



**Sveriges lantbruksuniversitet**  
**Fakulteten för Veterinärmedicin och husdjursvetenskap**  
**Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi**  
**Hippologenheten**

**K42**

**Examensarbete på kandidatnivå**

**2014**

## **Ventilation i häststall**

***Maja Ödman***

**Uppsala**

**HANDLEDARE:**

*Per Michanek, Flyinge AB*

*Anna Nilsson, Flyinge AB*

---

Hippologiskt examensarbete (EX0497) omfattande 15 högskolepoäng ingår som en obligatorisk del i hippologutbildningen och syftar till att under handledning ge de studerande träning i att självständigt och på ett vetenskapligt sätt lösa en uppgift. Föreliggande uppsats är således ett studentarbete på G2E nivå och dess innehåll, resultat och slutsatser bör bedömas mot denna bakgrund.

**SLU**  
Sveriges lantbruksuniversitet

## *Ventilation i häststall*

*Maja Ödman*

*Handledare: Per Michanek, Flyinge AB*  
*Bitr. handledare: Anna Nilsson, Flyinge AB*  
*Examinator: Lars Roepstorff, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi*

*Examensarbete inom hippologprogrammet, Flyinge 2014*  
*Fakulteten för Veterinärmedicin och husdjursvetenskap*  
*Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi*  
*Hippologenheten*  
*Kurskod: EX0497, Nivå G2E, 15 hp*

*Nyckelord: Respirabla partiklar, rökpartiklar, ventilation, häststall*

*Online publication of this work: <http://epsilon.slu.se>*  
*Examensarbete K42 Uppsala 2014*

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|   |    |
|---|----|
| REFERAT .....   | 5  |
| INTRODUKTION .....                                      | 6  |
| Problem, syfte, frågeställning .....                    | 7  |
| Bakgrund .....  | 7  |
| Hästens respirationssystem .....                        | 7  |
| Föroreningar i stallmiljön .....                        | 9  |
| Respirabla partiklar .....                              | 9  |
| Påverkan på hästen .....                                | 10 |
| Ventilationssystem .....                                | 11 |
| Naturlig ventilation .....                              | 11 |
| Mekanisk ventilation .....                              | 12 |
| Hur byts luften ut? .....                               | 12 |
| Beräkning av luftbyten med hjälp av halveringstid ..... | 13 |
| MATERIAL OCH METOD .....                                | 15 |
| Stall .....   | 15 |
| Fönstrens öppning .....                                 | 16 |
| Stallets volym .....                                    | 16 |
| Hästar .....  | 16 |
| Partikelräknare .....                                   | 17 |
| Rökpatroner .....                                       | 17 |
| Lufthastighetsmätare .....                              | 17 |
| Utförande .....   | 17 |
| Referensvärde av fläktens kapacitet .....               | 17 |
| Mätning av halveringstid (Försök 1-7) .....             | 18 |
| Beräkning av antalet försök .....                       | 19 |
| RESULTAT .....  | 19 |
| Referensvärde för ventilationsflödet .....              | 19 |
| Beräkning av ventilationsflöde .....                    | 19 |
| Försök 1 .....  | 19 |
| Försök 2 .....  | 20 |
| Försök 3 .....  | 20 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Försök 4 .....                        | 21 |
| Försök 5 .....                        | 21 |
| Försök 6 .....                        | 22 |
| Försök 7 .....                        | 22 |
| Beräkning av antalet försök .....     | 23 |
| Vindhastighet samt vindriktning ..... | 24 |
| DISKUSSION .....                      | 24 |
| Slutsats .....                        | 26 |
| SUMMARY .....                         | 27 |
| FÖRFATTARENS TACK .....               | 28 |
| REFERENSER .....                      | 29 |
| Litteratur .....                      | 29 |
| Internet .....                        | 30 |
| Personliga meddelanden .....          | 30 |
| Bilagor .....                         | 31 |
| Bilaga 1 .....                        | 31 |
| Bilaga 2 .....                        | 34 |

## REFERAT

Dagens sporthäst lever idag under människans ansvar i stallar. I stallarna förekommer luftföroreningar, den med störst påverkan på hästen är luftburna partiklar som huvudsakligen härrör från strö och stråfoder. Föroreningarna kan orsaka skada i respirationsorganen, vilket medför att hästen får en minskad prestationsförmåga och de kan leda till allvarlig sjukdom. För att bli av med föroreningarna i stallet behövs en väl fungerande ventilation, med tillräckligt flöde, som kontinuerligt kan byta ut luften i stallet.

Förståelsen för problematiken med partikulära föroreningar i stalluften är dålig, bland annat för att även starkt förorenad luft kan upplevas som frisk. Syftet med detta examensarbete är att sprida information om vikten av en god luftmiljö samt att kunna visa en användbar metod att mäta luftomsättningen i naturligt ventilerade stall.

Studien gjordes i ett stall med åtta hästar med en frånluftsfläkt i ena änden och tilluftsöppningar i alla boxar. Rökpatroner användes för att sprida partiklar i stallet och en handhållen partikelräknare registrerade den avtagande koncentrationen av respirabla partiklar. Utifrån partikelräknarens resultat beräknades en halveringstid som användes för att beräkna antalet luftbyten per timme i stallet. Det beräknade antalet luftbyten i försöksstallet gav ett medelvärde på 4,0 luftbyten per timme vilket är endast 0,3 luftbyten från referensvärdet, som fastställdes genom att mäta lufthastigheten i frånluftstrumman. Utefter resultat från denna studie bedöms metoden vara användbar i naturligt ventilerade stallar.

**Nyckelord: Respirabla partiklar, rökpartiklar, ventilation, häststall**

## INTRODUKTION

Hästen, som idag ses som en högt presterande atlet, domesticerades för 6000 år sedan (Planck, et al. 2005). Från att ha levt vilt på stäppen kom den nu till att vara under människans ansvar. Från de obegränsade levnadsytorna på stäppen hamnade hästen i ett stall med begränsad levnadsyta och begränsad luftväxling. (Webster et al., 1987) Idag är det många hästägare som har bristande kunskaper om hur deras stallmiljö bör se ut. Detta medför till exempel att då de själva fryser stänger de igen dörrar och fönster i stallarna, vilket medför att de stryper luftomsättningen till sina hästar. Enligt veterinär Johan Lenz visar sjukdomsstatistiken att problemen med luftvägssjukdomar relaterade till stallmiljön minskar (Lenz, pers. medd., 2014).

Hästen själv avger föroreningar ut i luften som inte spelar någon roll utomhus, men som då de ansamlas i ett stall kan ge konsekvenser för hästens inandningsluft. (Pickrell, 1991) Majoriteten av de ohälsosamma luftföroreningarna i ett stall kommer dock från strö och stråfoder (Webster et al., 1987). Halten av föroreningar kan variera i olika delar av stallet och de kan vara både synliga och icke-synliga för människans öga. (Woods et al., 1993). Dammpartiklarna är den förorening som har störst negativ inverkan på hästens luftvägar. De minsta dammpartiklarna kallas respirabla partiklar och kan inte urskiljas med enbart ögat. De kan följa med hästens inandningsluft ner i lungorna och orsaka allergiska reaktioner som kan komma att bidra till en minskad prestationsförmåga. (Webster et al., 1987)

För att ventileras bort dammpartiklarna krävs stor luftomsättning i stallet, mycket större än vad som krävs för att ventileras bort fukten och värmen som hästarna avger. (Webster et al., 1987) Att ha ett stallklimat fritt från föroreningar är detsamma som att ha en god lufthygien. En god ventilation syftar till att ha ett klimat inne i stallet som är så likt det utomhusklimat som den vilda odomesticerade hästen levt i som möjligt. (Woods et al., 1993)

Att veta hur ventilationsflödet är i stallet är svårt utan att mäta det. Det finns metoder som kräver dyr apparatur (partikelräknare, spårgasanalys) vilket gör att mätning inte sker mer än vid forskningsstudier. Även metoder som kräver uppskattning av flera yttrefaktorer finns (fuktbalans, koldioxidbalans), men tillförlitligheten blir låg. (Michanek & Magnusson, 1992; Webster et al., 1987) Vid kontakt med Länsstyrelsen så påtalar de att de saknar en metod till att mäta ventilationsflödet i naturligt ventilerade stallar vid djurskyddsbesök, de kollar endast att tilluftsinsläpp är tillgängliga (Jarkelid, Pers. medd., 2014). Webster et al. (1987) samt Michanek och Magnusson (1992) har båda visat på en metod där man med hjälp av att sprida rökpartiklar och mäta den avtagande partikelkoncentrationen i stalluften beräknar ventilationsflödet med hjälp av ventilationens förmåga att evakuera respirabla partiklar. Dessa studier gjordes med dyr laborieutrustning, men idag finns det partikelräknare som är betydligt billigare och därmed möjliga att använda i praktiskt bruk på fältet.

## **Problem, syfte, frågeställning**

Det är ett problem att människan inte är medveten om vikten av väl ventilerade stall, vilket kan leda till att deras hästar blir sjuka och får bestående men i respirationsorganen. Hästarna kan inte prestera på sin maximala nivå om man inte har en god lufthygien i stallet. Det saknas idag en metod som är användbar för att på ett enkelt sätt kunna mäta luftomsättningen i naturligt ventilerade stallar. Syftet med studien är att kunna validera en tidigare påvisad metod med frisättning av rökpartiklar samt partikelmätning med en handhållen partikelräknare (MET ONE HHPC3++) för att mäta luftflödet i naturligt ventilerad stallar. Detta leder fram till följande frågeställning.

- Kan frisättning av rökpartiklar samt partikelmätning med handhållen partikelräknare (MET ONE HHPC 3+) bli en användbar metod för att beräkna ventilationsflödet i häststallar?
  - Hur många mätningar krävs för att få ett trovärdigt värde på luftflödet i ett stall med naturlig ventilation?

## **BAKGRUND**

### **Hästens respirationssystem**

Alla levande celler behöver syre för att leva och hästen är inget undantag; den behöver ständig syretillförsel för att överleva och kunna prestera. (Pilliner & Davies, 2004) Att andas betyder inte enbart att luft transporteras in och ut ur lungorna. Det betyder att syre tas upp från luften och transporteras med hjälp av blodet ut till alla kroppens celler. Från cellerna tas koldioxid upp och avlägsnas från kroppen med utandningsluften. (Marlin & Nankervis, 2007)

I alla levande celler sker konstant en frigörelse av energi. Glykos, från matspjälkningssystemet, bryts ner i närvaro av syre till energi och koldioxid. Koldioxid är en restprodukt som är farlig för kroppen och måste elimineras. Respirationen eller andningen är den process som tar syret in till kroppen och även rensar kroppen från den skadliga koldioxiden. (Pilliner & Davies, 2004)

Hästens respirationssystem består av organ som är konstruerade för att tillföra syre till kroppens celler och att forsla bort koldioxid och vatten från kroppen. Systemet består av två delar, den externa- och den interna respirationen. Den externa respirationen involverar utbytet av gaser mellan respirationsorganen och blodomloppet och den interna respirationen hanterar utbytet av gaser mellan blodomloppet och cellerna i kroppen. (Pilliner & Davies, 2004)

Ingången till respirationssystemet är näsborrharna, vilka vidgas för att öka luftintaget då hästen inte använder munnen till att andas. (Pilliner & Davies, 2004) I nashålan, som är uppdelad i två rum, finns tre stycken näsmusselben som är täckta av en slemhinna, samt flimmerhår placerade runt om i nashålan (Davies, 2005). Syftet här är att kall luft skall

värmas upp, torr luft befuktas samt att luften skall filtreras från partiklar som inte bör passera ner i lungorna. (Davies, 2005; Atrell et al., 2002; Marlin & Nankervis, 2007)

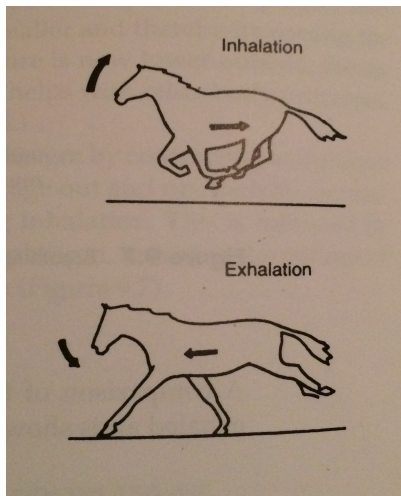
Framme vid struphuvudet leds luften ner i luftstrupen där passagen alltid står öppen, utom då hästen sväljer. I luftstrupen bildas ett undertryck när brösthålan vidgas och för att den inte skall kollapsa vid inandning är den förstärkt av broskringar (Pilliner & Davies, 2004; Atrell et al., 2002). Luftstrupen leder vidare ner i brösthålan där den förgrenar sig i två stycken grenar, bronker, en till varje lunga. Varje bronk fördelar sig vidare i ännu tunnare broskförstärkta rör, bronkeoler, som leder fram till ett stort antal lungblåsor, alveoler. De bronkeolerna som är tunnare än 1mm saknar broskförstärkning. (Marlin & Nankervis, 2007) Alveolernas vägg är mycket tunn och skör. Denna vägg är i nära kontakt med de tunnaste blodkärlen, kapillärerna, där gasutbytet snabbt kan ske mellan den tunna väggen och blodet i kapillärerna. Det är endast den luft som är i de tunnaste bronkeolerna samt i alveolerna som deltar i gasutbytet, luften i luftstrupe och bronker bidrar inte till andningen. (Pilliner & Davies, 2004)

Alveolerna är till antalet  $10^{10}$ - $10^{11}$  stycken där varje alveol har en ungefärlig diameter på 70-180 $\mu$ m. Vid sammanslagning av ytan av alla alveoler finns en total yta på 2500m<sup>2</sup>, (jämfört med människans på 85m<sup>2</sup>), där gasutbytet sker till blodomloppet. Lungvolymen på en häst är direkt kopplad till hästens storlek, ju större häst desto större lungor. En häst på 500 kg har en ungefärlig lungvolym på cirka 40 liter. (Marlin & Nankervis, 2007; Atrell et al., 2002)

Den mängd luft som byts ut i lungorna vid in- och utandning vid maximal ansträngning kallas för vitalkapacitet, denna volym är cirka 30 liter och kan jämföras med människans som är omkring fem liter. Det kommer alltid finnas en viss volym luft kvar i lungorna, även vid maximal ansträngning, vilken kallas för residualvolym och är en volym på cirka tio liter. I vila kommer endast en del av lungvolymen att användas, den mängden luft kallas för tidalvolym. För en häst är tidalvolymen cirka sex liter och människans omkring en halv liter. (Marlin & Nankervis, 2007; Atrell et al., 2002)

Prestationsförmågan är hos en frisk häst begränsad av hästens andningskapacitet. Vid vila är andningsfrekvensen åtta till 16 andetag per minut och vid maximal ansträngning kan dessa stiga till upp mot 150 andetag per minut. Andningen regleras av muskulaturen i bröst, buk och diafragma. (Pilliner & Davies, 2004) Då hästen galopperar kan hästen vid maximal ansträngning inte utnyttja sin maximala vitalkapacitet, istället kommer andningsfrekvensen anpassas efter rörelsemönstret. Hästen tar då ett andetag per rörelsecykel det vill säga ett andetag per galoppsprång. (Marlin & Nankervis, 2007; Atrell et al., 2002) Muskulaturen som styr andningen hos hästen är sammankopplad med det rörelsemönster hästen har i galoppen. Hästen kommer då att andas in då den lyfter sitt huvud och ”drar ihop kroppen” och andas ut då huvudet sänks och kroppen sträcks ut, se bild 1. (Pilliner & Davies, 2004)





**Bild 1.** In och utandning i galopp är anpassat efter rörelsemönstret (Davies, 2005)

Då hästen rör sig i skritt eller trav kommer andningsfrekvensen att vara påverkad av hästens hastighet. Då hästen rör sig snabbare framåt kommer andningsfrekvensen att öka vilket kommer medföra att volymen luft som byts ut i lungorna kommer att stiga. Rörelsemönstret kommer inte att påverka muskulaturen på samma vis som i galoppen vilket medför att det inte kommer att påverka hästens antal andetag i trav eller skritt. (Marlin & Nankervis, 2007)

## Föroreningar i stallmiljön

I ett häststall finns många förekommande typer av luftföroreningar som är uppkomna både från hästen och från miljön i stallet. Dessa är fukt, värme, damm, ammoniak, och koldioxid. (Webster et al., 1987) Föroreningarna kan variera mycket i olika delar av stallet och kan vara både synliga och icke-synliga (Woods et al., 1993). Den förorening som anses vara den farligaste för hästen är dammpartiklarna. Det icke-respirabla partiklarna som vi kan se med enbart ögat är ofarligt för våra hästar, det fastnar i näshåla och svalg och frustas sedan ut. De partiklar som är för små att kunna ses med blotta ögat, det respirabla dammet, är även för små och lätta för att fastna i de övre luftvägarna och kommer istället fortsätta ner i lungorna där de ger upphov till allergiska reaktioner som kommer bidra till en minskad prestationsförmåga. (Webster et al., 1987; Curtis et al., 1996)

### Respirabla partiklar

Respirabla partiklar är dammpartiklar som inte kan urskiljas med enbart ögat och är 5µm eller mindre. Dessa partiklar är så små att de inte rensas ut ur inandningsluften i de övre luftvägarna utan passerar vidare ner i hästens respirationsorgan. (Webster et al., 1987; Woods et al 1993) I ett traditionellt stall kommer de respirabla partiklarna huvudsakligen från grovfoder och strömedel; halm, spån eller torv (Webster et al., 1987; Clements & Pirie, 2006).

Partiklarna i sig är relativt ofarliga för hästen men varje partikel kan bära med sig mikroorganismer i form av bakterier, mögelsvampar eller sporer av olika slag. Det är dessa mikroorganismer som främst framkallar reaktioner i hästens andningsvägar (Webster et al., 1987) Enligt Statens Jordbruksverk(2007) § 16 får mängden organiska partiklar i ett stall endast tillfälligtvis överskrida ett värde av  $10\text{mg}/\text{m}^3$ . Detta mått är dock relativt ointressant när det gäller lufthygien i häststall, eftersom de farliga, respirabla partiklarna har mycket liten massa.

Clements & Pirie (2006) har gjort en studie där koncentrationen av respirabla partiklar i hästens andningszon i ett stall med mekanisk ventilation har mätts. Två olika mätmetoder användes i studien, en med en laserstråle där partiklarna passerade och bröt ljusstrålen där ljuset då spreds och kunde mäta antalet partiklar samt en metod med ett filter som samlade upp partiklarna. Det undersöktes hur hö, hösilage, halm och spån förhöll sig till varandra. När hästarna utfodrades med hö uppnådde man medelvärden på  $0,0643\text{mg}$  respirabla partiklar/ $\text{m}^3$  då hästarna var uppstallade på spån respektive  $0,0867\text{mg}$  respirabla partiklar/ $\text{m}^3$  då de var uppstallade på halm. När man utfodrade hästarna med hösilage uppnådde man medelvärden på  $0,0260\text{mg}$  respirabla partiklar/ $\text{m}^3$  då hästarna var uppstallade på spån respektive  $0,0317\text{mg}$  respirabla partiklar/ $\text{m}^3$  då de var uppstallade på halm. (Clements & Pirie, 2006)

I stallmiljön kommer grovfodret att påverka koncentrationen av respirabla partiklar i inandningsluften mer än strömedlet (Clements & Pirie, 2006). En av anledningarna till att grovfodret påverkar hästens inandningsluft mer är att de har en närmre kontakt med grovfodret än med strömedlet. Ett hösilage med lägre ts-halt än hö ger ifrån sig mindre antal respirabla partiklar ut i stalluften. Då grovfodret har störst påverkan är det viktigt att finna ursprungskällan för att kunna minska uppkomsten av respirabla partiklar. (Clements & Pirie, 2006; Vandenput et al., 1997)

Webster et al (1987) fann i en studie att strömedlen spån, halm respektive papper gav ifrån sig i princip lika mycket mögelsporer under förutsättningen att bäddarna var välskötta, det vill säga att de är rena och torra. De fann även att dammpartiklarna i stalluften främst kom från strö vid utgödsling, samt att mögelsporerna främst kom från hö av sämre hygienisk kvalitet. Då dessa mögelsporer hamnade i bädden och bädden samtidigt sköttes dåligt fanns en god miljö för mikroorganismer att växa i. (Webster et al., 1987)

## **Påverkan på hästen**

Kvaliteten på den luft som hästen andas in har direkt påverkan på hur dess andningsvägar fungerar (Curtis et al., 1996). I ett stall kan det finnas flera tusen gånger fler respirabla partiklar än vad som finns i den friska luften utomhus (Ventorp & Michanek, 2003). En avgörande faktor för respirabla sjukdomar hos hästen är förekomsten av föroreningar i stalluften (Webster, 1990).

Bakterier och virus kommer att flerdubblas då de kommer ner i respirationsorganen, förutsatt att de fortfarande är vid liv. Allergener så som svampar och sporer framkallar inflammationer i såväl levande som dött tillstånd. En sista grupp är damm och olika gaser, förutom ammoniak, som inte själva kommer ha någon stor påverkan på

respirationsorganen men damm kan bära med sig organismer som är sjukdomsframkallande. (Webster, 1990)

En vanlig sjukdom som kan kopplas till en dålig stallmiljö är Kronisk Obstruktiv Lungsjukdom, KOL, eller Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD, på engelska (Curtis et al., 1996). Detta är en allergisk reaktion mot damm och mögel uppkommen i lungorna orsakat av dålig hygienisk kvalitet på foder samt en dålig stallmiljö. (Dahlqvist, 2010)

Det som händer i respirationsorganen då föroreningarna når ner till bronkeoler och alveoler är att det retar slemhinnan vilket gör att den blir inflammerad och svullnar upp (Dahlqvist, 2010; Curtis et al., 1996). Svullna bronkeoler medför att mer slem kommer att produceras och hästen kommer börja hosta. Att hästen hostar kommer tillslut medföra att de tunna och känsliga väggarna i alveolerna går sönder och flera alveoler går ihop till en större. Då alveolerna går samman kommer den totala ytan där gasutbyte kan ske att bli mindre och därför kommer syretillförseln till cellerna att bli sämre och då minskar prestationsförmågan. (Curtis et al., 1996) Ett vanligt tecken på sjukdom är att andningsfrekvensen ökar och då hästen får svårt att syresätta sig kommer den att bli mycket tröttare än vad den brukar (Dahlqvist, 2010).

Ofta syns sjukdomar i luftvägarna mer hos äldre hästar vilket kopplas till att de har andats in mer förorenad luft under flera år än en ung häst (Curtis et al., 1996). Sjukdomar är även vanligare i kallare länder där hästarna står mycket i stallet och utfodras med stora mängder grovfoder, medan i länder där hästarna går på bete största delen av året är sjukdomen nästintill obefintlig (Cook, 1976).

## **Ventilationssystem**

Hästen kommer vid bildning av energi även att producera värme. Den överskottsvärme hästen producerar kommer att avges via huden och värma dess omgivning. (Raymond et al., 2013; Webster et al., 1987) Varm luft stiger, vilket är en egenskap som kan utnyttjas för att ventilera stallet (skorstenseffekten) (Webster et al., 1987).

Partiklarna i stallluften har direkt påverkan på den luft som hästen andas in. Detta kommer att vara beroende av den ventilation som finns i stallet, dvs. antalet luftbyten som stallets ventilation klarar av. (Webster, 1990)

En partikel som väl har blivit luftburen förblir det under en lång tid, sedimenteringen sker långsamt. En partikel på 0,6 µm tar 27,8 timmar att falla 1m under vindstilla förhållande. För respirabla partiklar är alltså sedimentering inte någon faktor av betydelse. Den huvudsakliga reningskällan för luftburna partiklar är en god ventilation. (Magnusson, 1991)

## **Naturlig ventilation**

En naturlig ventilation drivs av naturens lagar, och en viktig princip är att varm luft stiger (Webster et al., 1987). Genom att hästarna värmer upp den luft som finns i stallet till en högre temperatur än ute kommer den att stiga ut ur stallet via så kallade frånluftsöppningar placerade i taket eller högt upp på väggarna. (Bruse, 1978; Webster et al. 1987) Då den varma luften stiger ut ur stallet bildas ett undertryck i stallet.

Undertrycket medför att ny frisk luft sugts in genom tilluftsöppningar på en lägre höjd för att behålla ett jämt tryck i stallet. Med den luft som stiger ut ur stallet kommer även föroreningarna som finns i stalluften att transporteras ut. Till- och frånluftsöppningarna bör vara placerade över hela stallet för att få ett bättre utbyte av luften. Webster et al. (1987) menar på att det skall vara en tilluftsöppning på en yta av minst  $0,3\text{m}^2$  per häst samt frånluftsöppningar på en yta av minst  $0,15\text{m}^2$  per häst. Bruce (1978) säger att tilluftsöppningarna i förhållande till frånluftsöppningarna vid en naturlig ventilation bör vara minst dubbelt så stora.

I väl ventilerade stall, där temperaturskillnaden mellan ute och inne är liten, kommer vinden att vara den kraft som huvudsakligen driver ventilationen (Bruce, 1978). Vindriktning och vindhastighet kommer till att påverka flödet genom till- och frånluftsöppningar. Öppningar på motsatta sidor av stallbyggnaden medför att ena sidans öppningar fungerar som tilluftsdon medan motsatt sida fungerar som frånluftdon. (Bruce, 1978; Webster et al., 1987) Vilken sida som är vad beror på vinden ute, och kan variera från dag till dag. (Bruce, 1978)

### **Mekanisk ventilation**

En mekanisk ventilation är oberoende av vädret och hästarnas värmeavgivning (Wålinder et al., 2010). En eller flera fläktar är placerade i stallet för att ge ett tillförlitligt luftflöde oberoende av yttrefaktorer (Wålinder et al., 2010). En mekanisk ventilation kan vara konstruerad på olika sätt, en frånluftsfläkt kräver att man har tilluftsöppningar. Dessa behöver inte nödvändigtvis vara av en mekanisk karaktär, utan kan vara konstruerade på samma vis som vid ett naturligt ventilationssystem. Tilluftsöppningarna skall, då fläktens maximala kapacitet skall utnyttjas, ha en yta av  $1\text{cm}^2$  per  $1\text{m}^3$  luft som fläkten ger per timme. Underskrids detta värde kommer ett motstånd att uppkomma vid införande av luft genom tilluftsöppningarna, vilket gör att fläkten kommer transportera ut en mindre volym luft än vad den är kapabel till. (Ventorp & Michanek, 2003)

### **Hur byts luften ut?**

I ett stall behöver man kontinuerligt byta ut luften så den hålls fri från föroreningar, detta beräknas med antalet luftbyten per timme, det vill säga hur många gånger all luft i stallet byts ut under en timme (Cook, 1976). För att kunna ventilera ut tillräckligt stor mängd av föroreningarna rekommenderar Webster et al. (1987) att man skall ha minst fyra luftbyten varje timme, detta förutsätter att bäddarna är välskötta samt att grovfodret är av god hygienisk kvalitet. Fyra luftbyten bör inte underskridas (Cook, 1976; Magnusson, 1991; Webster et al., 1987), för då kommer man att få en kraftig stigning av partikelkoncentrationen i stalluften (Cook, 1976; Webster et al., 1987).

Cook (1976) anser att luften bör bytas åtta till tio gånger varje timme för att ha ett stallklimat som är i princip fritt från respirabla partiklar men utan att drag uppstår. Medan Magnusson (1991) menar på att fler än åtta luftbyten per timme är onödigt då antalet luftbyten inte kommer leda till en bättre lufthygien eftersom att partikelhalten redan är så utspädd att det inte ger något nämnvärt utslag.

Enligt svensk standard SS 951051 anges minimiventilationsbehovet till  $30\text{-}70\text{m}^3/\text{h}$  och häst (500kg). Maximiventilationen anges till  $280\text{-}320\text{m}^3/\text{h}$  och häst. Variationen av

värdena beror på att det finns olika klimatzoner i Sverige. Även utfodring, stalltemperatur, relativ luftfuktighet och koldioxidhalt kommer att påverka variationen av ventilationsbehovet. (Svensk Standard, 1992)

I svenska djurskydds föreskrifter anges för en häst med en mankhöjd på 161 centimeter (500kg) att en box skall vara minst nio kvadratmeter med en kortaste sida på två och en halv meter. Takhöjden skall vara minst en och en halv gånger mankhöjden, det vill säga  $2,415 \text{ m}^2$ . Detta ger en volym på  $21,735 \text{ m}^3$ . (Statens Djurskyddsverk, 2007) Svensk standard SS 951051s minimibehov av  $30\text{-}70 \text{ m}^3/\text{h}$  och häst (500kg) motsvarar  $1,4\text{-}3,2$  luftbyten per timme. Maximibehovet på  $280\text{-}320 \text{ m}^3/\text{h}$  och häst motsvarar  $12,9\text{-}14,7$  luftbyten per timme. (Svensk Standard, 1992; Statens Jordbruksverk, 2007)

I en studie gjord av Wålinder et al., (2010) installerades ett mekaniskt ventilationssystem i ett stall som tidigare var beroende av att man hade fönster och dörrar öppna för att luften skulle vara av god hygienisk kvalitet. Mätningar gjordes både före och efter installationen. Efter installationen såg man att koncentrationen av mögelpartiklar var minskad samt att koldioxidhalten var halverad. Detta tyder på att den mekaniska ventilationen gav stallet en förbättrad luftkvalitet. (Wålinder et al., 2010)

Curtis et al. (1996) har genomfört mätningar av koncentrationen av respirabla partiklar i stallmiljö vid utgödsling där man strött med papper eller halm. Resultatet visade att tiden tills partiklarna i luften hade eliminerats blev i princip halverad vid en ventilation med 27 luftbyten per timme jämfört med 5 luftbyten per timme (Curtis et al. 1996).

I ett stall med en box som är  $3*3\text{m}$ ,  $9\text{m}^2$ , och en stallgång med  $2,5*2\text{m}$ ,  $5\text{m}^2$ , till varje box. Takhöjden i detta stall är 3m. Den totala volymen för varje häst blir då  $42\text{m}^3$  vilket menas med att ett luftbyte skall motsvara samma volym luft. Om man har Om luften skall bytas med fyra luftbyten varje timme i samma stall betyder det att det skall bytas ut  $168\text{m}^3$  luft varje timme till varje häst i stallet. Har man däremot den rekommenderade mängden luftbyten på åtta stycken skall det bytas ut  $336\text{m}^3$  luft varje timme till varje häst i stallet.

Med 27 luftbyten som Curtis et al. (1996) rekommenderar skall det bytas ut  $1134\text{m}^3$  luft i en box varje timme. Har man då tio boxar i detta stall skall  $11340\text{m}^3$  luft bytas ut varje timme. Detta är enormt stora volymer vilket bör betyda att det blir ett drag i stallet. Med åtta luftbyten varje timme i samma stall kommer  $336\text{m}^3$  luft att bytas i varje box varje timme. Hela stallet med tio boxar kommer då att byta ut  $3360\text{m}^3$  luft varje timme. Av detta är det rimligt att anta att det är fullt tillräckligt med de åtta luftbyten som Cook (1976) och Magnusson (1991) rekommenderar. Det är även betydligt högre luftflöde än vad jordbruksverket (2007) anger som maximalflöde på  $280\text{-}320 \text{ m}^2/\text{h}$  och häst.

## **Beräkning av luftbyten med hjälp av halveringstid**

Metoder för att mäta antalet luftbyten i ett naturligt ventilerat stall finns sedan tidigare. Problemet är att de antingen ger osäkra resultat eller så kräver de dyr utrustning, vilket gör att de blir svår använda. (Michanek & Magnusson, 1992) Webster et al. (1987) har i en studie visat att tillförandet av rökpartiklar eller spårgas i stallmiljön kan användas till att mäta ventilationsflödet. Koncentrationen av tillförda rökpartiklar mättes i stallmiljön och visade då en exponentiell minskning (utspädningseffekt). Ventilationsflödet kunde beräknas med hjälp av den uppmätta halveringstiden. Användandet av rökpartiklar och

spårgas är två metoder där principen är densamma. Slutsatsen har dragits att rökpatroner är mer användbart då den är mer effektiv och enklare att använda i praktiken. (Webster et al., 1987)

Ett projektarbete är gjort på Hippologprogrammet 2011 där ventilationsflödet i fyra olika stall beräknades med hjälp av att mäta koldioxidhalten. Genom att veta hur mycket koldioxid hästarna producerar (vilket är känt om man vet hur mycket foder hästarna får) och koldioxidkoncentrationen ute kan nedanstående formel användas för att beräkna ventilationsflödet;

$$\text{Luftflödet} = \frac{\text{CO}_2\text{produktionen}}{\text{CO}_2\text{koncentrationen}_{\text{inne}} - \text{CO}_2\text{koncentrationen}_{\text{ute}}} * 1000$$

Slutsatsen av studien var att mätning av koldioxidkoncentrationen kan vara en användbar metod för att få ett ungefärligt värde på ventilationsflödet i ett stall. (Ödman et al., 2011)

Att sprida rökpartiklar i stallmiljön för att beräkna luftflödet har även gjorts av Michanek och Magnusson (1992). I deras studie har tre olika metoder jämförts; värme och relativ luftfuktighet, koldioxidhalt och spridning av rökpartiklar. Stallet som användes hade åtta boxar och hade mekanisk undertrycksventilation där fläkthastigheten var reglerbar mellan 0,9 och 8,8 luftbyten per timme. I studien användes fyra olika luftflöden, 2,8, 4,0, 6,9 och 8,5 luftbyten per timme. Observationstiden var mellan 21.00 och 03.00, då det inte var någon annan aktivitet i stallet. De åtta hästar som deltog i studien hade en vikt på 500kg vardera. Hästarnas vikt, pälsens tjocklek, foderintag samt stallets temperatur är faktorer som användes för att beräkna hästens värme- och fuktavgivning. (Michanek & Magnusson, 1992)

Temperatur och relativ luftfuktighet mättes i en av boxarna 65 centimeter ovanför golvet samt i den inkommande luften och man kunde då beräkna antalet luftbyten i stallet med hjälp av fuktbalansberäkning. Koldioxidhalten mättes också i en box 65 centimeter ovanför golvet samt i luften utanför stallet och därefter kunde ventilationsflödet beräknas med hjälp av koldioxidbalans. (Michanek & Magnusson, 1992)

Tredje, och sista metoden var spridningen av rökpartiklar. Rökpartiklar av storleken 0,5 till 5 µm spreds i försöksboxen som var belägen i mitten av stallet. Röken fick sprida sig under tio minuter och därefter började en partikelräknare genom en silikon slang i testboxens vägg att suga in luft, i vilken antalet partiklar mättes med en minuts intervall i tio minuter. För att uppskatta ventilationsflödet med hjälp av rökpartiklarnas halveringstid användes följande formel;  $\ln \frac{1}{2} = -AT$ , där A är antalet luftbyten per timme och T är halveringstiden. I formeln antas att ventilationen är den enda signifikanta faktorn som eliminerar luftburna partiklar. (Michanek & Magnusson, 1992)

Resultatet visades enligt tabell 1.

**Tabell 1.** visar resultat i studie av Michanek och Magnusson (1992) där man utvärderat trovärdigheten av tre olika metoder att mäta ventilationsflödet i ett stall

| <b>Fläktens luftflöde</b>       | <b>2,8</b> | <b>4,0</b> | <b>6,9</b> | <b>8,5</b> |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Värme och Relativ luftfuktighet | 3,4        | 5,8        | 7,6        | 6,9        |

|              |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| Koldioxid    | 2,4 | 4,0 | 6,5 | 6,1 |
| Rökpartiklar | 3,2 | 5,6 | 8,5 | 9,7 |

Att ventilationsflödet beräknat med hjälp av rökpartiklarnas halveringstid låg över fläktens värde var förväntat, då rök spreds endast i en box, inte hela stallet, vilket medförde en viss utspädningseffekt. När ventilationsflödet beräknades med hjälp av fukt- respektive koldioxidbalans kommer mätvärdena att påverkas av var i boxen hästen står med sin nos. Står den nära mätarna kommer värdena att stiga då hästen andas. (Michanek & Magnusson, 1992)

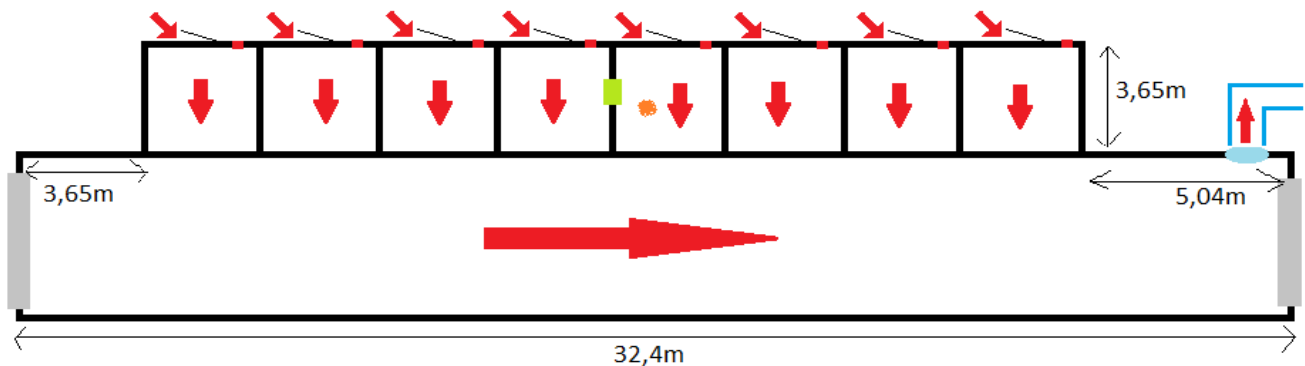
Förutom att beräkning av ventilationsflödet med hjälp av rökpartiklar visade bäst överensstämmelse med det faktiska flödet har metoden också fördelen att direkt mäta ventilationens förmåga att evakuera respirabla partiklar, vilket är ventilationens viktigaste uppgift. (Michanek & Magnusson, 1992)

## MATERIAL OCH METOD

Databaser som har använts vid sökande av bakgrundsmaterial är web of knowledge, google scholar, PubMed och primo. Artiklar är uppsökta av referenser från funna artiklar. Sökorden har varit följande: *horse\**, *equine*, *ventilation\**, *aeration\**, *dust*, *respirable particle*, *stable\**, *barn*, *fan*, *respiratory disease*.

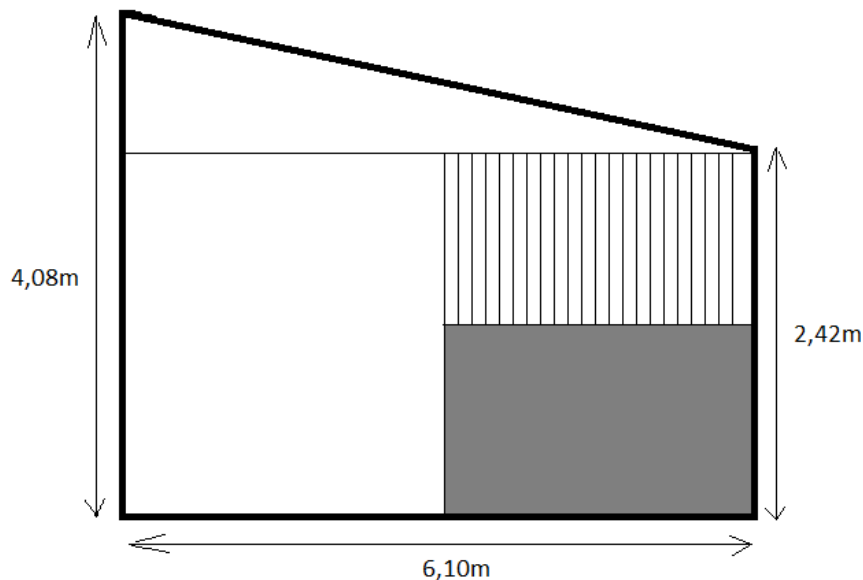
### Stall

Ett stall med åtta boxar användes i studien. Boxarna låg placerade på en rad med en stallgång på ena sidan. Vid kortsidan av stallet var en frånluftsfläkt placerad (E00-45000, Rosenbergventilationen GmbH, Tyskland), se bild 2 och 3.



- Rökpatronens placering
- Partikelräknarens placering
- Luftström
- Ytterdörrar
- Frånluftsfläkt
- Fönster

**Bild 2.** Sektions skiss av försöksstallet sett ovanifrån. Visar rökpatronens placering, partikelräknarens placering, luftströmmen, dörrar, fönster samt fläktens placering.



**Bild 3.** Sektionsskiss av försöksstallet sett från kortsidan.

Fläkten hade en diameter på 50 cm. Varje box hade en tilluftsventil samt ett öppningsbart fönster. Under studien var fönstren delvis öppna för att uppnå tillräcklig tilluftsarea.

Tilluftsarean beräknades efter fläktens kapacitet. För varje kubikmeter luft fläkten transporterar ut per timme skall den finnas en kvadratcentimeter tilluftsöppning. Detta mått är baserat på att det inte skall bli ett undertryck i stallet så att fläkten inte kan ge sin maximala kapacitet. (Ventorp & Michanek, 2003). Boxarna var strödda med en permanent spånbedd. Hästarna utfodrades med hösilage.

### Fönstrens öppning

Fläktens kapacitet beräknades (se i resultat sidan 18-20) till  $2043 \text{ m}^3/\text{h}$ , vilket betyder att den totala arean för tilluftsinsläppen skall vara  $2043 \text{ cm}^2$ . Tilluftsventilerna har en area på  $922,5 \text{ cm}^2$  vilket ger att fönstren totalt skall vara öppna till en area på  $1120,5 \text{ cm}^2$ . Det är åtta stycken fönster vilket ger att varje fönster skall ge ett tilluftshål på  $140, \text{ cm}^2$ .

### Stallets volym

Stallets totala volym är  $555 \text{ m}^3$  vilket ger varje häst en volym på  $69 \text{ m}^3$ .

### Hästar

I försöket användes åtta stycken hästar ägda av Flyinge AB födda mellan åren 1998 till 2004. Hästarna bor till vardags i försöksstallet och arbetar på Hippologprogrammet årskurs 1.



## Partikelräknare

En handhållen partikelräknare av märket MET ONE HHPC 3+ användes under försöket. Under försöket var den inställd på att mäta partiklar av storleksordningen  $1,0 \mu\text{m}$  och större. Partikelräknaren mäter under 20 minuter, där varje minut har 30 sekunders mätning och 30 sekunders paus.

## Rökpatroner

Rökpatronerna som användes till studien var av märket MINIAX, Björnax AB. Brinntiden är 45 sekunder.

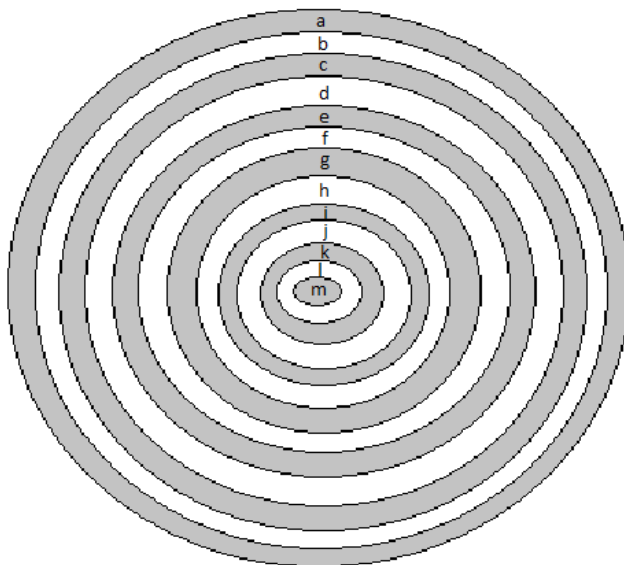
## Lufthastighetsmätare

Lufthastighetsmätaren som användes i denna studie var av märket Compuflow Thermo-Anemometer GGA-65P, ALNOR.

## Utförande

### Referensvärde av fläktens kapacitet

Frånluftsfläktens kapacitet beräknades med hjälp av en lufthastighetsmätare. Ett hål borrades i trumman som leder luften ut ur stallet. Lufthastighetsmätaren fördes in i trumman och hastigheten mättes vid varannan centimeter. Trummans diameter var 50cm vilket betyder att mätningarna skedde 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 och 25 centimeter in i trumman. Trumman delades in i cirklar, eller ringar, (se bild 4) där varje ring hade en egen area samt en egen uppmätt lufthastighet (se bilaga 1). Denna indelning gjordes då det visade sig att det var en stor variation av lufthastigheten i olika delar av trumman. För varje ring beräknades hur mycket luft som passerar i just den ringen för att sedan kunna lägga ihop hela trummans area och den totala mängden luft som fläkten transporterar ut varje timme, det vill säga fläktens kapacitet.



**Bild 4.** Genomsnitt av hur lufttrumman delades in vid mätning av ventilationsflödet.

För att beräkna varje cirkels area användes följande formel:  $A_c = r^2 * \pi$ , där A är arean, c är cirkeln och r är radien.

Varje rings area beräknades genom att ta arean av den aktuella cirkeln minus arean av cirkeln innanför (se bilaga 1). Det som blir kvar är arean för ringen.

Beräkning av hur mycket luft som passerar i varje ring gjordes med hjälp av följande formel:  $L = A * \text{lufthastigheten} * 3600$ , där L är kubikmeter luft per timme, A är ringens area i kvadratmeter och lufthastigheten är i meter per sekund (se bilaga 1).

Alla ringars luftflöde lades samman vilket gav den totala mängden luft som fläkten transporterar ut ur stallet varje timme. För att sedan ta reda på antalet luftbyten per timme divideras den totala mängden luft som fläkten transporterar ut varje timme med stallets volym.

### **Mätning av halveringstid (Försök 1-7)**

Nedan beskrivna försök genomfördes sju gånger.

Klockan 16.00 stängdes alla dörrar till stallet och fönstren hölls öppna enligt beräkningar. Täckena togs av hästarna så att hästarnas värmeproduktion kunde utnyttjas maximalt, det vill säga att hästarnas värmeproduktion värmer upp luften och den varma luften kommer att stiga och leta sig ut ur stallet. Vid 16.00 startades även fläkten i stallet. En timme senare påbörjades försöket.

Under hela försöket var hästarna i boxarna, även i försöksboxen.

Det första som gjordes var att mäta partikelhalten i stallet. Partikelräknaren placerades i försöksboxen och startades. Här efter stängdes fläkten av.

Rökpatronen placerades sedan i försöksboxen i en brandsäker behållare, se bild 5. Den tändes med tändstickor och brann i 45 sekunder. Röken spred sig sedan ut i försöksboxen samt ut i stallet under 20 minuter. Efter 20 minuter startades fläkten samt partikelräknaren.



**Bild 5.** Visar rökspridning från brandsäker behållare

Partikelhalternas värden bildade en graf där partikelantalet minskade exponentiellt. Utifrån grafen kunde halveringstiden utläsas, det vill säga hur många minuter det tog för partikelhalten att halveras. När halveringstiden var beräknad kunde följande formel användas för att beräkna antalet luftbyten i stallet;  $\ln \frac{1}{2} = -AT$ , där A är antalet luftbyten per timme och T är halveringstiden (Michanek & Magnusson, 1992).

Det antal luftombyten som formeln gav, det beräknade luftflödet, jämfördes med antalet luftbyten som fläkten gav, referensvärdet.

## **Beräkning av antalet försök**

Resultaten från de sju olika försöken lades i alla möjliga kombinationer av tre (totalt 35 olika kombinationer) respektive fyra (totalt 20 olika kombinationer). Ett medelvärde av ventilationsflödet beräknades för varje kombination som sedan ställdes mot fläktens referensvärde. Det beräknades ur många luftbyten ifrån fläktens referensvärde som medelvärdet faktiskt var, det togs inte hänsyn till om det var ett positivt eller negativt värde. Slutligen studerades hur många procent av de möjliga kombinationerna för tre respektive fyra försök som ligger inom ett respektive ett halvt luftbyte per timme från fläktens referensvärde

## **RESULTAT**

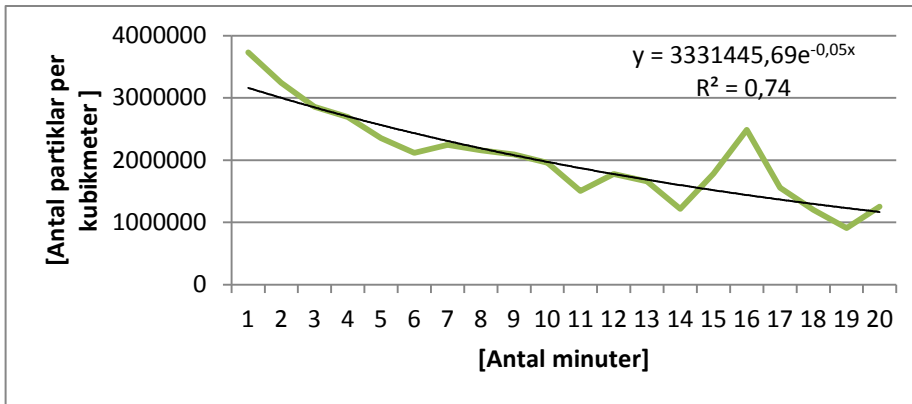
### **Referensvärde för ventilationsflödet**

Lufthastigheten som uppmättes med lufthastighetsmätaren inne i trumman presenteras i tabell 2. Arealen för de olika cirkelarna med den specifika radien presenteras i tabell 3. Varje ring har även en egen area vilken beräknas genom att subtrahera arean av cirkeln innanför, se tabell 4. I varje ring beräknas ett specifikt luftflöde, se tabell 5, med hjälp av arean och den uppmätta lufthastigheten. Det totala luftflödet för hela trumman är 2043 m<sup>3</sup>/h vilket med stallets volym på 555 m<sup>3</sup> ger att antalet luftbyten är 3,68 ac/h.

### **Beräkning av ventilationsflöde**

#### **Försök 1**

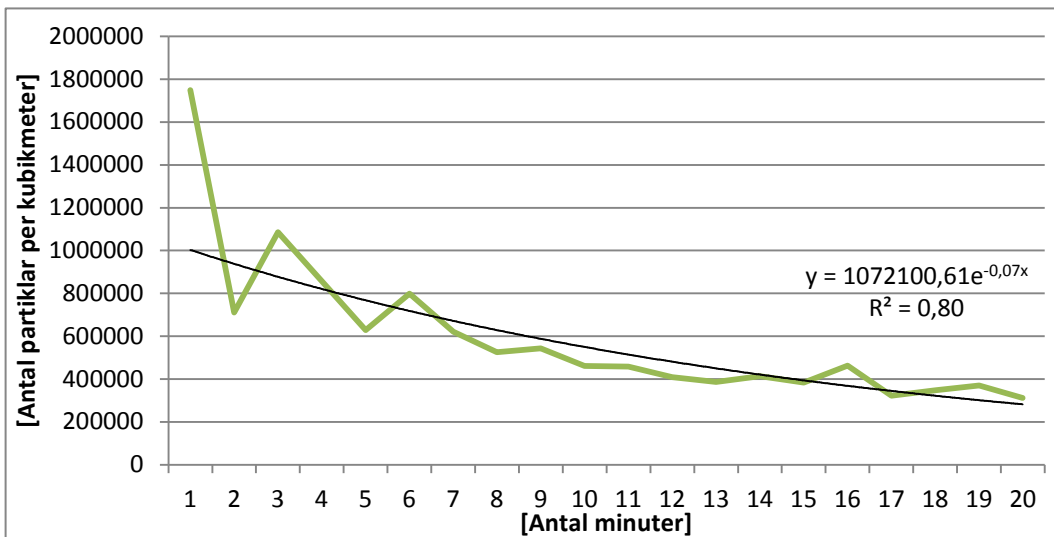
Koncentrationen av partiklar var före spridning av rök 42935 stycken per kubikmeter. Efter frisättning av rökpartiklar mättes koncentrationen av partiklar i stalluften under 20 minuter, se figur 1. Utifrån den exponentiellt avtagande grafens funktion  $y = 3331445,69e^{-0,05x}$  beräknades halveringstiden till 13,86 minuter, vilket motsvarar 0,231 timmar. Då rökpartiklarnas halveringstid är känd kan med hjälp av följande formel  $\ln \frac{1}{2} = -AT$ , där A är antalet luftbyten per timme och T är halveringstiden, antalet luftbyten per timme beräknas (Michanek & Magnusson, 1992). Det beräknade antalet luftbyten vid en halveringstid på 0,231 timmar motsvarar tre luftbyten per timme.



Figur 1. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 1 efter rökspridning.

## Försök 2

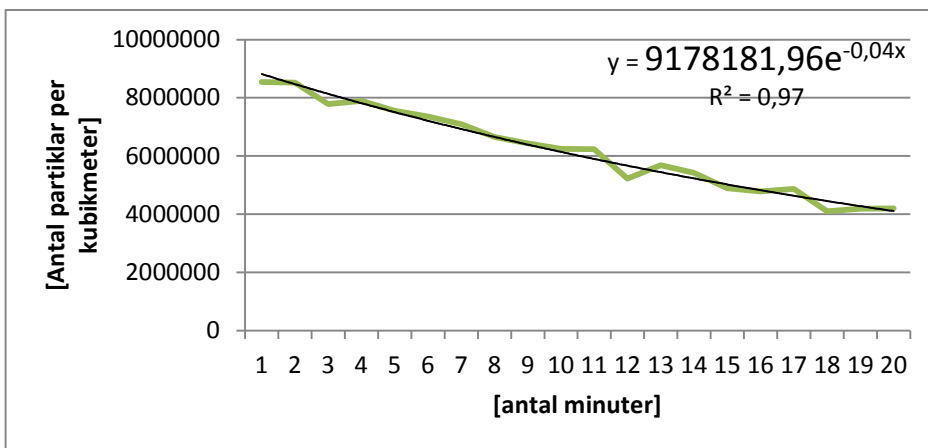
Försöksstallet hade innan frisättning av rökpartiklar en koncentration av partiklar på 42935 stycken per kubikmeter. Efter frisättning av rökpartiklar mättes koncentrationen under 20 minuter, se figur 2. En exponentiell avtagning visas enligt  $y = 1072100,61e^{-0,07x}$  vilken ger en halveringstid på 10,86 minuter som motsvarar 0,181 timmar för rökpartiklarnas eliminering ur försöksstallet vilket ger ett ventilationsflöde på 3,83 luftbyten per timme.



Figur 2. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 2 efter rökspridning.

## Försök 3

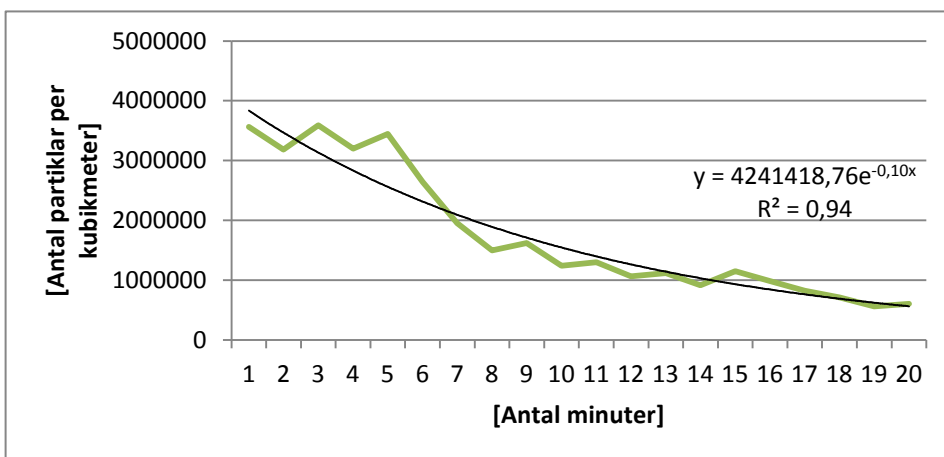
Partikelkoncentrationen i försöksstallet innan frisättning av rökpartiklar var 149912 stycken per kubikmeter. Koncentrationen av frisatta rökpartiklars eliminering mättes under 20 minuter, se figur 3. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning beskrivs enligt  $y = 9178181,96e^{-0,04x}$  och ger en halveringstid på 17,32 minuter vilket motsvarar 0,289 timmar. Luftbytena per timme beräknas till 2,39.



Figur 3. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 3 efter rökspridning.

## Försök 4

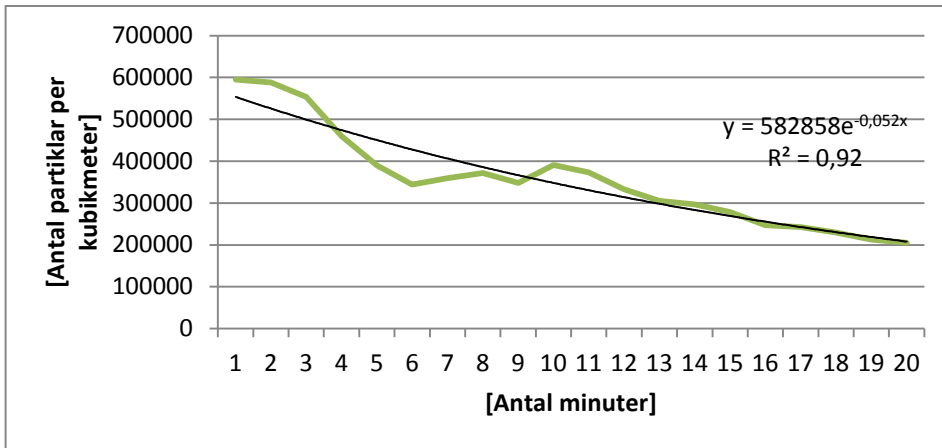
Koncentrationen av partiklar i stalluften var innan rökspridning 149912 stycken per kubikmeter. Efter spridning av rökpartiklar ger ventilationsflödet en exponentiell avtagning enligt  $y = 4241418,76e^{-0,10x}$ , se figur 4, vilket ger en halveringstid på 6,93 minuter som motsvarar 0,1155 timmar. Detta ger att det beräknade ventilationsflödet har en kapacitet på sex luftbyten per timme.



Figur 4. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 4 efter rökspridning.

## Försök 5

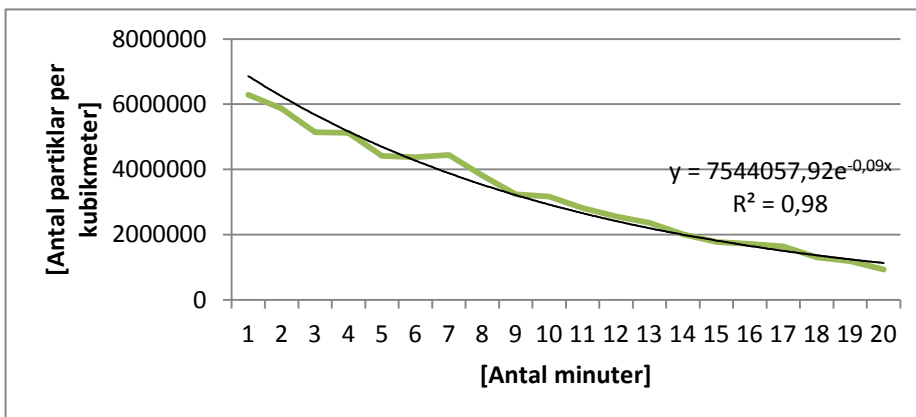
Koncentrationen av partiklar i försöksstallet innan rökspridning var 149912 stycken per kubikmeter. Rökpartiklarnas eliminering mättes under 20 minuter vilket gav upphov till formeln  $y = 582858e^{-0,052x}$ , vilken beskriver den exponentiella avtagningen som sker, se figur 5. Halveringstiden var 13,33 minuter vilket motsvarar 0,222 timmar. Detta ger att det beräknade ventilationsflödet i försöksstallet är 3,12 luftbyten per timme.



Figur 5. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 5 efter rökspridning.

## Försök 6

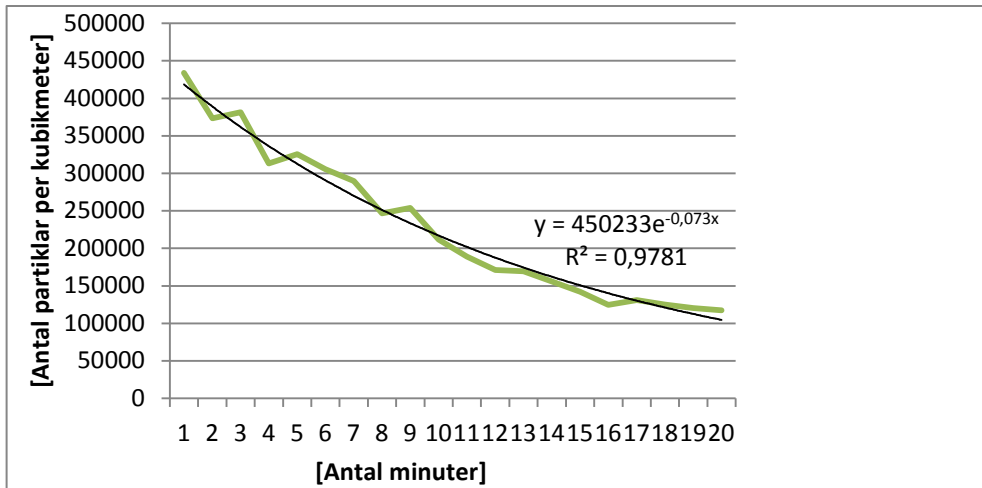
Koncentrationen av partiklar i försöksstallet var innan spridning av rökpartiklar 124472 stycken per kubikmeter. Efter rökspridning kommer rökpartiklarnas eliminering mättes under 20 minuter vilket beskrivs genom  $y = 7544057,92e^{-0,09x}$ , se figur 6. Halveringstiden var 7,7 minuter vilket motsvarar 0,128 timmar. Det beräknade ventilationsflödet i stallet är 5,4 luftbyten per timme.



Figur 6. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 6 efter rökspridning

## Försök 7

Koncentrationen av partiklar i försöksstallet var före rökspridning 124472 stycken per kubikmeter. Efter rökspridning mättes rökpartiklarnas eliminering under 20 minuter vilket beskrivs i  $y = 450233e^{-0,073x}$ , se figur 7. Halveringstiden är 9,5 minuter vilket motsvarar 0,158 timmar. Det beräknade luftflödet är 4,38 luftbyten per timme.



Figur 7. Rökpartiklarnas exponentiella avtagning i försök 7 efter rökspridning

Resultaten från försök ett till sju visas i tabell 6. Medelvärden för det beräknade luftflödet för försök ett till sju är beräknat till 4,0 luftbyten per timme och standardavvikelsen är beräknad till 1,3.

Tabell 6. Sammanställning av resultat från försök 1-7

| Försök | Ac/h | Skillnad från referensvärde | Partikelnivå [miljoner/m <sup>3</sup> ] |
|--------|------|-----------------------------|---|
| 1      | 3    | 0,68                        | 1-3                                     |
| 2      | 3,83 | 0,15                        | 0,4-1,2                                 |
| 3      | 2,39 | 1,29                        | 4-9                                     |
| 4      | 6    | 2,32                        | 1-3,5                                   |
| 5      | 3,12 | 0,56                        | 0,2-0,6                                 |
| 6      | 5,4  | 1,72                        | 1-6                                     |
| 7      | 4,38 | 0,7                         | 0,1-0,4                                 |

### Beräkning av antalet försök

Det beräknade medelvärdet för alla möjliga kombinationer av tre olika försök ger 35 olika medelvärden som ligger mellan 2,84 och 5,26 luftbyten per timme. Skillnaden från fläktens referensvärde ligger mellan 0,05 upp till 1,58 luftbyten per timme. Det procentuella antalet medelvärden som ligger inom ett luftbyte per timme från fläktens referensvärde är 86 procent medan 60 procent ligger inom ett halvt luftbyte per timme från referensvärdet.

Medelvärdet för alla möjliga kombinationer av fyra olika försök ger totalt 20 olika medelvärden. Dessa ligger mellan 3,08 och 4,7 luftbyten per timme. Skillnaden från fläktens referensvärde ligger mellan 0 och 1,02. Inom ett luftbyte per timme från

referensvärdet ligger 95 procent av medelvärdena medan 65 procent ligger inom ett halvt luftbyte per timme från fläktens referensvärde.

## **Vindhastighet samt vindriktning**

För att kunna utvärdera resultatet har data från SMHI hämtats angående vindhastighet samt vindriktning. Vid försök ett och två har vindriktningen varit mellan 139 och 154 grader, med ett medelvärde på 145 grader, där 0 grader motsvarar norr. Vindhastigheten vid samma försök har varit från 1,7 till 2,4 meter per sekund. Försök tre till fem har haft en vindriktning mellan 249 och 257 grader, med medelvärdet 253 grader, samt en vindhastighet mellan 3,1 och 4,3 meter per sekund. Slutligen har försök sex och sju haft en vindriktning mellan 208 och 214 grader, med medelvärdet 210 grader, samt en vindhastighet mellan 6,9 och 7,3 meter per sekund. (Berglund, pers. medd., 2014)

## **DISKUSSION**

Referensvärdet på ventilationsflödet i försöksstallet valdes att beräknas med hjälp av en lufthastighetsmätare. Fläktens teoretiska värde ansågs inte tillförlitligt då fläkten suttit i stallet i många år och galler och kanal var delvis igensatt med damm samt att det vid kontrollmätning visade sig att lufthastigheten låg markant lägre än det teoretiska värdet. Valet att beräkna arean av luftrumman med ringar gjordes då resultatet av lufthastighetsmätningen visade stor variation av hastighet i olika delar av trumman. Med den använda metoden ansågs värdet bli mer korrekt. Det antogs att det var samma lufthastighet oberoende från vilket håll lufthastighetsmätaren stacks in i luftrumman, så länge djupet var detsamma. För ännu mer exakt mätning bör fler mätpunkter användas, exempelvis liknande metod som denna men med ingång från fyra olika håll. Detta hade gett fyra gånger så många mätpunkter vilket även hade gett ett ännu mer exakt referensvärde.

Det värde som fläkten genererade utifrån lufthastighetsmätaren med en luftomsättning på 3,68 luftbyten på timme i försöksstallet är ett värde som enligt Cook (1976), Magnusson (1991) och Webster et al. (1987) är på gränsen till att vara för lågt. De rekommenderar att antalet luftbyten inte bör understiga fyra då partikelhalten i stalluften kommer få en kraftig stigning (Cook, 1976; Magnusson, 1991; Webster et al., 1987). Att det ligger så lågt i försöksstallet beror troligtvis mestadels på att fläktens hastighet inte var på högsta frekvensen, den var på intensitet fyra av fem. För att ventilera detta stall med den mekaniska ventilationen bör högsta hastigheten användas för att uppnå minsta rekommenderade luftflöde.

I denna studie valdes att genomföra mätningarna med en luftomsättning som var något lägre än den bör i ett häststall. Detta eftersom att mätningarna i luftrumman var gjorda och det låga värdet konstaterades efter beräkningar i efterhand och tiden därefter var begränsad till de inhyrda maskinerna. Detta är endast ett värde som används till kontroll av det beräknade värdet med hjälp av rökpartiklarnas halveringstid vilket gör att det inte kommer att ha en direkt inverkan på försökets resultat och slutsats. För framtida studier är det av intresse att studera flödet vid olika intensiteter på fläkten i detta försöksstall.

Det ventilationsflöde som beräknades med hjälp av rökpartiklarnas halveringstid visade sig överensstämma relativt väl med flödet i trumman. Medelvärdet beräknades till 4,0



luftbyten per timme, vilket ligger endast 0,3 luftbyten per timme över det värde som uppmättes i lufttrumman. Att det ligger något högre kan beror på att det sker en fortsatt utspädning till stalluften utanför försöksboxen efter det att mätningen var påbörjad. Vid mätningarnas början är det inte säkert att partiklarna fördelats jämnt i hela stallet. Om man ännu mer exakt vill veta ventilationsflödet bör man säkerställa att röken sprids jämnt i hela stallbyggnaden.

Standardavvikelsen var 1,3 vilket betyder att fem av sju försök ligger inom en standardavvikelse, medan de två andra ligger inom två standardavvikelser.

Vid de sju olika försöken låg partikelnivåerna vid mätningarnas början på olika nivåer, vilket kan ha påverkat resultatet. I försök två, fem och sju skedde mätningarna med partikelräknaren vid partikelnivåer under en miljon per kubikmeter. Dessa försök gav resultaten 3,83, 3,12 och 4,38 luftbyten per timme vilket ger ett medelvärde på 3,78. Jämförs detta med fläktens referensvärde på 3,68 som är uppmätt med luftfästighetsmätaren ligger det väldigt nära. Det är rimligt att mätning bör ske vid partikelnivåer som inte är för höga, eftersom att mätvärdena förlorar i precision vid höga partikelhalter enligt produktblad.

Vindriktning och vindhastighet visar i studien inte någon uppenbar inverkan på resultatet. En analys av dessa faktorer skulle dock kräva betydligt mer data.

Vid försök ett och två visar graferna i resultatet en del utstickare från den exponentiella trendlinjen. Detta betyder att partikelhalten har stigit relativt kraftigt under en kort sekvens. Detta kan bero på att hästarna, som var lösa i boxarna, rörde sig och drog upp damm från bädden.

Antalet luftbyten i ett stall bör för att hålla partikelnivån på en nivå som inte skadar hästarnas respirationsorgan ligga över fyra luftbyten per timme (Cook, 1976; Magnusson, 1991; Webster et al., 1987). För att hålla partikelhalten så låg som möjligt bör antalet luftbyten i ett stall inte understiga åtta stycken per timme (Cook, 1976; Magnusson, 1991). Detta kommer motsvara att halveringstiden bör ligga mellan 5 minuter 12 sekunder och 10 minuter 24 sekunder.

Hästarnas rörelse i boxarna kommer till att påverka koncentrationen av partiklar vid försökets början. Detta är en av faktorerna till att det varit olika koncentration vid försöken. En annan faktor är att det inte spridits ny rök till varje försök då de gjorts direkt efter varandra och koncentrationen av föregående rökpatron varit så pass hög redan. Vid framtida studier bör man istället för att säga att man skall mäta en viss tidpunkt efter att rökpatronen brunnit istället mäta då man kan se med hjälp av partikelräknaren att koncentrationen kommit ner till en mer tillförlitlig nivå, utefter denna studie under en miljon per kubikmeter.

Till ett framtida användande av rökpartiklars halveringstid till att bestämma luftflödet i ett naturligt ventilerat stall bör mätning ske mer än en gång. Utifrån denna studie där det beräknats medelvärden på alla möjliga kombinationer av tre respektive fyra försök. Det man kan se är att ju fler mätningar man gör desto mer troligt blir resultatet. Vid jämförelse av spridningen på medelvärdena kan man se att vid fyra försök inräknade i medelvärdet för medelvärdena en mindre spridning från fläktens referensvärde jämfört med tre inräknade försök. Vid fyra inräknade försök kan det konstateras att markant fler

procent av mätningarna hamnar inom både ett och ett halvt luftbyte per timme från fläktens referensvärde jämfört med alla möjliga kombinationer av tre försök.

I studien gjord av Michanek och Magnusson (1992) kunde man påvisa att av tre olika mätmetoder var spridning av rökpartiklar den mest användbara metoden, då minst yttre faktorer kunde påverka samt att resultaten låg nära referensvärdena vid samtliga använda flöden. Värdena låg även i denna studie något högre än det ventilationsflöde som fläkten gav.

Michanek och Magnussons (1992) studie stämmer överens med resultatet i denna studie. Metoden har tidigare ansetts mindre användbar då den kräver dyr apparatur. I denna studie har en betydligt billigare, handhållen partikelräknare använts vilket verkar ha gett ett resultat som är likt resultatet i Michanek och Magnussons (1992) studie där en dyr apparatur använts. Tidigare har man ansett att koldioxid är en tillräcklig bra metod att använda då den inte kräver så dyr utrustning och ger ett ungefärligt resultat. En studie gjord av Ödman et al. (2011) indikerar att användandet av koldioxidhalten kan vara en användbar metod för att få ett ungefärligt värde på luftomsättningen i stallar.

De två stallen i denna studie samt Michanek och Magnusson (1992)s studie hade tilluftsinsläpp konstruerade på olika sätt. I denna studie utgjordes de av öppna fönster samt ventiler där man beräknade den öppna ytan enligt Ventorp och Michanek (2003) ( $1\text{cm}^2$  öppning per  $1\text{m}^3$  luft som fläkten transporterar ut per timme). Michanek och Magnusson (1992) hade en tilluftsfläkt som gav ett kontrollerat tillflöde av luft till stallet varje timme. Detta kan ge en viss skillnad i resultaten då det i denna studie kan förekomma ett visst luftutbyte genom fönster och ventiler som kan påverka det faktiska antalet luftbyten per timme.

Att metoden är beprövad vid tre olika tillfällen samt under olika förutsättningar men att slutsatsen har dragits vid alla tillfällen att det är en användbar metod stärker trovärdigheten av ett framtida användande. I denna studie skiljer det sig då det i dagens utveckling finns en billigare apparatur att tillgå. Den handhållna partikelräknaren har, trots sin enkelhet, visat på att resultatet liknar resultaten från tidigare studier gjorda av Webster et al. (1987) och Michanek och Magnusson (1992).

Den använda metoden i denna studie behöver provas i olika stall, helst där man kan styra och mäta ventilationsflödet. I dagens läge bedöms den vara en lovande metod för framtiden och skulle kunna bli en tillförlitlig metod för att beräkna luftflödet i naturligt ventilerade stallar. För framtida studier bör metoden testas i stallar där man kan använda olika flöden på fläkten för att kunna få en jämförelse av de olika värdena som beräknas utifrån rökpartiklarnas spridning.

## **Slutsats**

Att mäta ventilationsflödet med hjälp av frisättning av rökpartiklar samt en handhållen partikelräknare (MET ONE HHPC3+) bedöms vara en lovande metod för att mäta luftflödet i naturligt ventilerade stallar. Vid beräkning av ett medelvärde på minst fyra mätningar kommer medelvärdet att med 95 procents sannolikhet att hamna inom ett luftbyte per timme från den verkliga luftomsättningen

## **SUMMARY**

Today's sport horses are the responsibility of man that places them in stables. It exists air pollutions in the stables. The most important are airborne particles which mainly comes from straw and forage. The pollutions can cause damage in the respiratory organs, which can reduce horse performance and lead to disease. To get rid of pollutions in the stable well-functioning ventilation is necessary. It should have enough flow to make the air in the stable change continuously.

A lot of knowledge is missing around the subject of air pollutions in stables. Reason for this can be that polluted air can be experienced as fresh despite huge pollution. The aim of this study is to evaluate a simple and relatively cheap method to measure air-changes in naturally ventilated stables

In the study a stable with eight boxes where used. In the gable an exhaust-fan were placed and windows to supply air in every box. Smoke-pellets were used to disperse particles in the stable and a hand-held particle counter registered the concentration of the respirable particles. The result from the particle counter was used to calculate a half-life which was used to calculate the set of air changes per hour in the stable. The calculated set of air changes in the stable gave a mean value at 4,0 air changes per hour which was approximately 0,3 air changes from the real value, measured and calculated from the air velocity in the exhaust-fan. The method seems promising but it needs more validation in additional stables.

**Keywords: Respirable particles, smoke-pellets, ventilation, horse stable**

## **FÖRFATTARENS TACK**

Ett tack riktas till handledaren, Per Michanek, som delat med sig av sin tidigare studie vilket gjort metoden möjlig för denna studie och även för ett stort stöd samt en gedigen kunskap genom studien.

Biträdande handledaren, Anna Nilsson, riktas även ett stort tack för hjälp med organisation av stall och hästar inför varje försök.

Hippologstudenter årskurs ett riktas ett tack för hjälp med förberedelser inför varje försök.

## REFERENSER

### Litteratur

- Atrell, B., Björnhag, G., Dalin, G., Furugren, B., Philipsson, J., Planck, C. & Rundgren, M. (2002). *Hästens biologi utfodring och avel*. Natur och Kultur: Vällingby.
- Bruce, J.M. (1978). Natural convection through openings and its applications to cattle building ventilation. *Journal of Agriculture Engineering Research*, vol. 23, ss. 151-167.
- Clements, J.M. & Pirie, R.S. (2006). Respirable dust concentrations in equine stables. Part 1: validation of equipment and effect of various management systems. *Veterinary Science*, vol. 83, ss. 256-262.
- Cook, W.R. (1976) Chronic bronchitis and alveolar emphysema in the horse. *Veterinary Record*, vol. 99, ss. 448-451.
- Curtis, L., Raymond, S. & Clarke, A. (1996). Dust and ammonia in horse stalls with different ventilation rates and bedding. *International Journal of Aerobiology*. vol. 12, ss. 239-247.
- Davies, Z. (2005). *Introduction to horse biology*. Blackwell Publishing: Oxford
- Magnusson, M. (1991). Ventilationens påverkan på luftburna respirabla partiklar i ett häststall. *Svensk Veterinär Tidning*, vol. 43, ss. 305-308.
- Marlin, D. & Nankervis, K. (2007). *Equine exercise physiology*. 6. ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd
- Michanek, P. & Magnusson, M. (1992). *The relationship between ventilation rate and elimination of respirable particles and three different ways to estimate ventilation rates in horse stables*. Seminar of the 2nd Technical Section of the CIGR on: Environmental and energy aspects of Livestock housing. Aug 31 - Sep 3, 1992 Polanica, Polen. CIGR Report, 225-233.
- Pickrell, J. (1991). Hazards in confinement housing-gases and dust in confined animal houses for swine, poultry, horses and humans. *Veterinary and Human Toxicology*, vol. 33, ss. 32-39
- Pilliner, S. & Davies, Z. (2004). *Equine Science*. Andra upplagan. 1996. Blackwell Publishing: Oxford
- Planck, C. & Rundgren, M. (2005). *Hästens näringsbehov och utfodring*. 2. uppl. Korotan-Ljubljana: Natur och Kultur.
- Raymond J., G., Patricia A., H. & Manfred, C. (2013). *Equine Applied and Clinical Nutrition, Health, Welfare and Performance*. Elsevier Ltd: Edinburgh.
- Svensk Standard. SS 951051 utg 2. (1992). *Ventilationsbehov i värmeisolerade djurstallar – tillämpningar*.
- Vandenput, S., Istasse, L., Nicks, B. & Lekeux, P. (1997). Airborne dust and aeroallergen concentrations in different sources of feed and bedding for horses. *Veterinary Quarterly*, vol. 19, ss. 154-158.

- Ventorp, M. & Michanek, P. (2003). *Att bygga häststall*. 2. Uppl. 2001. Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Webster, A.J.F., Clark, A.F., Madelein T.M. & Wathes C.M. (1987). Air hygiene in stables 1: effects of stable design, ventilation and management on the concentration of respirable dust. *Equine Vet J*, vol. 19, ss. 448-453.
- Webster, J. (1990). Housing and respiratory disease in farm animals. *Outlook on Agriculture*, vol. 19, ss. 31-35.
- Woods, PSA., Robinson, NE., Swanson, MC., Reed, CE., Broadstone, RV & Derksen, FJ. (1993). Airborne dust and aeroallergen concentration in a horse stable under two different management systems. *Equine Vet J*, vol. 25 ss. 208-213.
- Wålinder, R., Riihimäki, M., Bohlin, S., Hogstedt, C., Nordquist, T., Raine, A., Pringle, J. & Elfman, L. (2010). Installation of mechanical ventilation in a horse stable: effects on air quality and human and equine airways. *Environ Health Prev Med*, vol. 16, ss. 264-272.
- Ödman, M., Sandberg, S., Ilvonen, J., & Cederberg, S. (2011). *Beräkning av ventilationsflöde i häststall med hjälp av koldioxidmätning*. Opublicerat manuskript. Flyinge: Sveriges Lantbruks Universitet

## Internet

- Dahlkvist, K. (2010). *COPD – Kronisk obstruktiv lungsjukdom hos häst*.  
<http://www.agria.se/hast/artikel/copd---kronisk-obstruktiv-lungsjukdom-hos-hast>  
[2013-12-01]
- Djurskyddsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om hästhållning L101(2007). (DFS 2007:6). Skara. Tillgänglig:  
[http://www.jordbruksverket.se/download/18.26424bf71212ecc74b08000913/1242046840646/DFS\\_2007-06.pdf](http://www.jordbruksverket.se/download/18.26424bf71212ecc74b08000913/1242046840646/DFS_2007-06.pdf) [2014-04-27]
- Statens Djurskyddsverk (2007). *Djurskyddsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om hästhållning*.  
[http://www.jordbruksverket.se/download/18.26424bf71212ecc74b08000913/1242046840646/DFS\\_2007-06.pdf](http://www.jordbruksverket.se/download/18.26424bf71212ecc74b08000913/1242046840646/DFS_2007-06.pdf) (Hämtad 2014-04-27)

## Personliga meddelanden

- Lenz, J. Veterinär. Intervju. (2014)
- Jarkelid, L. Djurskyddsinspektör. Intervju. (2014)
- Berglund, G. Kundtjänst SMHI. Mejl. (2014-01-27)

## BILAGOR

### Bilaga 1

**Tabell 2.** Lufthastigheten inne i lufttrumman

| <b>Cirkel</b> | <b>Radie [cm]</b> | <b>Lufthastighet [m/s]</b> |
|---------------|-------------------|----------------------------|
| a             | 25                | 0,96                       |
| b             | 23                | 0,97                       |
| c             | 21                | 0,84                       |
| d             | 19                | 2,93                       |
| e             | 17                | 3,9                        |
| f             | 15                | 4,4                        |
| g             | 13                | 4,6                        |
| h             | 11                | 5,2                        |
| i             | 9                 | 5,4                        |
| j             | 7                 | 5,4                        |
| k             | 5                 | 5,2                        |
| l             | 3                 | 4,47                       |
| m             | 1                 | 4,66                       |

**Tabell 3.** Radien samt arean för de olika cirkelarna i lufttrumman

| <b>Cirkel</b> | <b>Radie, r [cm]</b> | <b>Area [m<sup>2</sup>]</b> |
|---------------|----------------------|-----------------------------|
| a             | 25                   | 0,2                         |
| b             | 23                   | 0,17                        |
| c             | 21                   | 0,14                        |
| d             | 19                   | 0,11                        |
| e             | 17                   | 0,09                        |
| f             | 15                   | 0,07                        |
| g             | 13                   | 0,05                        |
| h             | 11                   | 0,03                        |
| i             | 9                    | 0,02                        |
| j             | 7                    | 0,01                        |
| k             | 5                    | 0,007                       |

|   |   |        |
|---|---|--------|
| l | 3 | 0,002  |
| m | 1 | 0,0003 |

**Tabell 4.** Areal för varje enskild ring i lufttrumman

| Cirkel | Area för strimma | Area   |
|--------|------------------|--------|
| a      | a-b              | 0,030  |
| b      | b-c              | 0,027  |
| c      | c-d              | 0,025  |
| d      | d-e              | 0,023  |
| e      | e-f              | 0,020  |
| f      | f-g              | 0,017  |
| g      | g-h              | 0,015  |
| h      | h-i              | 0,012  |
| i      | i-j              | 0,010  |
| j      | j-k              | 0,007  |
| k      | k-l              | 0,005  |
| l      | l-m              | 0,002  |
| m      | m                | 0,0003 |

**Tabell 5.** Visar luftflödet i varje ring

| Ring | Luftflöde [m <sup>3</sup> /h] |
|------|-------------------------------|
| a    | 104,23                        |
| b    | 96,55                         |
| c    | 75,99                         |
| d    | 238,59                        |
| e    | 282,20                        |
| f    | 278,78                        |
| g    | 249,72                        |
| h    | 235,12                        |
| i    | 195,57                        |
| j    | 146,58                        |
| k    | 93,97                         |



---

|   |       |
|---|-------|
| l | 40,49 |
| m | 5,27  |

---

## Bilaga 2

**Tabell 7.** Medelvärde på alla möjliga kombinationer om tre av de sju försöken.

| <b>Försök</b> | <b>Medelvärde</b> | <b>Skillnad från referensvärdet</b> |
|---------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1, 2, 3       | 3,07              | 0,61                                |
| 1, 2, 4       | 4,27              | 0,59                                |
| 1, 2, 5       | 3,32              | 0,36                                |
| 1, 2, 6       | 4,08              | 0,4                                 |
| 1, 2, 7       | 3,73              | 0,05                                |
| 1, 3, 4       | 3,79              | 0,11                                |
| 1, 3, 5       | 2,84              | 0,84                                |
| 1, 3, 6       | 3,59              | 0,09                                |
| 1, 3, 7       | 3,26              | 0,42                                |
| 1, 4, 5       | 4,04              | 0,36                                |
| 1, 4, 6       | 4,8               | 1,12                                |
| 1, 4, 7       | 4,46              | 0,78                                |
| 1, 5, 6       | 3,84              | 0,16                                |
| 1, 5, 7       | 3,5               | 0,18                                |
| 1, 6, 7       | 4,26              | 0,58                                |
| 2, 3, 4       | 4,07              | 0,39                                |
| 2, 3, 5       | 3,11              | 0,57                                |
| 2, 3, 6       | 3,87              | 0,19                                |
| 2, 3, 7       | 3,53              | 0,15                                |
| 2, 4, 5       | 4,32              | 0,64                                |
| 2, 4, 6       | 5,07              | 1,39                                |
| 2, 4, 7       | 4,73              | 1,05                                |
| 2, 5, 6       | 4,11              | 0,43                                |
| 2, 5, 7       | 3,78              | 0,1                                 |
| 2, 6, 7       | 4,53              | 0,85                                |
| 3, 4, 5       | 3,84              | 0,16                                |
| 3, 4, 6       | 3,63              | 0,05                                |
| 3, 4, 7       | 4,25              | 0,57                                |
| 3, 5, 6       | 3,63              | 0,05                                |

|         |      |      |
|---------|------|------|
| 3, 5, 7 | 3,29 | 0,39 |
| 3, 6, 7 | 4,05 | 0,37 |
| 4, 5, 6 | 4,84 | 1,16 |
| 4, 5, 7 | 4,5  | 0,82 |
| 4, 6, 7 | 5,26 | 1,58 |
| 5, 6, 7 | 4,3  | 0,62 |

**Tabell 8.** medelvärde av alla möjliga kombinationer av fyra av de sju försöken.

| <b>Försök</b> | <b>medelvärde</b> | <b>Skillnad från referensvärdet</b> |
|---------------|-------------------|-------------------------------------|
| 1, 2, 3, 4    | 3,80              | 0,12                                |
| 1, 2, 3, 5    | 3,08              | 0,6                                 |
| 1, 2, 3, 6    | 3,66              | 0,02                                |
| 1, 2, 3, 7    | 3,40              | 0,28                                |
| 1, 3, 4, 5    | 3,63              | 0,05                                |
| 1, 3, 4, 6    | 4,19              | 0,51                                |
| 1, 3, 4, 7    | 3,94              | 0,26                                |
| 1, 4, 5, 6    | 4,38              | 0,7                                 |
| 1, 4, 5, 7    | 4,12              | 0,44                                |
| 1, 5, 6, 7    | 3,90              | 0,22                                |
| 2, 3, 4, 5    | 3,83              | 0,15                                |
| 2, 3, 4, 6    | 4,40              | 0,72                                |
| 2, 3, 4, 7    | 4,15              | 0,47                                |
| 2, 3, 5, 6    | 3,68              | 0                                   |
| 2, 3, 5, 7    | 3,43              | 0,25                                |
| 2, 3, 6, 7    | 4,00              | 0,32                                |
| 2, 4, 5, 6    | 4,23              | 0,55                                |
| 2, 4, 5, 7    | 3,97              | 0,29                                |
| 2, 4, 6, 7    | 4,54              | 0,86                                |
| 2, 5, 6, 7    | 4,7               | 1,02                                |

---

**DISTRIBUTION:**

**Sveriges Lantbruksuniversitet**

**Hippologenheten**

**Box 7046 750 07 UPPSALA**

**Tel: 018-67 21 43**

**Swedish University of Agricultural Sciences**

**Department of Equine Studies**

**Box 7046 750 07 UPPSALA**

**Tel: +46-18 67 21 43**

---