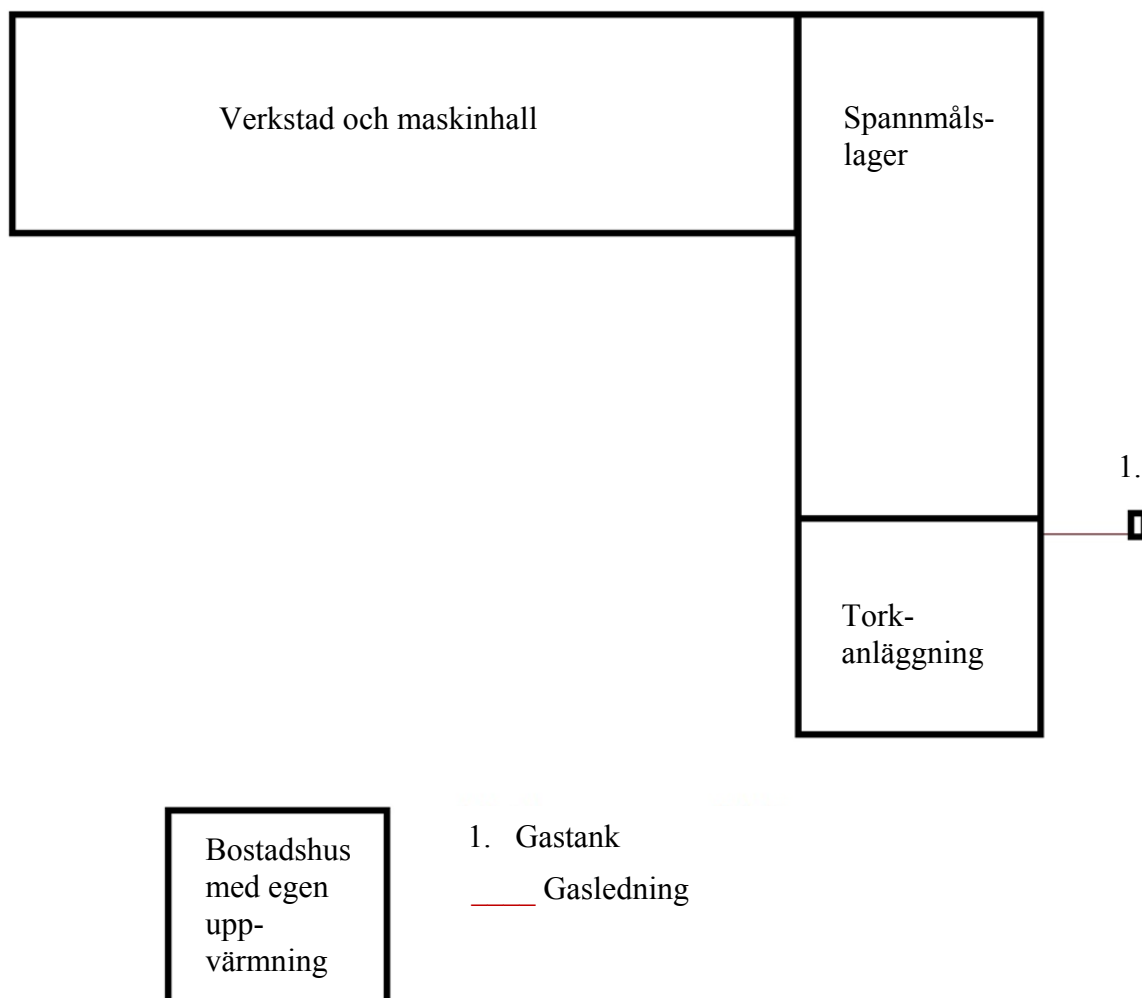
För att torken ska hinna med i tröskans takt en vanlig tröskdag på exempelgården, där vattenhalten torkas ner från 20 % till 13 % måste torken ha en kapacitet att torka bort 905 kg H₂O/h. Det innebär att den totala mängden tillförda energin per timme blir 1300 kW. I exempelgårdens fall där det finns en befintlig halmpanna med en effekt på 350 kW, behöver det kompletteras med en värmekälla som har en effekt på minst 950 kW, för att hinna med torkningen i tröskans takt (se bilaga 1). Enligt beräkningarna går det åt 117 kWh/ton för att torka spannmålen.

4.3 SITUATIONSPLANER

På följande sidor finns några exempel på situationsplaner med olika värmekällor för att ge en bild av hur det kan se ut på en gård i praktiken. Som nämnt tidigare i avsnittet material och metod visar inte situationsplanerna någon specifik gård.

Gasbrännare

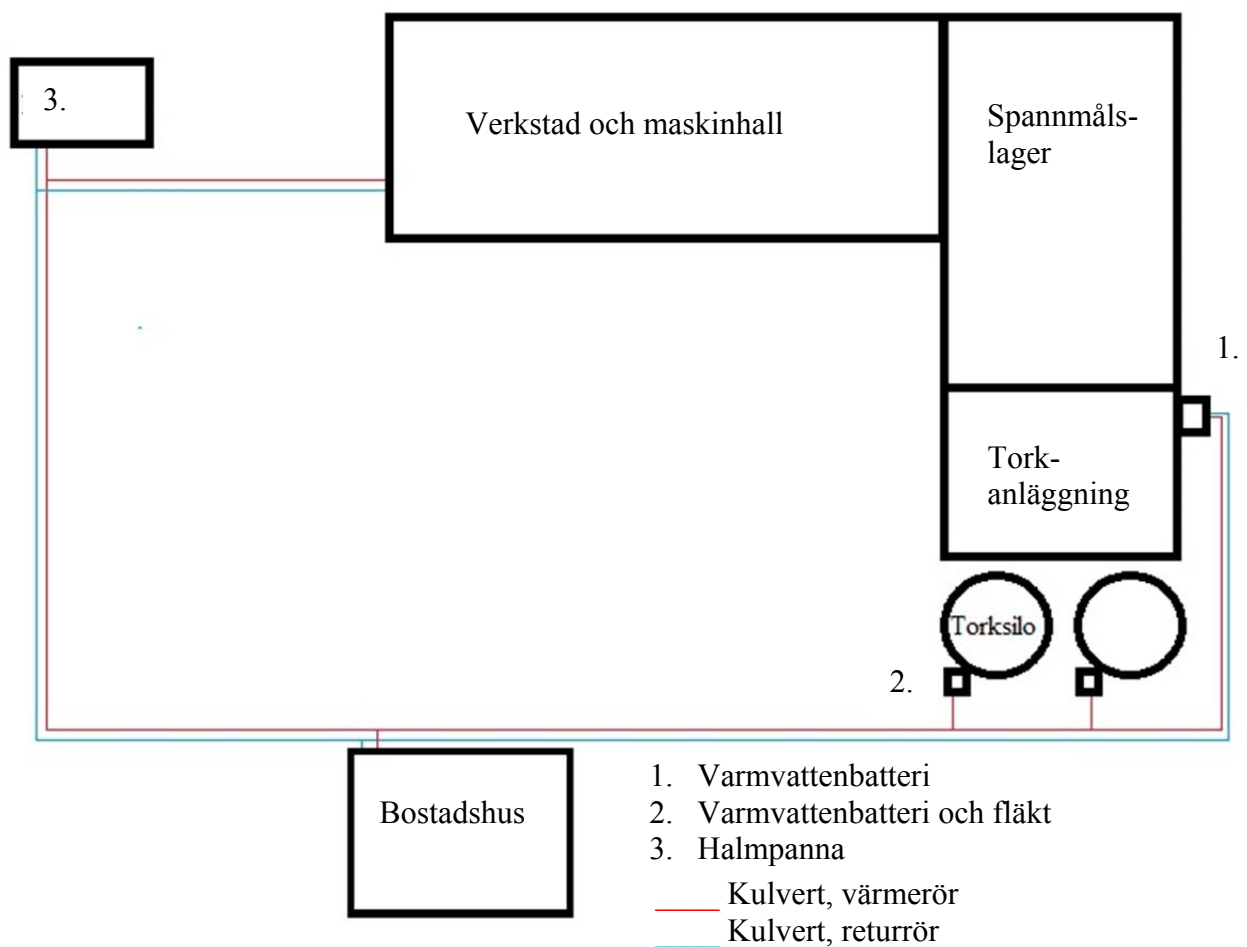
Figur 4 nedan visar en situationsplan där enbart gas används för direkt uppvärmning av torken med rökgaserna. I detta fall är det kall verkstad och maskinhall. Bostadshuset har egen uppvärmning. Notera att bränsletanken är placerad på ett säkert avstånd från byggnader. Till skillnad från ett vattenburet system finns här ingen kulvert. Detta system är bra där det är ont om plats för tillbyggnad av värmekälla eftersom det bara krävs utrymme för bränsletanken.



Figur 4. Situationsplan av en gård där en gasbrännare värmer torken direkt med rökgaserna.

Halmpanna

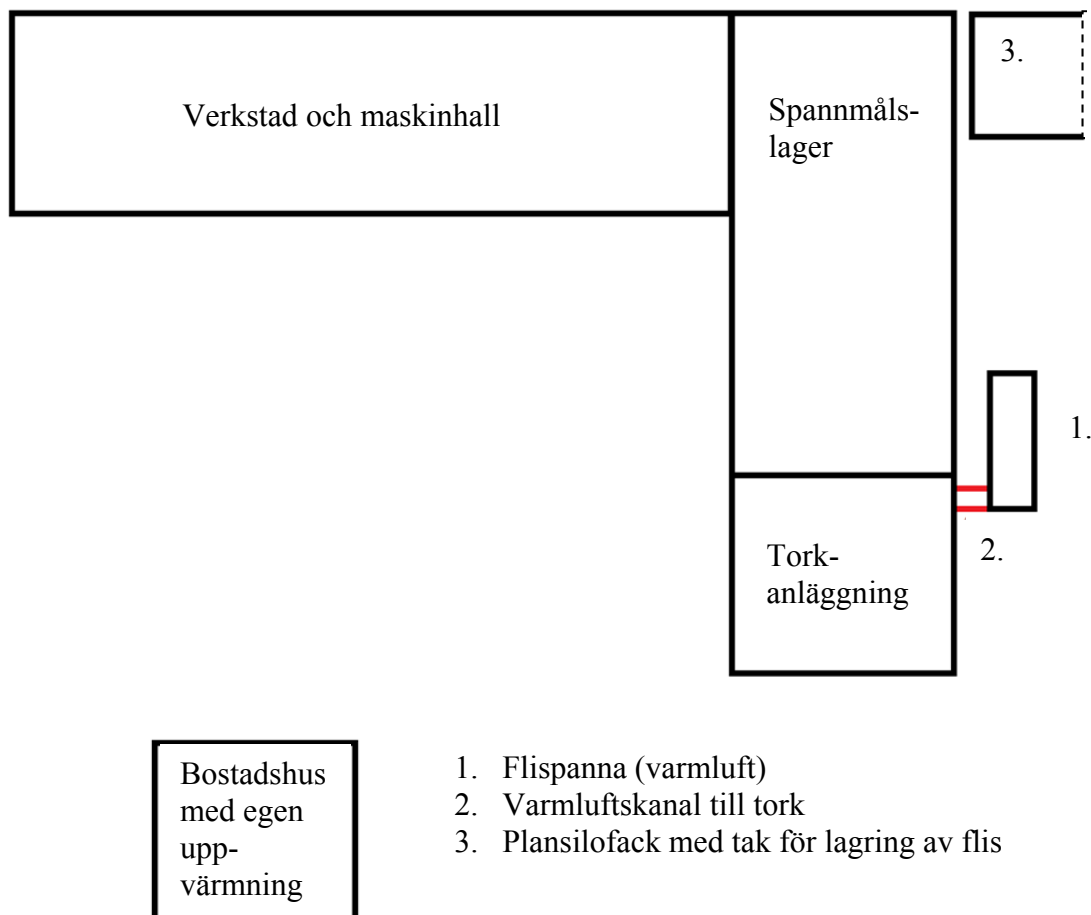
Figur 5 nedan visar en situationsplan på hur det kan se ut med halmpanna som värmekälla på en gård. I detta exempel är det en nedgrävd kulvert från halmpannan som går till verkstad, bostadshus, varmvattenbatterier till torksilo och den konventionella torkanläggningen. Det är nödvändigt med lämplig mark runt gården för att få plats med pannan. Vid användning av halm krävs även stora ytor för att förvara halmen, gärna inomhus. Till skillnad från de övriga värmekällorna förloras då utrymmen som kunde använts till annat. Den vattenburna värmen gör också att det tillkommer en kostnad för kulvertanläggning och material till denna. Notera att halmpannan måste placeras på ett säkert avstånd från byggnader och halmlager p.g.a. brandrisk



Figur 5. Situationsplan av en gård där halmpanna används för uppvärmning.

Fristående flispanna

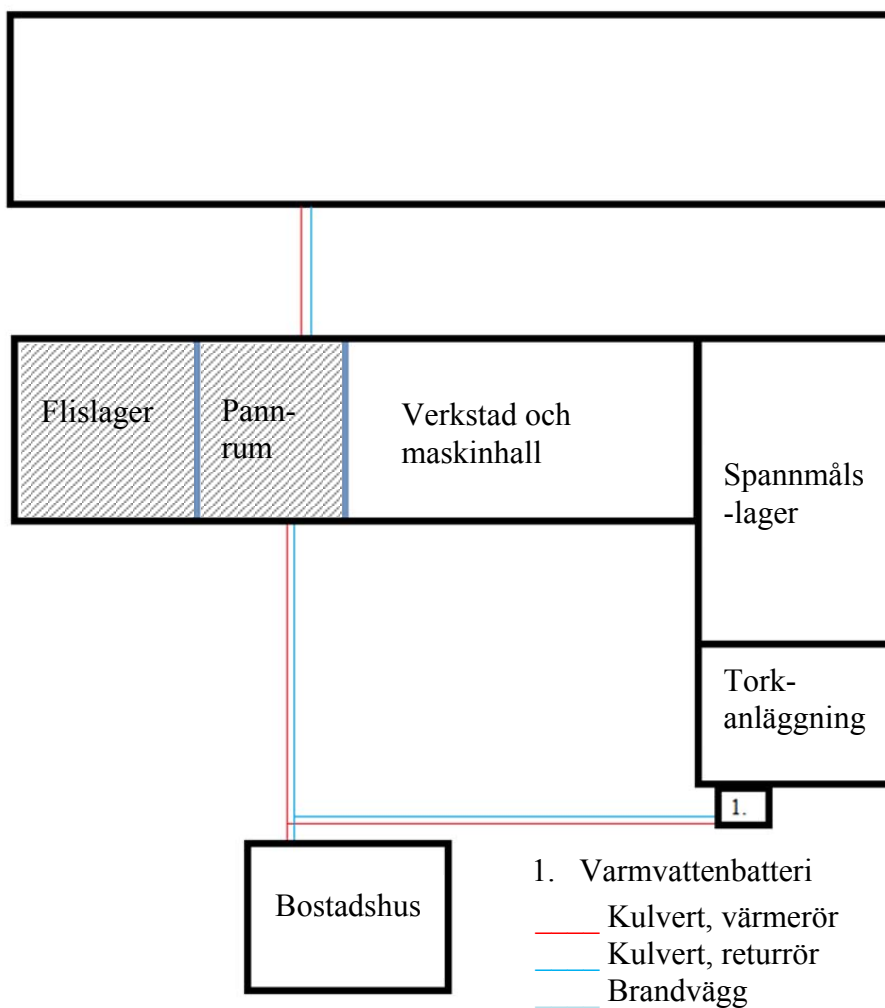
Figur 6 nedan visar en situationsplan där en flispanna är monterad utanför torken. Denna panna är en s.k. varmluftspanna och blåser då in varmluften via en luftkanal in till torken. Verkstad och maskinhall är ouppvärmda och boningshuset har egen uppvärmning. Flisen lagras i en plansilo med tak för att skydda den från regnvatten. Till skillnad från den inbyggda flispannan tar en utomhusmonterad flispanna ingen plats i byggnaden. Däremot tillkommer det en kostnad för byggnation av plansilofack utomhus och denna kommer ta plats på gårdsplanen. Då detta är en varmluftspanna är det svårt att utnyttja pannan till annan uppvärmning än för spannmålstorkning. Att slippa behöva gräva ner en kulvert är en fördel om det är ytlig berggrund på gården.



Figur 6. Situationsplan av en gård där en fristående flispanna värmer torken med varmluft via luftkanal.

Flispanna inomhus

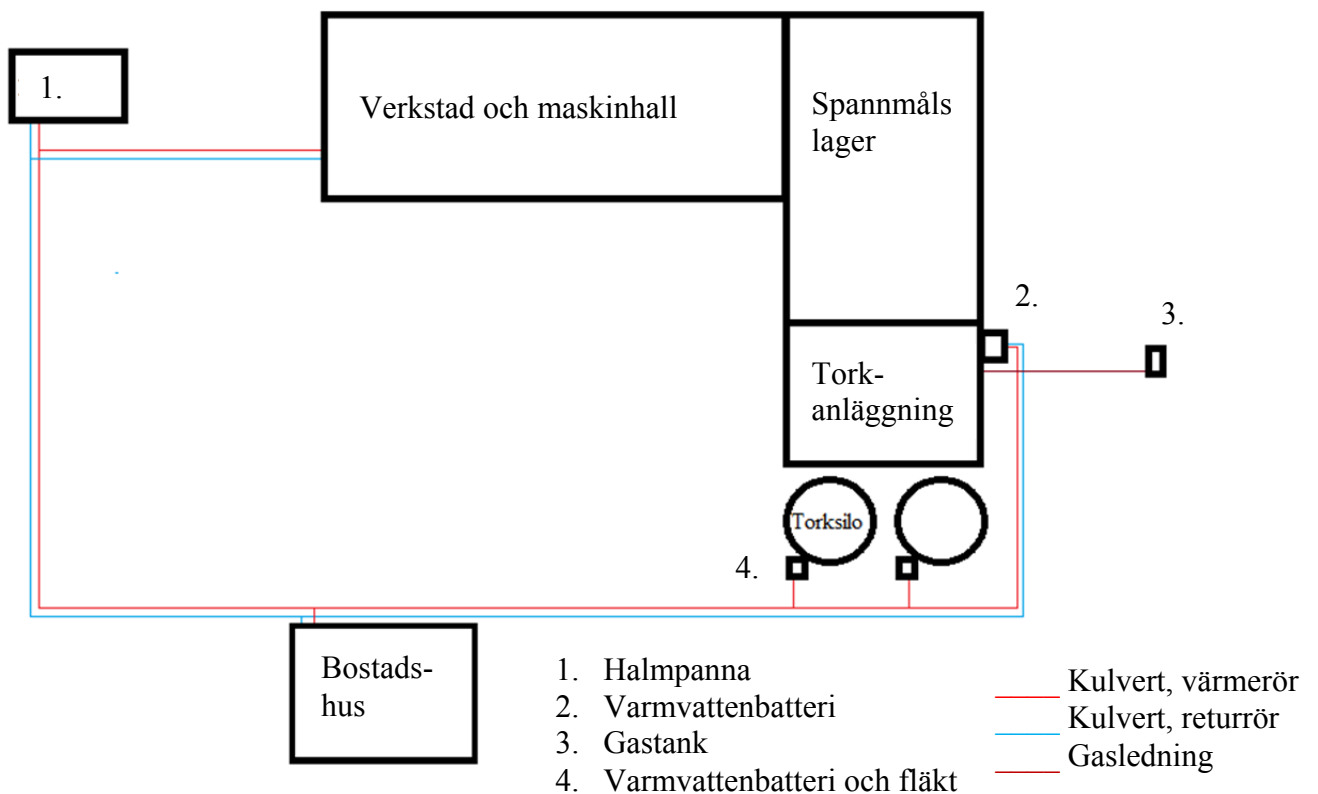
Figur 7 nedan visar exempel på en situationsplan där en flispanna med vattenburen värme är byggd inomhus med ett flislager, där flisen matas in med hydraulik till pannan. I detta exempel värmer flispannan både tork, verkstad och boningshus. I detta exempel finns en extra byggnad för att visa hur det går att ha nytta av värmekällan året runt. Det kan t.ex. vara ett ridhus eller ett grisstall med golvvärme. Värt att notera är de två brandskyddsklassade väggarna som avgränsar pannrummet med de övriga delarna i byggnaden. Denna typ av panna passar bra att installera i befintliga utrymmen där plats att bygga på utomhus är begränsad. I detta exempel har pannrum och flislager byggts till (se diagonala linjer).



Figur 7. Situationsplan av en gård där en flispanna värmer boningshus, verkstad, tork och en extra byggnad.

Kombinationssystem

Figur 8 nedan, visar en typisk situationsplan med kombination av gas och halm som värmekälla. I torken finns en direktansluten gasbrännare för att komplettera topparna i värmebehovet. Även i detta exempel är det en nedgrävd kulvert som går till verkstad, tork, bostadshus och torksilos. Halmpanna och gastank står på ett säkert avstånd från byggnader och halmlager.



Figur 8. Situationsplan på en gård där torkningen sker med gasbrännare i kombination med halmpanna som uppvärmning.

5. DISKUSSION

Vid valet av torkanläggning ska det ses på vad gården producerar för typ av spannmål och vilka volymerna är. Produceras många olika sorter i små volymer är det bättre att skaffa en dubbelsatstork eftersom den inte behöver fyllas maximalt för att kunna torka spannmålen. Torkas större partier av samma sort är en kontinuerlig tork att föredra. Alternativt kan även en torksilo användas.

På exempelgården är fodervete den dominerande grödan. Det produceras således stora kvantiteter av samma sort. På gården finns redan en 800 tons torksilo, och vattenhalten behöver ofta torkas ner något innan silon fylls på. Om större kvantiteter av samma sorts spannmål behöver torkas är en kontinuerlig tork aktuell då denna tork har högst kapacitet av de olika torksystemen. Därför bör en gård med exempelgårdens inriktning bygga en kontinuerlig tork som klarar stora partier spannmål på kortast möjliga tid.

Enligt beräkningarna är den totala åtgången i kW/år på exempelgården ca 290 000 kWh för torkning av spannmålen (117 kWh/ton). Kostnaden för nettoenergi till torkning samt arbete är nästan samma för pellets (0,49 kr/kWh) och gasol (0,50 kr/kWh). Därför bör valet bli att bygga en tork med gasbrännare eftersom den har lägre investeringskostnad än system med pelletsbrännare.

Att elda med halm är uppskattningsvis ca 73 000 kr billigare per år jämfört med gas (medräknat priset för hyra av bränsletank för gasen). Fliseldning har ungefär samma driftskostnad som halm (ca 70 000 kr billigare per år än gas). Det skulle göra det möjligt att investera ca 700 000 kr mer i halm och 700 000 kr mer i flis jämfört med gas (exklusive eventuella räntekostnader) om investeringen ska vara avskriven efter 10 år. Att köpa en anläggning som klarar att tillgodose det ökade effekt behovet på 950 kW för dessa pengar är inte möjligt (pers. medd., Larsson 2016). I det fall det finns ett övrigt värmebehov på gården förutom till spannmålstorkning blir det troligtvis lönsamt att investera i en flispanna. Det eftersom skillnaden mellan årskostnaderna ökar vid ett högre värmebehov.

Möjligheten att använda värmekällan till annat än torkning resten av året är önskvärt, för att utnyttja anläggningen så mycket som möjligt. Med en gasbrännare direktkopplad till luftintaget på torken är detta inte möjligt. Något som också kan beaktas är om det vore ekonomiskt hållbart att värma gården med gas resten av året. Att istället bygga en värmekälla med högre investeringskostnad och lägre bränslekostnad, betalar sig bättre ju större del av året den används. Det blir svårt att motivera investeringen ekonomiskt om den bara används en månad per år enbart för spannmålstorkning.

Idag finns ännu ingen konkurrenskraftig biogas för spannmålstorkning. Det finns heller ingen bra metod för att komprimera och transportera denna gas i större volymer. Därför är sannolikt biogasen endast aktuell för gårdar med djur i dagsläget. Det kan däremot mycket väl komma bättre alternativ för transport av biogas i framtiden. Vid uppvärmning med biogas bör det funderas kring om biogasen kan utnyttjas till annat under resten av året t.ex. elproduktion.

Kalkylerna för att beräkna pris/kWh är mycket osäkra då både oljepris och halmpriser är låga just nu. Gaspriset följer oljepriset medan dagens flis-, pellets- och vedpris ligger på samma nivå som de gjort tidigare år. Relationerna mellan de olika priserna anser jag ändå vara trovärdiga. Vid en prisuppgång kommer troligtvis gas, olja och halm att följas åt uppåt. Flis kommer därför troligen även vid en prisuppgång att vara ett relativt sett billigt bränslet per kWh.

Min personliga åsikt är att fossila bränslen inte är hållbart ur miljösynpunkt. Därför tror jag inte att oljebrännaren kommer att vara aktuell för spannmålstorkning i framtiden.

Alla de olika värmekällorna som nämnts i detta arbete fungerar att använda till samtliga torksystem. Däremot fungerar inte halmpannan bra i kombination med en enkel satstork. Detta på grund av den långa uppvärmningstiden av ackumulatortanken. Halmpanna i kombination med dubbelsatstork fungerar bra eftersom torken då går mer eller mindre utan avbrott.

Syftet med detta arbete var att jämföra olika typer av värmekällor som finns på marknaden. Det som skulle jämföras var arbetsåtgång, och driftskostnad i kombination med de olika typerna av spannmålstorkar som finns på marknaden. Det var svårt att komma fram till någon exakt siffra på arbetsåtgång men jag anser att syftet ändå uppnåddes.

Målet var att ta reda på om exempelgården i framtiden ska fortsätta med halmpanna som värmekälla till torken. Genom att sammanställa kostnader för nettoenergi och arbete samt genom samtal med säljare gick det att få en indikation av vilket system exempelgården borde bygga för. Därför uppnåddes även målet till viss del med studien.

Exempelgården har idag en halmpanna som täcker värmebehovet av befintlig tork, bostadshus och verkstad. Det finns god tillgång på halm på gården och det finns en egen storbalspress. Halmen är ett relativt billigt bränsle och passar för året runt uppvärmning. Vid utbyggnad av torken skulle inte ytterligare en halmpanna vara ekonomiskt försvarbart. Den har för hög investeringskostnad för att bara användas en kort period av året. Dessutom skulle det bli opraktiskt att behöva göra den nya pannan frostfri inför vintern varje år. Som tidigare nämnt rekommenderas en värmekälla med låg investeringskostnad vid uppvärmning under kortare perioder. Gasbrännaren är en sådan värmekälla. Gasen är billigare än oljan och gasbrännaren har en högre verkningsgrad än oljebrännaren. Exempelgården bör behålla den befintliga halmpannan för att tillgodose gårdens basbehov och investera i en direktverkande gasbrännare till den nya torken.

Slutsats

Min slutsats blir att exempelgården Klakeborg ska behålla sin halmpanna för att täcka basbehovet av värme och bygga till en gasbrännare för att täcka värmebehovet vid spannmålstorkningen. För en gård med liknande förutsättningar som exempelgården, men utan befintlig värmekälla kan investering i en flispanna vara intressant.

6. REFERENSER

6.1 Skriftliga

Agriwise. (2009-11-26). *27 volymvikter*. Tillgänglig:

http://www.agriwise.org/demo/databok2010htm/kap27b/01_Densitet.htm [2016-04-17]

Akron. (2016a). *Satstorkar modell 2000 och 3000*. Järpås: AB AKRON-maskiner

[Broschyr] Tillgänglig: <http://www.akron.se/sv/produktinformation-Akron-Svegma-x000?cid=587e4246-a133-4396-bd9a-8806541b4404> [2016-03-12]

Akron. (2016b). *Kontinuerliga varmluftstorkar modell 2100 och 3100*. Järpås: AB

AKRON-maskiner [Broschyr] Tillgänglig: <http://www.akron.se/sv/produktinformation-Akron-Svegma-x100?cid=2090cdbc-90e1-4f6f-8e6a-b41894f00626> [2016-03-12]

Akron. (2016c). *AKRON BIO400/400+ FLISPANNA*. Järpås: AB AKRON-maskiner

[Broschyr] Tillgänglig: <http://www.akron.se/sv/produktinformation-Flispanna-Akron-Bio400Bio400?cid=0aebedeac-f95-4ba6-a91d-13d239eec661> [2016-03-13]

Bioenergiportalen. (2013-05-31). *Exempel på bränsledata för olika bränslen*.

Tillgänglig: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=1590> [2016-04-04]

Brooker, D.B., Bakker-Arkema, Fred W. & Hall, Carl W. (1992). *Drying and storage of grains and oilseed*. New York. Van Nostrand Reinhold.

Cimbria. (2016). *Data Sheet 73.1 Direct Heating with gas*. Thisted: Cimbria

Manufacturing A/S. [Broschyr] Tillgänglig: <http://www.cimbria.com/en-GB/Home/Solutions/Drying/ProductDetails.aspx?GroupID=GROUP65> [2016-03-22]

Enberg, H. (2008) *Konvertering från olja till naturgas vid Lulekraft AB*. Luleå. Luleå tekniska universitet.

Energirådgivningen. (2015a). *Olja i villan*. Tillgänglig:

<http://www.energiradgivningen.se/faktablad/uppvarmning> [2016-04-10]

Energirådgivningen. (2015b). *Pelletsvärme*. Tillgänglig:

<http://www.energiradgivningen.se/faktablad-0> [2016-04-10]

Hadders, G. (1999). *Pellets- Pärmen*. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik på uppdrag av Energimyndigheten.

Jonsson, N. (2006). *Uppdatering av gårdens spannmålstork*. Uppsala, JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Nikolaisen, L. Nielsen, C. Larsen G, Mogens. Nielsen, V. Zielke, U. Kristensen, J.K. & Holm-Christensen, B. (1998). *Halm til energiformål Teknik – Miljø – Økonomi*. København. Energistyrelsen af Videncenter for Halm- og Flisfyrning.

- Nilsson, D. (2001-01-17) *Småskalig uppvärmning med biobränslen*. Institutionen för lantbruksteknik, LT. Ultuna. Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU.
- Preem. (2014-11-26). *Eldningsolja 1 E10*. Stockholm: Preem AB [Broschyr]
Tillgänglig: <https://preem.se/foretag/produkt-och-tjanster/Produktkatalog/> [2016-03-23]
- Preem. (2015-08-21). *Produktblad blandgas 50/50*. Stockholm: Preem AB [Broschyr]
Tillgänglig: <https://preem.se/foretag/produkt-och-tjanster/gasol/vara-produkter/> [2016-03-23]
- Serup, H. Falster, H. Gamborg, C. Gundersen, P. Hansen, L. Heding, N. Houmann-Jakobsen, H. Kofman, P. Nikolaisen, L. & Thomsen, I.M. (1999). *Trae til energiformål Teknik – Miljø – Økonomi*. København. Energistyrelsen af Videncenter for Halm- og Flisfyrning.
- Skatteverket. (2016). *Återbetalning av skatt på bränsle för jordbruk, skogsbruk och vattenbruk*. www.skatteverket.se Tillgänglig:
<http://www.skatteverket.se/foretagorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/verksamhetermedlagreskatt/jordbrukskogsbrukvattenbruk/bransle.4.15532c7b1442f256baebb2.html?q=punktskatt+eldningsolja> [2016-04-11]
- Svedinger, S. Ascárd, K. Dolby, C.M. Lundqvist, P. Nilsson, C. Ventorp, M. (1995). *Byggnader för jordbruket*. Stockholm. LTs Förlag.
- Tornum. (u.å.). *Gasbrännare, VD-serien*. Kvänum: Tornum AB [Broschyr] Tillgänglig:
<http://www.tornum.com/sv/produkter/gasbrannare> [2016-04-17]
- Tornum. (u.å.). *TORNUM Chip Burner*. Kvänum: Tornum AB [Broschyr] Tillgänglig:
<http://www.tornum.com/sv/produkter/chip-burner> [2016-04-16]
- VVS Företagen. (u.å.). *Konvertering till gas*. www.vvsforetagen.se [Broschyr]
Tillgänglig:
http://www.vvsforetagen.se/globalassets/mediafiler/publik/dokument/teknik--installation/energi-och-miljo/konverterering_till_gas_orig.pdf [2016-04-10]
- Weishaupt GmbH. (u.å.). *Oljebrännare (WL5) i genomskärning med standardflamhuvud och en effekt på 16,5 till 55 kW*. www.weishaupt.se Tillgänglig:
<http://www.weishaupt.se/presse/bild-datenbank/kompakt-brenner/schnittbild-eines-w-brenners-fuer-oel-wl5-mit-standard-flammkopf-und-einer-leistung-von-16-5-bis-55-kw-mit-beschriftung> [2016-04-10]

6.2 Muntliga

Broman Håkan, Kundansvarig Mellansverige, Sveaskog AB (2016)

Dahlqvist Kenneth, Sales and technical team leader, Kosan gas Sverige AB (2016)

Larsson Per, VD Försäljningschef Sverige, Tornum AB (2016)

Pettersson Stig-Åke, Lantbrukare, Klakeborg, (2016)

Rehn Peter, Säljare, Fundins olja AB (2016)

Thorsson Martin, Marknadschef/affärsområdeschef spannmål + biobränsle, AB Akron-maskiner, (2016)

Uträkning av lämplig torkkapacitet på exempelgården

Här använder jag mig av formler för att kunna räkna ut den kapacitet på tork och värmekälla som krävs för att den nya torken ska hålla jämn takt med tröskan.

På exempelgården används det idag en 35fots rotortröska med en kapacitet på ca 3 ha/h (medräknat tid för flytt mellan fält och fördröjningar p.g.a. långa transportsträckor med traktor) och snittskörden på vete är ca 9 ton/ha våt vikt (Pettersson, 2016). Jag har valt att i detta fall enbart räkna på vetet eftersom det är den gröda på gården som har störst volym och därför sätter kapacitetskravet. Uträkningen för antalet ton/h in i anläggningen blir som nedan:

Formel: Snittskörd ton/ha \times Kapacitet ha/h

9 ton/ha \times 3 ha/h = 27 ton/h våt spannmål in i anläggningen.

Här behövs alltså en anläggning som klarar av att ta emot 27 ton/h viktmissigt.

För att sedan räkna ut mängden kg H₂O/ton spannmål som måste torkas bort har jag räknat på en ingående vattenhalt på 20 % och en önskad vattenhalt på 13 % torkad vara. Motivationen till att jag valt just 20 % är för att det är en vanlig vattenhalt vid skörd i regionen hemma och den bör ej överskridas då torkkostnaden kan bli onödigt dyr.

Formel: Ingående vikt i kg TS/ton \div Önskad TS halt % = vikt, kg torkad vara/ton våt vara

1000 kg – vikt, kg torkad vara/ton våt vara = borttorkad kg H₂O/ton spannmål

In: 1 000 kg \gg 800 kg TS

Ut: 800 \div 0,87 = 919,4 kg spannmål ut

1 000 kg – 919,5 = 80,46 kg H₂O/ton spannmål

Här behövs alltså torkas bort 80,45 kg H₂O per ton spannmål som har en vattenhalt på 20 %, för att uppnå en vattenhalt på 13 % på den utgående varan (Se även tabell 4 och 5 i bilaga 3 och 4).

Den totala mängd kg H₂O/h som måste torkas bort för att håll jämn takt med tröskan beräknas sedan som nedan:

Formel: kg H₂O/ton spannmål \times kapacitet ton/h

80,46 kg H₂O/ton spannmål \times 27 ton/h = 2 172 kg H₂O/h

Vi behöver alltså i detta exempel en tork som klarar av att torka bort ca 2,2 ton H₂O per timme om torken ska hålla jämn takt med tröskan. Exempelgården har tillräckligt med kapacitet att lagra våt spannmål under de timmar på dygnet då det ej tröskas. En varmluftstork kan hållas i drift under dygnets alla timmar. Den mer realistiska siffran på hur många kg H₂O/h som måste torkas bort blir då:

Formel: $(\text{Antalet trösktimmar per dygn} \times \text{ton/h}) \div \text{antalet torktimmar per dygn} = \text{kg H}_2\text{O/h}$ som måste torkas bort

Om vi tar t.ex. en för exempelgården normal tröskdag på 10 timmar och vi räknar med att kunna hålla torken igång 24 timmar per dygn blir uträkningen som nedan:
 $(10 \text{ h} \times 27 \text{ ton/h}) \div 24 = 11,25 \text{ ton spannmål per timme}$ som måste torkas för att hinna med i tröskans takt per dygn.

Vår tork bör då ha en kapacitet på $11,25 \text{ ton/h} \times 80,46 \text{ kg H}_2\text{O/ton} = 905 \text{ kg H}_2\text{O/h}$, vilket är en mer realistisk siffra.

I konventionella torkar krävs det ca $1,45 \text{ kWh/kg}$ borttorkad H_2O (Jonsson, 2006).
 $905 \text{ kg H}_2\text{O/h} \times 1,45 \text{ kWh} = 1\,312 \text{ kWh}$.

Det betyder att i detta fall skulle kravet på tillförd energi vara $1\,300 \text{ kW/h}$.

SUMMERING

För att torken ska hinna med i tröskans takt en vanlig tröskdag på exempelgården, där vattenhalten torkas ner från 20 % till 13 %, måste torken ha en kapacitet att torka bort $905 \text{ kg H}_2\text{O/h}$ och anläggningen måste kunna ta emot 27 ton/h våt vara under trösknings timmar. Den totala mängden tillförd energi per timme blir $1\,300 \text{ kWh}$. Med gårdens befintliga halmpanna med en effekt på 350 kW behöver det alltså införskaffas en värmekälla som klarar en effekt på 960 kW eller en ny på ca $1\,300 \text{ kW}$.

UTRÄKNINGAR, ARBETSÅTGÅNG

I denna bilaga beräknas uppskattad arbetsåtgång för flis och halmeldning och pris per effektiv kWh.

Flis

Flisen innehåller ca 3 300 kWh per ton rå massavid en vattenhalt på 35 % (se tabell 1). Det effektiva värmevärdet med pannans verkningsgrad (88 %) blir då:

$$3\,300 \text{ kWh/ton} \times 0,88 = 2904 \text{ kWh/ton}$$

En 1 000 kW flispanna av märket Tornum Chip Burner rymmer ca 35 m³ flis. (Tornum, u.å.) Densiteten i 1 m³ flis är ca 270 kg (se tabell 1). Vikten av 35 m³ flis blir då som nedan:

$$35 \text{ m}^3 \times 270 \text{ kg} = 9\,450 \text{ kg}/35 \text{ m}^3 \text{ (ca 9.5 ton)}$$

Effekten mätt i kWh blir då:

$$9,5 \text{ ton}/35 \text{ m}^3 \times 2\,904 \text{ kWh/ton} = 27\,588 \text{ kWh per } 35\text{m}^3$$

Har man en skopa som rymmer 3 m³ blir det ca 12 skopor som behöver fyllas på i anläggningen. En ren uppskattning är att det tar ca 5 min att fylla på en skopa flis i anläggningen, beroende på körsträckor m.m. Totalt får vi en påfyllningstid på 60 min. Låt oss säga att en rimlig kostnad för maskin och personal är 500 kr/h (beror på maskinens skick och typ), då har vi en ungefärlig siffra att räkna kostnaden per kWh: 500 kr/h ÷ 27 588 = 1,8 öre/kWh

Med denna panna som har en effekt på 1 000 kW behöver vi alltså fylla den ungefär 1 gång var 28:e timme.

Halm

Halmen innehåller ca 4 000 kWh per ton TS (se tabell 1). Det effektiva värmevärdet med pannans verkningsgrad (80 %) blir då:

$$4\,000 \text{ kWh/ton TS} \times 0,80 = 3\,200 \text{ kWh/ton TS}$$

En 350 kW panna rymmer 2 stora fyrkantsbalar med en vikt på ca 520 kg vardera. Total vikt blir alltså 1 040 kg (pers. medd., Pettersson, 2016). En bal av denna typ bör inte ha en lägre TS halt än 82 % (Nilsson, 2001). I denna panna får det då plats:

$$1\,040 \text{ kg} \times 0,82 = 853 \text{ kg TS}$$

Effekten mätt i kWh blir då:

$$0,853 \text{ ton} \times 3\,200 \text{ kWh} = 2\,729 \text{ kWh}$$

En ren uppskattning är att det tar ca 15 min att fylla på i pannan. Låt oss säga att en rimlig kostnad för maskin och personal är 500 kr/h (beror på maskinens skick och typ), då har vi en ungefärlig siffra att räkna kostnaden per kWh:

$$500 \text{ kr/h} \div 60 \text{ min} = 8,33 \text{ kr/min}$$

$$8,33 \text{ kr/min} \times 15 \text{ min} = 125 \text{ kr/15 min}$$

$$125 \text{ kr/15 min} \div 2\,729 \text{ kWh} = 4,5 \text{ öre/kWh}$$

Med denna panna som har en effekt på 350 kW behöver vi alltså fylla den ungefär 1 gång var 7,7 timme ($2\,729 \div 350$), omräknat till ca 1 h 14 min var 38:e timme.

Tabellen nedan visar hur mycket 1 000 kg våt spannmål väger efter att den har torkats ner till önskad TS-halt i %. Den vågräta axeln visar vilken TS-halt spannmålen hade innan torkning och den lodräta axeln visar vilken TS-halt spannmålen har efter torkning.

Tabell 4. Tabellen visar den utgående vikten, torkad spannmål, vid viss TS%

		VIKT TORKAD SPM. KG/1000 KG VÅT							
TS%	IN→	80	81	82	83	84	85	86	87
TS%	UT↓	-	-	-	-	-	-	-	-
80		1000	-	-	-	-	-	-	-
81		987,65	1000	-	-	-	-	-	-
82		975,61	987,80	1000	-	-	-	-	-
83		963,86	975,90	987,95	1000	-	-	-	-
84		952,38	964,29	976,19	988,10	1000	-	-	-
85		941,18	952,94	964,71	976,47	988,24	1000	-	-
86		930,23	941,86	953,49	965,12	976,74	988,37	1000	-
87		919,54	931,03	942,53	954,02	965,52	977,01	988,51	1000

Tabellerna nedan visar hur många kg H₂O per ton spannmål som måste torkas bort för att uppnå önskad TS-halt. Den vågräta axeln visar vilken TS-halt spannmålen hade innan torkning och den lodräta axeln visar vilken TS-halt spannmålen har efter torkning.

Tabell 5.1. Kg H₂O/ton spannmål som måste torkas bort för att uppnå önskad TS%.

BORTTORKAD KG H ₂ O/TON SPM.								
TS% IN→	80	81	82	83	84	85	86	87
TS% UT↓	-	-	-	-	-	-	-	-
80	0	-	-	-	-	-	-	-
81	12,35	0	-	-	-	-	-	-
82	24,39	12,20	0	-	-	-	-	-
83	36,14	24,10	12,05	0	-	-	-	-
84	47,62	35,71	23,81	11,90	0	-	-	-
85	58,82	47,06	35,29	23,53	11,76	0	-	-
86	69,77	58,14	46,51	34,88	23,26	11,63	0	-
87	80,46	68,97	57,47	45,98	34,48	22,99	11,49	0

Tabell 5.2. Kg H₂O/ton spannmål som måste torkas bort för att uppnå önskad TS% vid högre vattenhalt.

BORTTORKAD KG H ₂ O/TON SPM. VID HÖGRE VATTENHALT					
TS% IN→	75	76	77	78	79
TS% UT↓	-	-	-	-	-
75	0	-	-	-	-
76	13,60	0	-	-	-
77	25,97	12,99	0	-	-
78	38,46	25,64	12,82	0	-
79	50,63	37,97	25,32	12,66	0
80	62,50	50,00	37,50	25,00	12,50
81	74,07	61,73	49,38	37,04	24,69
82	85,37	73,17	60,98	48,78	36,59
83	96,39	84,34	72,29	60,24	48,19
84	107,14	95,24	83,33	71,43	59,52
85	117,65	105,88	94,12	82,35	70,59
86	127,91	116,28	104,65	93,02	81,40
87	137,93	126,44	114,94	103,45	91,95