

Rapport

Luftkvalitet i norske hus for verpehøns

Del 1. Rapport fra feltstudiedelen: Luftkvalitet i tre värphönssystem

Sven Nimmermark¹
Wijnand Eduard²
Gösta Gustafsson¹
Vonne Lund³

¹Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi (JBT), Sveriges Lantbruksuniversitet

²Yrkeshygienisk seksjon, Statens arbeidsmiljøinstitutt

³Veterinærinstituttet

Til Fagsenteret for fjørfe
Fra Veterinærinstituttet
Dato 12.04.2007



Veterinærinstituttet
National Veterinary Institute

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING.....	2
BAKGRUND.....	3
INLEDNING.....	4
Generellt om mätning av luftkvalitet	4
Ammoniak	4
Damm	5
Ventilation, koldioxid	5
Mikroorganismer.....	5
Mål med projektet	6
MATERIAL OCH METODER.....	7
Typer av inhysningssystem	7
Val av gårdar.....	7
Tidpunkt för genomförandet av mätningar.....	7
Översikt, samtliga gårdar.....	7
Generellt om stallarna	7
Stall med inredda burar.....	8
Flervåningssystem.....	8
Golvsystem	8
Ammoniak	12
Koldioxid.....	12
Damm	12
Mikroorganismer.....	13
Lufttemperaturer och relativ luftfuktighet	13
Luftrörelser	13
Ventilationsflöde	13
Koldioxidhalter ger information om stallarnas ventilation	14
Användning av temperaturskillnader och koldioxidhalter som referensförhållande.....	14
Temperaturdifferens som referens	14
Koldioxidkoncentration som referens	15
RESULTAT.....	17
Stickprovsmätningar.....	17
Kontinuerliga mätningar	18
Dygnsvärden för temperatur, luftfuktighet, koldioxid och ammoniak.....	18
Ammoniak	19
Damm och bakterier.....	22
Damm	22
Bakterier.....	24
DISKUSSION OCH SLUTSATSER	26
Luftföroreningar.....	26
Ammoniak	26
Koldioxid.....	27
Damm	27
Bakterier.....	27
Konklusioner	27
Framtida forskningsbehov	28
Standardiserad mätprocedur för provtagningar av luftkvalitet.....	29
Klimatparametrar	29
Mätutrustning	29
Mätpunkter	30
Antalet mätningar.....	30
Värden för jämförelse mellan olika stallar och olika system.....	30
TACK	30
REFERANSER.....	301

SAMMANFATTNING

Implementeringen av nya föreskrifter för fjäderfä i Norge innebär ett totalförbud mot traditionella värphönsburar från och med år 2012. De alternativa systemen kan medföra problem med inneklimatet, speciellt ammoniak och damm. Gränsvärden för luftföroreningar för djur i djurstallar saknas i Norge, men har införts t.ex. i Sverige. "Handlingsplan for dyrevelferd for norsk fjørfe" anger att det bör utarbetas KSL-krav för gränsvärden för koldioxid och ammoniak i norska fjäderfähus. Fagsenteret for fjørfe har finansierat ett förprojekt med målet att öka hälsa, välfärd och produktion hos värphöns genom att öka kunskapen om luftkvaliteten i norska hönsburear och om hur denna påverkar djuren. Projektet består av en litteraturstudie samt en fältstudie. Fältstudien genomfördes under januari-april 2006 och redovisas i denna rapport.

Tre olika typer av inhysningssystem ingick i fältstudien:

1. Frigående höns med ströbädd och gödselbinge (golvhöns)
2. Frigående höns i flervåningssystem med ströbädd (våningssystem)
3. Inreda burar med mekanisk utgödsling (inreda burar).

Studien bestod av två delar. I den första kartlades tre hönsburear av varje typ genom intervjuer och momentana stickprov på halterna av ammoniak och koldioxid i samband med ett gårdsbesök.

I studiens andra del valdes en gård av varje typ som en "case study" för långtidsregistreringar.

Ventilationsflöden bedömdes med hjälp av uppmätta koldioxidhalter. Mätpunkter valdes i anslutning till frånluftsfläktar och på andra platser som ansågs representera stallklimatet (1,6-1,8 m över golv).

Ammoniak registrerades med gasdetektorer vid momentana mätningar, diffusionsrör vid passiva långtidsregistreringar och med en IR-spektrofotometer (MIRAN) vid kontinuerliga mätningar. Koldioxid registrerades med gasdetektorer, diffusionsrör och optiska instrument. Prov på damm och mikroorganismer togs med hjälp av dammfilter med porstorlek 0,8 µm och dammpumpar. Halterna bestämdes i laboratorium (STAMI) genom vägning av dammfilter och fluorescensmikroskopi för mikrobiell analys. Temperatur och luftfuktighet registrerades kontinuerligt med miniloggar.

Resultaten visar att systemet med inreda burar hade klart bäst inneklimat och ammoniakhalterna var här inget problem.

Högst ammoniakhalter uppmättes i systemet med frigående golvhöns och gödselbinge. I detta system var ammoniakhalterna mycket höga och inte acceptabla med tanke på hönsens välfärd. Samtliga uppmätta värden låg högt över den norm för ammoniak som Arbeidstilsynet fastställt för människor, vilken är 25 ppm (8 timmars genomsnitt). Som mest var halterna sex gånger högre. Dammhalterna var också höga. I denna typ av inhysningssystem är det nödvändigt att sätta in åtgärder för att förbättra luftkvaliteten under kalla perioder, t.ex. genom tillsatsvärme.

I systemet med flervåningssystem var ammoniakhalterna lägre än i systemet med golvhöns, men de flesta uppmätta värden låg väl över gränsvärdet 25 ppm och samtliga mätvärden överskred det mål som anges i Handlingsplan for dyrevelferd (20 ppm). En reduktion av halterna vore därför önskvärt också i denna stalltyp.

Inga exceptionellt höga koldioxidhalter (över 5000 ppm) uppmättes i något av systemen, men halter över 2500 ppm förekom.

Bakteriehalterna var höga och i medeltal uppmättes högst bakteriehalter i systemet med golvhöns. De uppmätta värdena indikerar att det finns en positiv korrelation mellan dammhalter och bakteriehalter.

Tillsatsvärme under kalla perioder i stallar med permanent gödsellagring skapar förutsättningar för torrare gödsel och lägre ammoniakavgivning, samt gör det möjligt att köra ventilationen så att god luftkvalitet uppnås också i golvsystem. Att detta inte brukas i större utsträckning är en kostnadsfråga. Behovet av tillsatsvärme minskar med isoleringsgraden. Också golvet bör ha god isolering. Då det gäller ventilationssystemet är det viktigt med en jämn fördelning av tilluften i hela stallet. Studien visar att det fortfarande är långt kvar innan handlingsplanens mål för inomhusklimatet uppnås i system för lösgående höns. Mer forskning och utveckling krävs därför. Det är då intressant att studera såväl tekniska som systemmässiga aspekter. Det gäller att finna lösningar där god djurvelfärd sätts i centrum så att hönsen både kan ha stor rörelsefrihet och god luftkvalitet.

I Handlingsplan for dyrevelferd anges att näringens konsulenter ska följa upp luftkvaliteten vid besättningsbesök genom kontroller och registreringar av gaskoncentrationer och uppskattning av dammängd och ventilationskapacitet. Dessa registreringar måste göras på ett representativt sätt för den

aktuella byggnaden, och så att mätresultat från olika byggnader blir jämförbara. Per idag finns ingen standardiserad mätprocedur för sådan provtagning av luftkvalitet. I rapportens sista del diskuteras olika mätparametrar samt lämplig utrustning och mätmetodik vid denna typ av registreringar. Rekommendationerna kan läggas till grund för utveckling av ett standardiserat mätprotokoll.

BAKGRUND

Implementeringen av nya föreskrifter för fjäderfä innebär ett totalförbud mot hållande av värphöns i traditionella burar från och med 1 januari 2012. Då det gäller djurvälstånd kan även de alternativa systemen med frigående höns medföra problem som står i konflikt med de förväntningar som många konsumenter har på en god djurmiljö. En sådan konfliktkälla är inneklimatet och då kanske speciellt problemen med ammoniak i frigående hönsflokar. Strömmaterial i inredda burar kan också tänkas ge förhöjda halter av damm i stallet. Föroreningar i stallmiljön kan påverka var för sig, men de kan också ha en kombinerad effekt på djur och skötare. Hos skötaren representerar exponering för damm och dess innehåll av svampsporer, bakterier och endotoxiner en betydlig risk för luftvägsbesvär. Dåligt inneklimat i värphönsstallet påverkar skötarens arbetsmiljö och trivsel och kan påverka den tid som skötaren tillbringar i höns huset t.ex. för tillsyn av hönsen. Inneklimatet påverkar därmed också djurvälståndet direkt. Till skillnad mot skötaren tillbringar värphönsen oftast alla dygnets timmar i stallet. Av denna orsak önskar man ibland ha lägre föroreningshalter i djurstallar än vad som accepteras för en 8-timmarsdag i arbetsmiljön. En god luftkvalitet anses också öka produktionen. I till exempel Sverige har därför gränsvärden införts för luftföroreningar i djurstallar (Jordbruksverket, 2003). Motsvarande gränsvärden saknas i Norge.

Området "Inneklima" har pekats ut som viktigt i "Handlingsplan for dyrevelferd for norsk fjørfe næring" (Anon. 2001). Huvudmålet är att "inneklima i fjørfehus skal sikres" (punkt 5.7). Följande delmål är angivna:

1. Innholdet av CO₂ skal ikke overskride 3000 ppm.
2. Innholdet av NH₃ skal ikke overskride 20 ppm.
3. Alle fjørfehus skal ha tilstrekkelig ventilasjonskapasitet hele året.
4. Støvkonsentrasjonen skal holdes så lav som mulig.

Bland de åtgärder som nämns är att KSL-krav ska utarbetas för gränsvärden för koldioxid och ammoniak i fjäderfähus, samt att krav på max- och minimiventilation ska utarbetas för olika produktioner. Näringskonsulenter ska följa upp luftkvaliteten vid besättningsbesök genom kontroller och registreringar av gaskoncentrationer och uppskattning av dammängd och ventilationskapacitet.

När det gäller forskningen på området finns fortfarande stora kunskapsluckor. Det är alltså viktigt att studera problem med inneklimatet, både då det gäller problemens art samt omfattning och effekter på djuren. Fagsenteret for fjørfe har beviljat medel till ett förprojekt "Luftkvalitet i norske hus for verpehøns". Huvudmålet med projektet är att bidra till bättre hälsa, välfärd och produktion hos värphöns genom att öka kunskapen om luftkvalitet i norska höns hus och om hur denna påverkar djuren. Projektet består av två delar: en fältstudie samt en litteraturstudie som omfattar luftkvalitetens effekter på hönsens hälsa. Fältstudien genomfördes under perioden januari-april 2006. Resultaten från fältstudiedelen av projektet redovisas i denna delrapport.

INLEDNING

Generellt om mätning av luftkvalitet

Djurens aktivitet tillsammans med de utrustningar som oftast finns för ventilation och klimathållning i djurstallar leder till variationer i klimat och gashalter. Luftkvaliteten beräknas vanligtvis genom mätningar av ammoniak, damm och koldioxid. Andra faktorer av betydelse är luftens relativa fuktighet, temperatur samt utskiftningen av luft (ventilation).

Luftkvalitet kan mätas genom registrering av ett antal parametrar. Dessa varierar beroende på var i rummet provtagningen görs och tidpunkten för mätningen. Det är alltid ett antal betingelser för de beskrivna förhållandena under mätperioden. För att försöksresultaten ska kunna äga generell giltighet ställs det därför stora krav till valet av representativa byggnader, dokumentation och kontroll av betingelserna under mätperioden.

Valet av mätpunkter i rummet görs med hänsyn till luftströmningsmönstret från luftintagen, eftersom den friska uteluften späder ut koncentrationerna av damm, värme, vattenånga, ammoniak och koldioxid på vägen mot frånluftsfläktarna. Kartläggning av luftströmningsmönstret görs genom användning av rökampuller, rökmaskin, lufthastighetsmätare och bilder.

Bildande och avgivning av ammoniak, damm, värme, vattenånga och koldioxid varierar med hönsens foder, gödsel och aktivitet. Genom att mäta luftväxlingen och skillnader i koncentrationer mellan uteluften och frånluften kan storleken på emissionerna mätas pr. 10 hönor eller pr. m² golvyta.

I Norge har det tidigare utförts några undersökningar av luftkvalitet i hönsbush. 1974 gjordes fältundersökningar av ammoniak- och svavelvätenivån både i bur- och golvsystem för värphöns (Tjernshaugen, 1975). I början av 1990-talet gjordes dammätningar och arbetsstudier i hönsbush med kompaktburar och i aviärer (Lyngtveit, 1992), och studier av hur problemen med damm kan minskas (Lyngtveit och Eduard, 1997). Holmerud och Jeksrud har arbetat med klimatet i moderna stallbyggnader, bland annat dammreducerande åtgärder i byggnader för grisar (Holmerud och Jeksrud, 1990; CIGR, 1994).

När det gäller humanhälsa har det utförts en omfattande undersökning vid Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) om luftkvalitetens effekter på personer som arbetar i hönsbush (e.g., Melbostad och Eduard, 1997; 2001; Melbostad *et al.*, 1998; Eduard *et al.*, 2001; 2004). Arbeta har också gjorts för att utveckla teknik för att mäta exponeringen av luftburna mikroorganismer på arbetsplatsen (Eduard *et al.*, 1988; Høidal *et al.*, 1996; Eduard, 1996; Eduard och Heederik, 1998).

Ammoniak

En rad olika klimatfaktorer, såsom temperatur, luftflöde och lufthastighet, anses påverka ammoniakmängden som avges i ett stall, liksom faktorer som djurvikt, djurtäthet, storlek på gödselytor, utgödslingsintervall, pH och fukthalt i gödseln (Gustafsson och von Wachenfelt, 2004; Groot Koerkamp *et al.*, 1995). Erfarenheter från praktiken visar att ammoniaknivån under vintern kan i hönsbush med lösdrift bli mycket högre än rekommenderade maximinivåer. Norska och utländska undersökningar har visat att luftens ammoniakinnehåll i sådana hus är långt högre än i bursystem med täta utgödslingsintervall. Hur strö och gödsel hanteras samt husets temperaturregleringssystem är antagligen avgörande för luftens ammoniakinnehåll (AHAW, 2005).

En mer exakt gräns för när ammoniaknivån är skadlig för fjäderfä är inte fastställd (Kristensen och Wathes, 2000). I svenska föreskrifter för djurhållning finns gränsvärden för ammoniak angivna (Jordbruksverket, 2003). Högst 25 ppm ammoniak accepteras i system med fjäderfä på ströbädd. I system med inredda burar och flervåningssystem med frigående värphöns accepteras 10 ppm. Värdena får endast undantagsvis överskridas, men det har visat sig att de svenska gränsvärdena är svåra att hålla vintertid. I Norge har Arbeidstilsynet fastställt en administrativ norm för ammoniak på 25 ppm (8 timmars genomsnitt) (AT, 2003) som gäller arbetstagare, men regler för djurhållning saknas. Målet som norsk fjäderfäupfödning har satt upp i sin handlingsplan för djurvelfärd är att luftens ammoniakinnehåll aldrig ska överstiga 20 ppm (Anon., 2001).

Damm

Damm i djurstallar är ett område där det hittills har gjorts lite forskning internationellt, både när det gäller ursprung och effekter på djuren. Orsakerna till de höga dammängderna är inte ordentligt identifierade och förklarade i de undersökningar som gjorts (Gustafsson och Wachenfelt, 2004). Hur dammet påverkar hönornas hälsa och produktion är också dåligt belyst, men damm i djurstallar innehåller en rad potentiellt farliga beståndsdelar såsom bakterier och endotoxiner. Dammpartiklarna fungerar som bärare av luftburna mikroorganismer. Endotoxiner är giftiga substanser som i huvudsak frigörs när döda gram-negativa bakterier sönderfaller. I försök har högre nivåer av endotoxiner uppmätts i damm från aviaries än i hus med konventionella burar (Mårtensson, 1995).

Dammpartiklar som är mindre än 10 µm kan hålla sig svävande i luften en längre tid. Damm med partikelstorlek upp till 100 µm kan andas in och kallas därför "inhalerbart damm". Partiklar som är mindre än 10 µm kan passera struphuvudet och nå de nedre luftvägarna och kallas torakalt damm, medan partiklar som är mindre än 5 µm kan nå helt ned till alveolerna (så kallat respirabelt damm). Det har ansetts att tekniker som minskar dammnivån i hönshuset kan påverka den totala dammängden, men inte mängden respirabelt damm (Ellen et al., 2000). Erfarenheter från andra typer av byggnader har pekat på god effektivitet av ventilationsåtgärder. Användning av andra system än de konventionella omblandande ventilationssystem som vanligtvis förekommer i fjäderfästallar kan kanske reducera halterna trots att flera undersökningar har visat att hönornas aktivitet (exempelvis flaxande) förmodligen har stor betydelse för dammförekomsten (t. ex. Nilsson, 1982; Pedersen, 1993). Ventilationsåtgärder reducerar speciellt partiklar <10 µm. I Sverige anses värdet 10 mg/m³ vara en nivå som inte bör överskridas i djurstallar (Jordbruksverket, 2003). I Norge finns en norm för organiskt damm på 5 mg/m³ som gäller för arbetstagare (AT, 2003) men denna tar inte hänsyn till mikrobiella komponenter i dammet.

Ventilation, koldioxid

Ventilationsflödet påverkar samtliga klimatfaktorer som undersöks i ett stall. Uppmätning av ventilationsflödet i ett stall är oftast svårt och detta ansågs inte möjligt att utföra i denna studie. Istället har ett indirekt mått på stallets ventilationsflöde erhållits genom mätning av koldioxidhalterna samt temperaturdifferenser mellan stall och uteluft.

I djurstallar förekommer koldioxid vanligtvis inte i koncentrationer som är skadliga för djur eller skötare. Innehållet av koldioxid i luften är alltså oftast inte ett problem i sig själv, men halterna ger ett mått på luftväxlingen i huset i förhållande till djurtätheten (Gustafsson och Wachenfelt, 2004). Genom att mäta olika parametrar som karakteriserar luftkvaliteten och jämföra dem med koldioxidnivån, kan man fånga upp många komplicerade förhållanden i en enkel, mätbar parameter. Mätning av koldioxidhalter på olika platser i stallet kan också ge information om att det finns områden som är dåligt ventilerade.

I svenskt regelverk anses 3000 ppm koldioxid vara acceptabelt i djurstallar (Jordbruksverket, 2003), och detta är också det mål för luftens koldioxidhalt som angivits i den norska fjäderfänäringens handlingsplan för djurvälstånd (Anon., 2001). Halter upp till 4500 ppm har uppmätts i svenska djurstallar (Mårtensson, 1995).

Mikroorganismer

Luften i hönshus innehåller luftburna mikroorganismer som svamp och bakterier och beståndsdelar från dessa, till exempel endotoxiner. Både smittsamma och icke-smittsamma bakterier utgör en hälsorisk. Döda och delvis nedbrutna bakterier kan förorsaka inflammationer i luftvägarna, och antigener och allergener kan aktivera immunsystemet och ge allergiska reaktioner hos människor (Eduard, 1997). De flesta mikroorganismer har små celler: bakterier i storleksordningen 0,5-5 µm i diameter och svampsporor 2-5 µm. Ett sätt att mäta den mikrobiologiska luftkvaliteten är att låta luften passera genom ett filter. Det totala antalet mikroorganismer kan därefter bestämmas genom olika typer av mikroskopi (Eduard et al., 1988; Haldal et al., 1996; Eduard, 1996; Eduard och Heederik, 1998). Förekomst av de dominerande arterna kan bestämmas genom odling. Några studier av mikrobiell luftkvalitet i hönshus har gjorts i Norge i samband med undersökning av effekter på human hälsa (Lyngtveit och Eduard, 1992; Melbostad och Eduard, 2001; Eduard et al., 2004; Eduard, pers. komm.).

Det finns inga administrativa normer i Norge och heller inga andra kända gränsvärden i andra länder som kan användas som underlag för jämförelse.

Mål med projektet

Huvudmålet med projektet är att bidra till bättre hälsa, välfärd och produktion hos värphöns genom att öka kunskapen om luftkvaliteten i norska hönsbush och hur denna påverkar djuren.

Projektet har syftat till att:

- A. Kartlägga kunskap inom problemområdet djurhälsa och välfärd i förhållande till inneklimat i värphönsbush och luftkvalitetsmätningar, genom
 - 1. en litteraturstudie rörande effekterna av ammoniak, damm och ventilationskapacitet på hönsens produktion, hälsa och välfärd. Studien har genomförts genom sökning i vetenskapliga databaser och sammanställning av aktuell norsk och internationell litteratur.
 - 2. mätningar i tre typer av hönsbush (inredda burar, våningssystem och golvsystem).
- B. Ge ett underlag till utarbetande av riktlinjer för en standardiserad mätprocedur och ett protokoll för provtagning av luftkvalitet i värphönsbesättningar.

Forskrift for hold av fjørfe anger vissa gaskoncentrationer som kriterium för god luftkvalitet. Det finns därför ett behov att standardisera mätproceduren för bedömning av luftkvaliteten i den enskilda besättningen, med hänsyn till dygnsvariationer i ventilationen, hönsens aktivitetsmönster, temperatur, osv., så att resultaten blir så jämförbara som möjligt mellan olika besättningar över tid. Baserat på erfarenheterna i studien ska det utarbetas förslag rörande hur och när provtagning ska utföras för att få största möjliga objektivitet i mätningarna.

MATERIAL OCH METODER

Typer av inhysningssystem

Tre olika typer av inhysningssystem ingick i undersökningen:

1. Inhysning av frigående höns med ströbädd och gödselbinge (golvhöns)
2. Frigående höns i flervåningssystem med mekanisk utgödsling och ströbädd (våningssystem)
3. Inredda burar med mekanisk utgödsling (inredda burar).

Val av gårdar

Tre stallar av varje typ kartlades genom intervjuer, stickprovsmätningar och inspektion i samband med gårdsbesök. Bland dessa nio stallar valdes därefter en gård av varje typ som ett "case study" för noggrannare och kontinuerliga mätningar. Syftet var att selektera det stall som var mest representativt för respektive inhysningssystem och driftsform, och som bäst ägnade sig för vidare undersökningar.

De nio besättningar som deltog i studien valdes ut av Fagsenteret for fjørfe. Urvalskriteriet var att gårdarna så bra som möjligt skulle spegla ett genomsnitt av norska kommersiella värphönsbesättningar med de aktuella inhysningssystemen. Hönsen skulle också vara av samma hybridtyp och i ungefär samma ålder, samt befinna sig i andra halvan av sin värperiod.

Lantbrukarna kontaktades först per brev eller telefon. Besöken omfattade en intervju med lantbrukaren samt inspektion av hönshuset. Intervjun behandlade lantbrukarens uppfattning om djurhälsa och stallklimat, samt upplysningar om besättningsfaktorer och byggnadsdetaljer av relevans för studien. Under inspektionen av hönshuset togs momentana prov på ammoniak- och koldioxidhalten. Mätningar gjordes på några olika platser i huset, inkl. vid frånluftsfläkten och i höjd med hönorna.

Efter att samtliga nio stallar besökts och resultaten utvärderats valdes gård 3, 4 och 7 ut för noggrannare mätningar.

Tidpunkt för genomförandet av mätningar

Undersökningarna genomfördes under vinterförhållanden. Orsaken är att förutsättningarna för låga ventilationsflöden och därmed höga halter av luftföroreningar, är störst under vinterförhållanden. Besöken i de nio besättningarna utfördes under tidsperioden 20 januari - 7 februari 2006. Mätningarna på de tre gårdar som valts ut för fortsatta undersökningar genomfördes under perioden 28 februari - 3 april 2006.

Översikt, samtliga gårdar

Generellt om stallarna

I bilaga 1 (vedlegg 1) finns en detaljerad översikt över stallarna och deras ventilationssystem (tabell 1-2 i bilagan). Värden på vid besöken uppmätta gashalter på olika ställen i stallarna finns noterade i bilagans tabell 3.

Samtliga stallar utom två hade undertrycksventilation där luftflödet styrdes med hjälp av en temperaturgivare i stallet. Två stall hade neutraltrycksventilation eller balanserad ventilation och hade både tilluftsfläktar och frånluftsfläktar. Stallarna med undertrycksventilation hade väggmonterade uteluftsventiler och takmonterade frånluftsfläktar. I ett stall med neutraltrycksventilation tillfördes uteluft via en strumpa i taket, och luften sögs ut från golvnivå genom en ventil mitt på var långvägg. Ett annat stall med balanserad ventilation var försett med frånluftsfläktar och tilluftsfläktar i taktrummor. Uteluften blandades med återluft från stallet och blåstes in med hjälp av tilluftsfläktar och dysor monterade i en krans under taktrumorna (system Optimavent).

Alla gårdar hade ljusprogram som gav hönsen ca 14 timmar med ljus per dygn. Ett stall (med ekologisk drift) hade fönster. Ett stall (med golvsystem) hade tillskottsvärme. Detta stall utmärkte sig genom att luftkvaliteten verkade vara exceptionellt bra. Lantbrukaren där uppgav att det gjordes rökprov mellan omgångarna för att justera ventilationen.

Stall med inredda burar

Samtliga tre stallar med inredda burar var relativt nybyggda (2003 eller senare). De hade liknande konstruktion av isolerade betongelement. Isoleringen i väggarna var ca 15 cm tjock och i taket 25-35 cm.

Besättningsstorleken var på alla tre gårdarna 7.500 hönor. Hönsen var mellan 57 och 65 veckor vid besöket, och åldern vid insättning varierade mellan 14 och 19 veckor. Som mest hade hönorna varit i stallet 51 veckor (gård 3).

Tre olika inredningssystem var representerade i undersökningen:

- Viktorsson (7 hönor per bur),
- Triotec TAPE-bur (7 hönor per bur) och
- Big Dutchman Aviplus (9 hönor per bur).

Alla stallar hade temperaturstyrd undertrycksventilation med ventiler monterade på stallets långväggar. Vid god utetemperatur sänkte producenten på gård 2 innetemperaturen till 17° och ökade ventilationen, bl.a. för att få ut damm. Han pekade också på problem med ojämn fördelning av uteluften till stallet, och att det förekom kallras på några punkter.

Två av lantbrukarna använde inte strö i sandbadet. Den ena menade att sågspån försvinner nästan genast och att sand inte var något alternativ eftersom det ställer till problem i utgödslingssystemet. Den andre ansåg att det inte behövdes eftersom hönsen inte använde sandbaden. Han påpekade att användningsgraden varierade mellan hönsomgångarna. Hans förra omgång hade använt sandbaden mer. Den blev insatt vid 16 veckors ålder till skillnad från den nuvarande som blev insatt vid 19 veckors ålder. Den tredje lantbrukaren fyllde på kutterspån via ett halvmanuellt system i samband med utgödsling.

I alla tre stallarna skedde utgödsling kontinuerligt, på gård 1 och 2 två gånger i veckan och på gård 3 med fem dagars intervall. Vid besöket hade alla stallarna gödslats ut en eller två dagar före.

Flervåningssystem

Gårdarna med flervåningssystem representerade tre olika inredningssystem: Vencomatic, Big Dutchman Natura Nova och Oli-free. Samtliga stallar var byggda eller ombyggda 2003 eller 2004. En av gårdarna skiljde sig genom att stallet var konstruerat av träregelverk istället för av betongelement. Besättningsstorleken varierade mellan 7.500 och 13.500 hönor. Hönsen i de tre stallarna var mellan 35 och 60 veckor vid besöket, och åldern vid insättning varierade mellan 14,5 och 16 veckor. Som längst hade hönorna varit i sitt stall i 44 veckor (gård 4) och som minst i 20,5 veckor (gård 6).

Två av husen tog in uteluft genom väggmonterade ventiler, medan den tredje gården (nr 6) hade utluftstillförsel genom en strumpa i taket. Lantbrukaren på denna gård var en av de få som uttryckte missnöje med sin ventilation. Det var också undersökningens enda stall med fönster (2,5 % av golvarealen). Hönorna här var aktiva och väl fördelade över rummet.

Utgödsling skedde regelbundet i alla tre husen, vanligen en gång i veckan. Gård 4 hade kört utgödslingen strax innan besöket och gård 6 dagen före, medan det på gård 5 hade gått sex dagar sedan utgödslingen. I en av besättningarna (gård 4) skottades allt löst material i gångarna ut manuellt var 14:e dag, och en gång i kvartalet skottades hela ströbädden ut. Lantbrukaren klagade över att detta innebar mycket extra arbete men menade att det märktes på äggproduktionen om ammoniakhalten i stallet blev för hög. Oli-free-systemet har nackdelen att en 60 cm bred yta framför värpredena inte går att gödsla ut. Gödseln som blev liggande där hade en påtagligt negativt inverkan på luftkvaliteten.

Alla tre gårdarna strödde med kutterspån. Gård 4 lade in tunnast möjliga lager vid insättningen, men strödde därefter var dag med omväxlande havre respektive snäckskal. Gård 6 blandade grus med kutterspån vid insätt och efterströdde med kutterspån, medan gård 5 inte företog något underhåll av ströbädden.

Golvsystem

Två olika inredningssystem var representerade i undersökningen: två gårdar hade Vencomatic golvsystem och en hade Fienhage (en gammal modell med reden i två våningar). Samtliga stallar var byggda eller ombyggda år 1997 eller -98, och besättningsstorleken varierade mellan 5.300 och 10.000 hönor. Den

största besättningen hade hönorna uppdelade i två separata avdelningar men med ett gemensamt "lufttrum". Hönsen var alla insatta vid 16 veckors ålder och var vid besöket mellan 47 och 69 veckor gamla.

Två av stallarna var konstruerade av träregelverk och en med plastväggar, alla med 10-15 cm isolering i väggen och 20-25 cm i taket. En av besättningarna (gård 9) skilde sig från de övriga i undersökningen genom att ha tillskottsvärme i form av väggmonterade element med vattenburen värme (oljeeldning). Luftkvaliteten var anmärkningsvärt god, men ägaren klagade över uppvärmningskostnaderna. Lantbrukaren på gård 7 ansåg att det var ett problem att hålla värmen i stallet om vintern.

Ströbädden behandlades något olika på de tre gårdarna.

- Gård 7 hade inget strö vid insättningen av hönsen men strödde ibland lite kutterspån efteråt. Vid besöket hade ströbädden en tjocklek på 15-20 cm.
- Gård 8 startade med ca 0,5 cm sand/grus i botten av ströbädden och underhöll den med lite halm "av och till". Lantbrukaren här uppgav problemet med att hålla ströet torrt som produktionssystemets största utmaning.
- Gård 9 lade in sand och sågspån vid insättningen men därefter skedde inget underhåll av ströbädden.

Alla tre gårdarna hade permanent gödsellagring och utgödsling skedde endast mellan omgångarna.



Bild 1. System med inredda burar



Bild 2. System med inredda burar



Bild 3. Våningssystem



Bild 4. Golvsystem

Mätmetoder

Mätningar har genomförts på tre olika ambitionsnivåer:

1. Stickprovsmätningar i samband med besök i stallarna (*samtliga 9 byggnader*)
2. Passiva långtidsregistreringar (10-15 timmar och 24 timmar) (*3 byggnader*)
3. Kontinuerliga långtidsregistreringar (*samma 3 byggnader som ovan*).

Av praktiska skäl sköttes en del moment såsom exempelvis dammfilterbyten och byten av diffusionsrör för gaser av djurägare och djurskötare i den gjorda studien.

Ammoniak

Stickprovsmätningar av ammoniak gjordes med direktvisande reagensrör (Kitagawa eller Dräger) i samband med besök i stallarna. Stickprovsmätningar utfördes i samtliga besökta stallar.

För att erhålla mätvärden över en period på flera timmar användes passiva reagensrör (Dräger Ammonia 20/a-D, Part number 8101301) i ett stall för varje typ av inhysningssystem. Ett integrerat värde erhöles över exponeringstiden. Provtagning skedde i frånluften till lägsta fläktsteg (vid en minimiventilationsfläkt) eller i en människas andningshöjd (1,6-1,8 m över golv) på en plats centralt i stall. Exponeringstiden valdes i början till ca ett dygn. Det visade sig att denna exponeringstid i vissa fall var för lång vid de utetemperaturer som rådde. Utetemperaturen var i något fall så låg som -22 °C, vilket innebar mycket låga ventilationsflöden som i vissa fall orsakade mycket höga ammoniakhalter. Överexponering skedde därför i vissa fall. Exponeringstiden minskades därför och mätningarna upprepades.

Kontinuerlig mätning av ammoniakhalter utfördes i ett stall för varje typ av inhysningssystem för att belysa dygnsförlopp. Två IR-spektrofotometrar (Miran, Foxboro Analytical) användes. Utsignaler (spänning) från spektrofotometrarna registrerades var 10:e minut med miniloggrar av typen "Tiny Tag Plus" (Gemini Data Loggers). I efterhand konstaterades att en spektrofotometer upphörde att fungera efter mindre än ett dygns mätning i ett stall. Denna mätning fick därför upprepas med den andra spektrofotometern.

Parallellt med kontinuerliga ammoniakmätningar mättes koldioxidhalter i stallarna (frånluft) och temperaturförhållande kontinuerligt för att få ett mått på stallarnas klimatförhållande (ventilation).

Koldioxid

Koldioxidhalten ger främst information om ventilationsflödet i förhållande till djurbeläggningen. Mätningar av koncentrationen i anslutning till en frånluftsfläkt som alltid är i drift (i frånluftsflödet till lägsta fläktsteg) anses ge en form av medelvärde av koldioxidproduktionen och förhållanden i stallet och anses därför vara viktiga. Mätning av koldioxidhalter på olika platser i stallet kan ge information om att det finns områden som är dåligt ventilerade.

Stickprovsmätningar av koldioxidhalter gjordes med direktvisande handinstrument (TSI IAQ-Calc) eller reagensrör (Kitagawa eller Dräger) i samband med besök. Dessa stickprovsmätningar utfördes i samtliga stallar.

För att erhålla mätvärden över flera timmar användes passiva reagensrör (Dräger Carbon Dioxide 1 %/a-D, Part number 8101051). Ett integrerat värde erhöles över exponeringstiden och medelkoncentrationen bestämdes. Provtagning skedde i en människas andningshöjd (1,6-1,8 m över golv) på en plats centralt i stall. Exponeringstiden valdes i början till ca ett dygn. Liksom för ammoniak visade det sig att denna exponeringstid i vissa fall var för lång vid de låga utetemperaturer som rådde. Den låga utetemperaturen resulterade i mycket låga ventilationsflöden och höga koldioxidhalter. Överexponering skedde därför i vissa fall. Exponeringstiden minskades därför.

Kontinuerlig mätning av koldioxidhalter i de olika stallarnas frånluft skedde också i ett stall för varje typ av inhysningssystem. Mätningarna gjordes med två optiska gasanalysatorer (Rieken Keiki RI- 221 respektive Siemens CO2-Controller). Utsignaler (spänning) från analysatorerna registrerades var 10:e minut med miniloggrar av typen "Tiny Tag Plus" (Gemini Data Loggers).

Damm

Bestämning av totala dammhalter gjordes i ett stall för varje typ av inhysningssystem. Halten av totalt damm bestämdes med filtermetoden (med ett luftflöde av 1.9-2.2 l/minut). Polykarbonatfilter med 0,8 µm porstorlek användes.

Provtagningsfilter placerades centralt i stall i människas andningshöjd. Det visade sig att driftstiden för uppladdningsbara pumpar var begränsad (10-15 timmar) varför vissa pumpar hade stannat. För dessa pumpar var därför driftstiden okänd och dessa mätvärden kunde inte användas. Vissa dammprovtagningar fick därför upprepas.

Dammvikten bestämdes genom vägning med en Satorius MC5 mikrovåg i ett klimatiserat vägningsrum (RH 40±2% och 20±0.5°). Analys av filtren och de dammängder som uppsamlades på filtren gjordes vid Statens arbetsmiljöinstitut (STAMI).

Mikroorganismer

Ett antal av dammfiltren valdes ut för mikrobiell analys hos STAMI.

Partiklar suspenderades i 0,1% Tween 80 i vatten med tillsats av 1% formaldehyd, filtrerades ut på ett polykarbonatfilter färgat med Irgalan black med 0.2 µm porstorlek och färgades med acrine orange som fluorochrome. Bakterierna räknades med fluorescensmikroskop (FM) som beskrivet i Heldal *et al.* (1996).

Lufttemperaturer och relativ luftfuktighet

Lufttemperaturer registrerades främst på följande platser:

- Utsug till lägsta fläktsteg (ger medelvärde av stallets temperaturnivå)
- Centralt i stall 1.8-2.0 m över golv
- Utomhus på solskyddad plats

I samband med stickprovsmätningar av ammoniak och koldioxid bestämdes också stallluftens och uteluftens temperatur med en varmtrådsanemometer (Alnor).

Kontinuerliga temperaturmätningar skedde med miniloggrar av typen "Tiny Tag Plus" (Gemini Data Loggers) som även registrerar relativ luftfuktighet. Mätningarna ger information om klimatstyrningens funktion.

Luft rörelser

Stallarnas luft rörelser kartlades översiktligt med en varmtrådsanemometer. Luft rörelser följdes i luftstrålar från luftintag.

Ventilationsflöde

Ventilationsflödet påverkar samtliga klimatfaktorer som undersöks i ett stall. Ventilationsflödet är dock den svåraste mätningen att genomföra. Det finns flera orsaker:

- Det kan finnas flera frånluftsfläktar
- Det är ofta svårt att komma åt med mätinstrument i frånluftsöppningarna
- Det är svårt att hitta lämpliga mätsektioner där mätresultaten blir tillförlitliga

En av de bästa metoderna att mäta ventilationsflödet är att utnyttja en "medföljande", medroterande fläkt (impeller) för kontinuerlig registrering. Signalen från en impeller ansluts till en data-logger. En impeller ansluts till det lägsta fläktsteget så att de låga luftflöden som förekommer i ett stall när det är kallt ute kan mätas.

Anslutning av en impeller till en frånluftsfläkt kräver dock monteringsarbete som kan vara mycket tidskrävande. Det kan därför vara aktuellt att enbart utföra stickprovsmätning vid ett besökstillfälle. Flödet bestäms då med en lufthastighetsmätare (ofta en varmtrådsanemometer) i en luftkanal som är ansluten till en frånluftsfläkt. Det är ofta nödvändigt att ansluta en särskild kanal (mätstos, rör) till frånluftsfläktar vid denna typ av mätningar. Mätningar utförs vanligen i ett antal punkter (i ett gitter) i en kanals tvärsnittsyta. Vid stickprovsmätningar bör alltid stallluftens och uteluftens temperatur samt stallluftens koldioxidhalt registreras vid mättillfället.

I projektet bedömdes det inte vara rimligt att direkt mäta upp ventilationsflödena.

Koldioxidhalter ger information om stallarnas ventilation

Om ovan beskrivna luftflödesmätningar inte är genomförbara är det starkt rekommenderbart att mäta stalluftens och uteluftens temperatur samt stalluftens koldioxidhalt då provtagning sker av ammoniak eller damm. Koldioxidhalter samt temperaturdifferenser mellan stall och uteluft ger information om stallarnas ventilationsförhållande.

Mätningar av koldioxid samt lufttemperaturer i stall och uteluft skedde därför i samband med provtagning av ammoniak för att få ett underlag för en bedömning av ventilationsflödena.

I samband med provtagning av totalt damm skedde mätning av koldioxidhalter med ovan beskrivna instrument (Rieken Keiki RI-221 alt. Siemens CO₂-Controller) eller med långtidsverkande reagensrör och temperaturer i stalluft och uteluft uppmättes med hjälp av miniloggrar.

Parallellt med kontinuerliga ammoniakmätningar mättes koldioxidhalter i stallarna (i frånluft alternativt i stall) och temperaturer i stalluft och uteluft registrerades kontinuerligt (Diffusionsrör alt. Rieken Keiki RI-221 alt. Siemens CO₂-Controller) för att få mått på stallarnas ventilationsflöde.

Användning av temperaturskillnader och koldioxidhalter som referensförhållande

Avgivningens storlek av en luftförorening i förhållande till djurtätheten kan uttryckas som:

$$E = q \cdot (C_2 - C_1) \quad (1)$$

där

E = avgivning av en luftförorening, mg/djur, h

q = ventilationsflöde, m³/djur, h

C₂, C₁ = koncentrationer av en luftförorening i stalluft (eller frånluft) respektive uteluft (eller tilluft), mg/m³

För de flesta luftföroreningar som avges i djurstallar är koncentrationen i uteluften försumbar i förhållande till koncentrationen i stalluften. Ett undantag utgörs av koldioxid där uteluften har en relativt hög koncentration. Koncentrationen av koldioxid i uteluften har stigit under det senaste århundradet och det finns också en säsongsvariation till följd av atmosfärens utbyte av kol med vegetation, oceanernas vatten och det marina livet (Soon *et al.*, 1999). I gjorda beräkningar har uteluften förutsatts innehålla 350 ppm koldioxid.

Om avgivningen av en luftförorening i förhållande till djurtätheten skall bestämmas är det nödvändigt att också bestämma ett mått på ventilationsflödets storlek enligt ekvation 1.

Temperaturdifferens som referens

Om ingen extra värme tillförs till ett stall kan den fria värmebalansen uttryckas enligt:

$$P \cdot n = (T_2 - T_1) \cdot \left[\Sigma(U \cdot A) + \frac{n \cdot q \cdot \rho \cdot C_p}{3,6} \right] \quad (2)$$

där

P = avgivning av fri värme, W/djur

T₁, T₂ = temperatur i uteluft respektive stalluft, °C

n = antal djur

Σ(U·A) = summan av transmissionsförluster igenom byggnadsytorna, W/°C

ρ = stalluftens densitet, kg/m³

C_p = luftens värmekapacitet, kJ/kg, K

Ventilationsbehovet blir därmed:

$$q = \left[\frac{n \cdot P}{T_2 - T_1} - \Sigma(U \cdot A) \right] \cdot \frac{3,6}{\rho \cdot C_{p,n}} \quad (3)$$

Det framgår av ekvationen att ventilationsbehovet med avseende på den fria värmebalansen bara påverkas av tre storheter; den sammanlagda fria värmeavgivningen, temperaturskillnaden mellan stalluft och uteluft samt de sammanlagda transmissionsförlusterna genom byggnadsskalet.

Under huvuddelen av året är djurstallars totala transmissionsförluster avsevärt mindre än ventilationsförlusterna. Ventilationsbehovet kan därför approximativt uttryckas som:

$$q \approx \frac{P \cdot 3,6}{(T_2 - T_1) \cdot \rho \cdot C_p} \quad (4)$$

Ventilationsflödet i väl- respektive dåligt isolerade stallar avviker relativt lite från ett stall utan transmissionsförluster. Med andra ord skulle den förenkling av ekvation 3 som resulterat i ekvation 4 kunna användas i de flesta fall vid approximering av ventilationsflöden i isolerade stallar. Kombination av ekvationerna 1 och 4 resulterar i följande relation mellan avgivningen av en förorening i förhållande till den fria värmeavgivningen:

$$\frac{E}{P} = \frac{1}{\rho \cdot C_p \cdot 3,6} \cdot \frac{(C_2 - C_1)}{(T_2 - T_1)} = \text{konst} \cdot \frac{(C_2 - C_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (5)$$

Förhållandet mellan differenserna i föroreningskoncentration och temperatur kan definieras som en kvot TR enligt:

$$TR = \frac{(C_2 - C_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (6)$$

Kvoten TR kan ge ett karakteristiskt mått på avgivningen av en förorening i förhållande till djurtätheten oberoende av uteklimatet och ventilationsflödets storlek. Beroende på nivån hos föroreningsalstringen bör man kunna se olika nivåer. Kvoten ger därför ett mått på föroreningsalstringen i förhållande till djurbeläggningen.

Koldioxidkoncentration som referens

Ett likartat angreppssätt kan användas där koldioxidhalten i ett stall används som referensnivå för ventilationsflödets storlek. Enligt CIGR (1984) står avgivningen av koldioxid i direkt relation till den totala värmeavgivningen. Massbalansen för koldioxid i djurstallar kan uttryckas som:

$$E_{CO_2} = \rho_{CO_2} \cdot 0,000163 \cdot P_{tot} = q \cdot (C_{CO_2,2} - C_{CO_2,1}) \quad (7)$$

där

E_{CO_2} = produktion av koldioxid, mg/djur, h

P_{tot} = total värmeavgivning, W/djur

$C_{CO_2,1}, C_{CO_2,2}$ = koncentrationen av koldioxid i uteluft (tilluft) respektive stalluft (frånluft), mg/m³

Halten av koldioxid i stalluften ger ett mått på ventilationsflödets storlek i förhållande till djurtätheten (koldioxid- och värmeproduktion) enligt:

$$q = \frac{\text{konst}}{C_{CO_2,2} - C_{CO_2,1}} \quad (8)$$

Kombination av ekvationerna 8 och 1 ger ett mått på avgivningen av en förorening i förhållande till den totala värmeavgivningen enligt:

$$E_{CO_2} = \text{konst} \cdot \frac{(C_2 - C_1)}{C_{CO_2,2} - C_{CO_2,1}} \quad (9)$$

Förhållandet mellan skillnaderna i föroreningskoncentration och koldioxidkoncentration i stalluft respektive uteluft kan definieras som en kvot CR enligt:

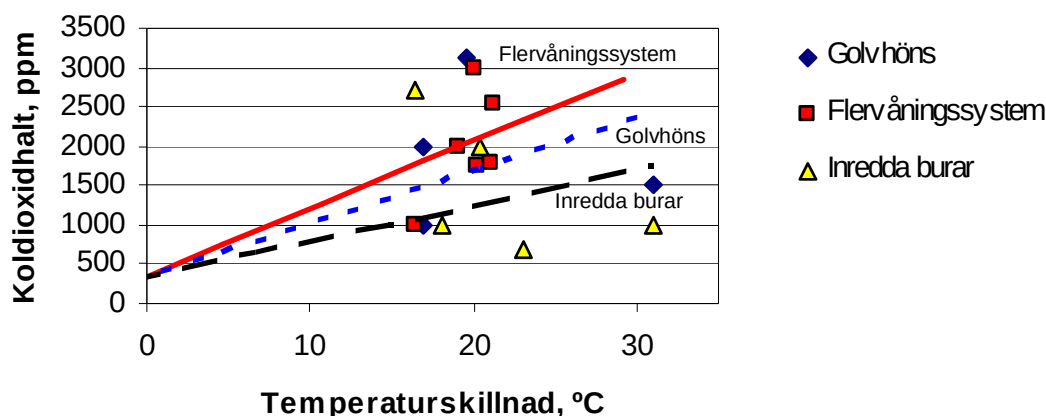
$$CR = \frac{(C_2 - C_1)}{C_{CO_2,2} - C_{CO_2,1}} \quad (10)$$

Kvoten CR kan också ge ett karakteristiskt mått på avgivningen av en förorening i förhållande till djurtätheten oberoende av uteklimatet och ventilationsflödets storlek.

RESULTAT

Stickprovsmätningar

Stickprovsmätningar av koldioxidhalter i stallarnas frånluft har analyserats mot temperaturdifferensen mellan frånluft och uteluft med linjär regressionsanalys. Stallarnas koldioxidhalt har förutsatts vara 350 ppm vid temperaturskillnaden 0 °C eftersom oändligt ventilationsflöde då förutsätts råda. Resultat från analysen visas i figur 1.



Figur 1. Stickprovsmätningar av koldioxidhalter i stallars frånluft som funktion av temperaturskillnaden mellan stalluft och uteluft (9 byggnader)..

För att frigöra sig från inverkan av skillnader i ventilationsflöden (påverkan av utetemperaturen) har alla tre inhysningssystemens ammoniakförhållande analyserats med hjälp av temperaturkvot TR och koldioxidkvot CR (beskrivna i tidigare avsnitt). Resultat från de manuella stickprovsmätningarna i stallarnas frånluft visas i tabell 1.

Inhysning av frigående höns med ströbädd och gödselbinge gav högst ammoniakhalter. Ammoniakhalterna var något lägre vid inhysning i flervåningssystem med ströbädd. Vid inhysning i inredda burar med mekanisk utgödsling erhöles generellt mycket låga halter.

Tabell 1. Vid stickprov uppmätta medelkoncentrationer av ammoniak och koldioxid och beräknade CR och TR medelvärden för ammoniak. Standardavvikelse (SD) anges inom parentes

Inhysningssystem	Antal gårdar	Tot. antal mätningar	Ammoniak ppm	Koldioxid ppm	TR	CR
Inhysning av frigående höns med ströbädd och gödselbinge	2*	3	56,7 (10,4)	1873 (1108)	2,639 (0,699)	0,0483 (0,0231)
Frigående höns i flervåningssystem med ströbädd	3	6	38,3 (13,09)	2017 (693)	1,923 (0,564)	0,0244 (0,0059)
Inredda burar med mekanisk utgödsling	3	5	2,5 (0,37)	1480 (841)	0,120 (0,022)	0,0035 (0,0024)

* Gården med tilläggsvarme i stallet är ej medtagen i beräkningarna. I detta stall var ammoniakhalterna betydligt lägre än i de övriga två stallarna med golvsystem (se bilaga 1).

Kontinuerliga mätningar

Dygnsvärden för temperatur, luftfuktighet, koldioxid och ammoniak

Medelvärden av koldioxid- och ammoniakhalter liksom temperatur och luftfuktighet under de olika dygn som kontinuerliga mätningar pågick framgår av tabell 2. Djurens aktivitet tillsammans med de utrustningar som oftast finns för ventilation och klimathållning i djurstallar leder till variationer i klimat och gashalter. Koncentrationerna av gaser i stallarna varierade relativt mycket under dygnens olika timmar. Temperatur och luftfuktighet i stallarna uppvisade också pendlingar. Koldioxidkoncentrationerna överskred ibland 2500 ppm, men i de flesta fall uppmättes koncentrationer under denna nivå. Vid mätningarna i systemet med inredda burar var utetemperaturen låg. Detta ledde till låga ventilationsflöden och höga koldioxhalter vid mättillfället.

Tabell 2. Uppmätta dygnsmedelvärden för temperatur, relativ luftfuktighet, koldioxidkoncentration och ammoniakkoncentration vid mätningarna i stallar med olika inredningssystem

Datum	Temperatur			Relativ luftfuktighet, RH			Koldioxid, CO ₂		Ammoniak, NH ₃	
	Stall, ca 1,8 m över golv vid ströbädd/binge °C	Frånluft °C	Ute °C	Stall, ca 1,8 m över golv vid ströbädd/binge %	Frånluft %	Ute %	Frånluft ppm		Frånluft ppm	
Golvsystem										
28-feb	19,5	20,2	-	62	59	-	1842 ¹		75 ¹	
01-mar	19,2	19,7	-	62	59	-	1688 ¹		72 ¹	
02-mar	19,0	19,5	-	61	59	-	1514 ¹		66 ¹	
03-mar	19,1	19,4	-	62	59	-	1797 ¹		68 ¹	
04-mar	19,1	19,4	-	63	60	-	2084 ¹		70 ¹	
05-mar	19,7	20,0	-	64	60	-	1874 ¹		79 ¹	
29-mar	21,3	-	4,4	62	-	63	1505 ²	Dag: 89 ² Natt: 94 ²		
30-mar	21,5	-	3,5	57	-	61	1224 ²	Dag: 83 ² Natt: 89 ²		
31-mar	21,4	-	1,8	58	-	92	2041 ²	Dag: 77 ² Natt: 89 ^{2,*}		
1-apr	21,4	-	1,1	56	-	67	1458 ²	Dag: 83 ^{2,*} Natt: 97 ^{2,*}		
2-apr	21,5	-	2,1	57	-	84	2128 ²	Dag: 157 ^{2,*} Natt: 97 ^{2,*}		
3-apr	21,3	-	2,3	59	-	85	2143 ²	Dag: 138 ² Natt: 108 ²		
Våningssystem										
01-mar	-	18,0	-	-	56	-	1662 ¹		26 ³ 34 ³	
02-mar	-	16,9	-	-	62	-	1637 ¹		-	
03-mar	-	17,3	-	-	64	-	2090 ¹		-	
04-mar	-	19,1	-	-	65	-	2417 ¹		-	
05-mar	-	18,3	-	-	65	-	2190 ¹		-	
06-mar	-	18,2	-	-	66	-	2341 ¹		-	
07-mar	-	18,7	-9,5	-	64	85	2215 ¹		-	
08-mar	-	18,1	-7,5	-	65	95	2165 ¹		-	
09-mar	-	16,8	-6,6	-	67	90	1876 ¹		-	
28-mar	15,8	-	2,6	68	-	99	1673 ¹		25 ¹	
29-mar	16,5	-	2,1	67	-	100	1717 ¹		39 ¹	
30-mar	16,6	-	2,9	62	-	92	1550 ¹		36 ¹	
31-mar	15,7	-	1,9	64	-	93	1587 ¹		25 ¹	
1-apr	15,3	-	2,2	63	-	87	1649 ¹		21 ¹	
2-apr	16,2	-	1,9	65	-	94	1781 ¹		31 ¹	
3-apr	15,9	-	2,8	68	-	98	1612 ¹		31 ¹	
4-apr	16,0	-	2,0	65	-	92	1817 ¹		30 ¹	
5-apr	16,4	-	2,5	62	-	86	1784 ¹		35 ¹	
6-apr	16,6	-	0,7	68	-	100	1963 ¹		40 ¹	
7-apr	16,6	-	1,9	68	-	98	1821 ¹		42 ¹	

Tabell 2. Fortsättning

Datum	Temperatur			Relativ luftfuktighet, RH			Koldioxid, CO ₂		Ammoniak, NH ₃	
	Stall, ca 1,8 m över golv vid ströbädd/binge °C	Frånluft °C	Ute °C	Stall, ca 1,8 m över golv vid ströbädd/binge %	Frånluft %	Ute %	Frånluft ppm		Frånluft ppm	
Inreda burar										
06-mar	14,1	-	-1,3	45	-	75	2268 ¹		3 ¹	
07-mar	12,7	-	-7,7	38	-	78	2775 ¹		3 ¹ 6 ²	
08-mar	13,4	-	-3,9	34	-	84	2244 ¹		3 ¹ 2 ²	
09-mar	14,3	-	-4,9	35	-	83	2330 ¹		3 ¹ 3 ²	
10-mar	17,9	-	-12,7	24	-	86	2878 ¹		3 ¹ 12 ²	

1 Mätning med IR-instrument

2 Mätning med diffusionsrör

3 Stickprov med Kitagawarör

* Uppskattat klockslag för byte

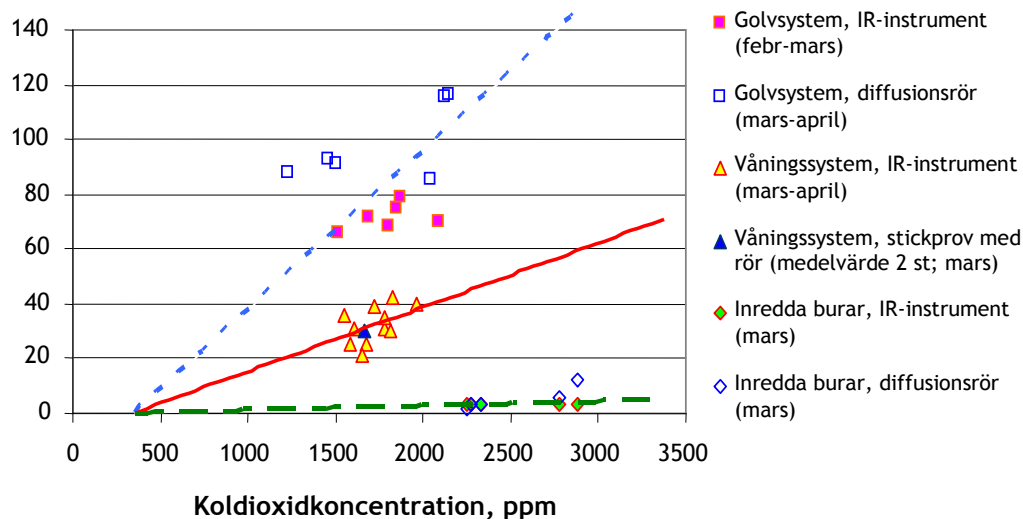
Ammoniak

Halterna av ammoniak i stalluften varierade mellan de olika systemen. I systemet med inreda burar uppmättes halter som var klart under 25 ppm. I systemet med inreda burar uppmättes låga halter ammoniak. Mätvärdena låg mellan 2 och 12 ppm, med ett genomsnitt på 4 ppm (9 mätningar). Koncentrationerna i våningssystemet (frigående höns i flervåningssystem) var betydligt högre än i systemet med inreda burar. Vissa dagar uppmättes koncentrationer på ca 25 ppm eller därunder medan koncentrationer på upp till ca 40 ppm uppmättes andra dagar. Mätvärdena varierade mellan 21 och 42 ppm, med ett genomsnitt på 32 ppm (13 mätningar). Allra högst var ammoniakkoncentrationerna i systemet med golvhöns och gödselbinge. I detta stall uppmättes koncentrationer på 65-80 ppm vid mätningar med IR-spektrofotometer (Miran) under en mätperiod. Koncentrationer från 75 ppm upp till värden betydligt över 100 ppm uppmättes under en annan period då mätningar gjordes med diffusionsrör. Genomsnittet för de båda mätperioderna uppgick till 85 ppm, (12 dygnsmedelvärden) med ett max-dygnsmedelvärde på 117 ppm.

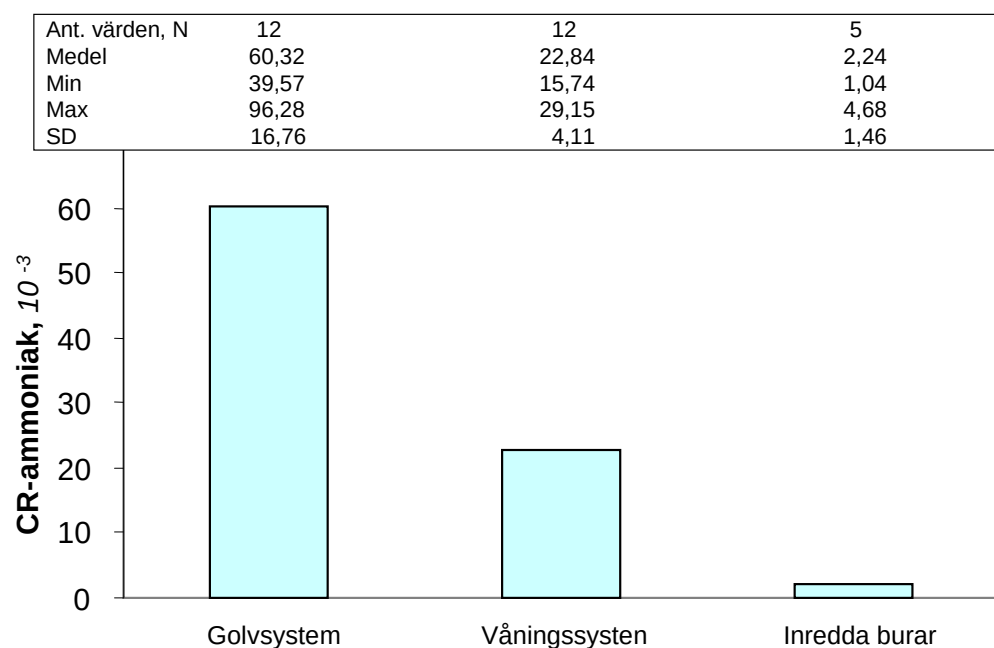
Att direkt jämföra uppmätta gaskoncentrationer mellan olika system kan bli missvisande då ventilationsflödena kan variera och som tidigare nämnts är det bättre att jämföra CR- och TR-värden.

Ammoniakkoncentrationerna i ett stall är beroende av ventilationsflödena och koldioxidhalten i ett stall är ett mått på ventilationsflödet. Höga koldioxidhalter motsvarar låga ventilationsflöden. Ammoniakhalterna i de olika systemen är i figur 2 plottade som funktion av koldioxidhalten. Teoretiska förhållanden med en konstant ammoniakalstring och konstant koldioxidstring i ett stall samt fullständigt omblandande ventilation motsvaras i diagrammet av en rät linje som skär x-axeln vid uteluftens koldioxidkoncentration, dvs. ca 350 ppm i normalfallet. Jämförs de uppmätta värdena med sådana tänkta, teoretiska linjer ser man att linjerna för de olika systemen får markant olika lutning. Vid samma koldioxidkoncentration var skillnaderna stora mellan de olika systemen. Skillnaden mellan de olika systemen framgår också av figur 3 där staplarna motsvarar de olika systemens CR-värden för ammoniak (ammoniakkoncentration i stallet dividerat med koldioxiddifferens) beräknade utifrån dygnsmedelvärden.

Ammoniakkoncentration, ppm

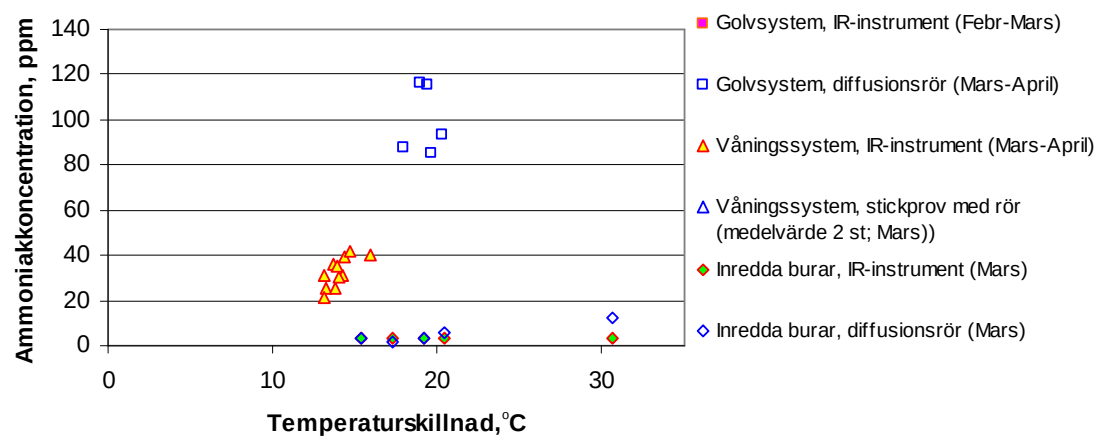


Figur 2. Ammoniakhalter som funktion av koldioxidhalter (dygnsmedelvärden)

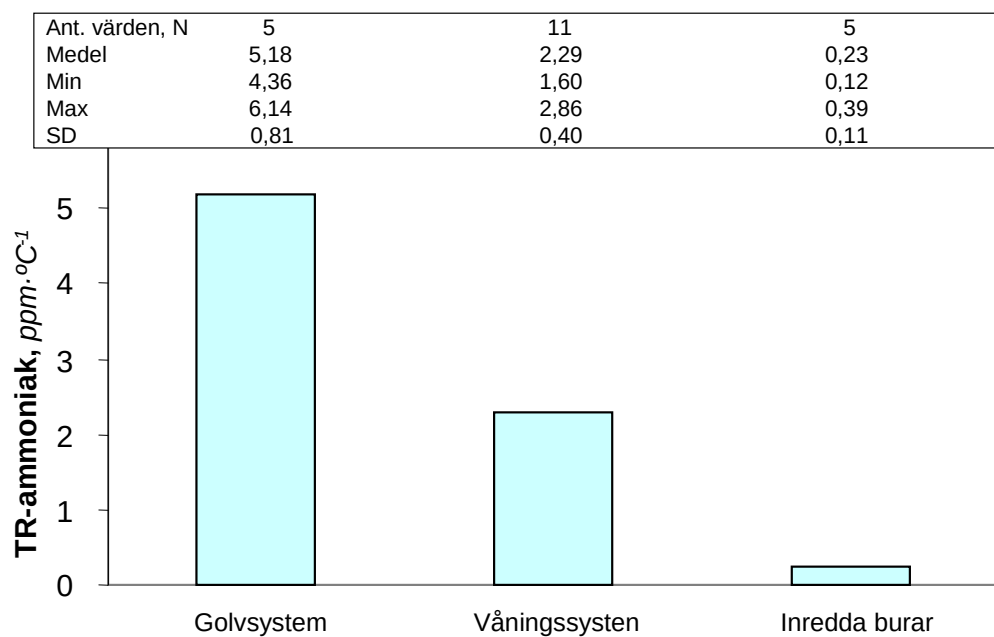


Figur 3. Ammoniakhalter i förhållande till koldioxiddifferenser (CR) för dygnsmedelvärden i de olika systemen.

Temperaturskillnaden mellan stall och utomhus utgör också ett mått på ventilationsflödet enligt ovanstående avsnitt. De uppmätta ammoniakkoncentrationerna är i figur 4 plottade mot temperaturskillnaden. En stor temperaturskillnad innebär låga ventilationsflöden i det fall ingen tillsatsvärme används. Figur 5 visar skillnaden mellan de olika systemen beräknade som TR-värden för ammoniak (ammoniakkoncentration i stallet dividerat med temperaturdifferens) beräknade utifrån dygnsmedelvärden.



Figur 4. Ammoniakhalter som funktion av differensen mellan temperatur i stall och utomhus (dygnsmedelvärden)



Figur 5. Ammoniakhalt i förhållande till differenser mellan temperatur i stall och utomhus (TR) för dygnsmedelvärden i de olika systemen

Damm och bakterier

Damm- och bakteriekoncentrationer i de olika prov som togs i de olika stallarna framgår av tabell 3.

Tabell 3. Uppmätta damm- och bakteriekoncentrationer

Inredningssystem	Datum	Dammkoncentration mg/m^3	Bakteriekoncentration, FM 10^7 st per m^3
Golvsystem			
Andningshöjd	28 febr – 1 mars	6,84	
Djurhöjd, ca 30 cm ö golv	28 febr – 1 mars	7,98	
Andningshöjd	29-30 mars	17,65	9,6
Andningshöjd	30-31 mars	11,33	8,0
Packrum, vid äggband	29-30 mars	0,04	
Packrum, vid äggband	30-31 mars	0,05	
Våningssystem			
Tak, ca 100 cm u innertak	1-2 mars	0,40	
Andningshöjd	1-2 mars	0,71	
Andningshöjd	7-8 mars	1,72	
Golv, ca 30 cm ö golv	7-8 mars	0,79	
Andningshöjd	28-29 mars	1,87	2,2
Andningshöjd	29-30 mars	2,38	
Andningshöjd	30-31 mars	1,81	2,9
Andningshöjd	31 mars-1 april	1,96	
Andningshöjd	1-2 april	1,47	
Andningshöjd	2-3 april	2,35	3,4
Inreda burar			
Andningshöjd, mitt i stall	6-7 mars	2,05	2,21
Andningshöjd, gavel	6-7 mars	0,60	0,69
Andningshöjd, mitt i stall	7-8 mars	2,48	1,61
Andningshöjd, mitt i stall	8-9 mars	2,23	1,11
Burfront	8-9 mars	2,30	
Andningshöjd, gavel	8-9 mars	1,19	

Damm

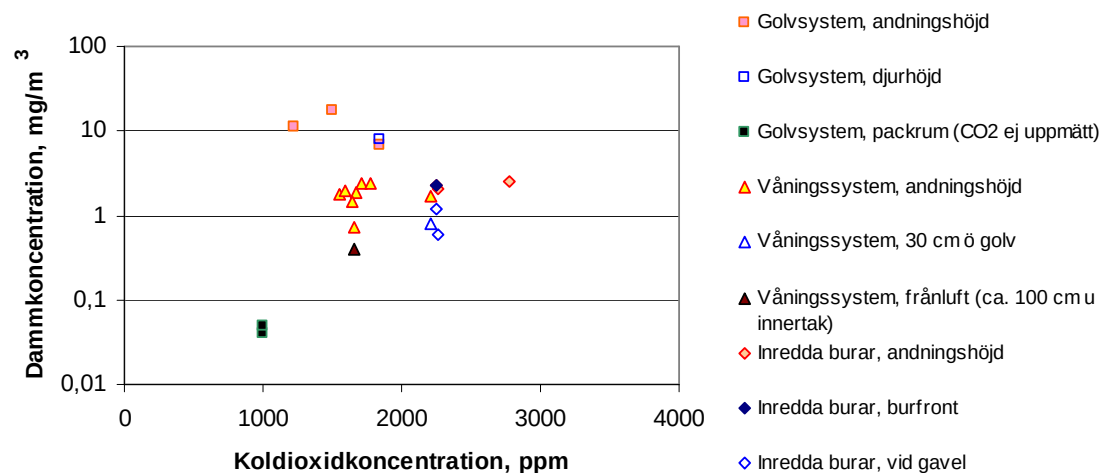
Dammhalterna i prov tagna från de olika systemen är i figur 6 plottade mot koncentrationen av koldioxid. Koncentrationen av gasformiga föroreningar uppvisar ett starkt samband med ventilationsflöden, men då det gäller damm är ventilationsflödet inte lika betydelsefullt vilket framgår av figur 6. CR-värden för de olika provtagningsplatserna framgår av figur 7, dammhalterna som funktion av temperaturskillnaden mellan stall och utomhus framgår av figur 8 och TR-värden framgår av figur 9.

Dammhalterna var signifikant högre i systemet med golvhöns än i våningssystemet och systemet med inreda burar (Kruskal-Wallis test, $p < 0,05$) för alla mätningar i andningshöjd. De uppmätta halterna av damm varierade i detta system mellan 6,8 och 17,6 mg/m^3 i de prov som analyserades. I våningssystemet och systemet med inreda burar innehöll proven tagna i andningshöjd (1,6-1,8 m över golv) ungefär lika mycket damm. I båda systemen uppmättes dammhalter mellan 1,5-2,5 mg/m^3 i de allra flesta proven i andningshöjd (mitt i stall). I golv- och våningssystemen ökade dammkoncentrationen efter 3-4 veckor (tvåvägs-ANOVA av log-transformerade dammkoncentrationer, $p < 0,05$ för olika perioder).

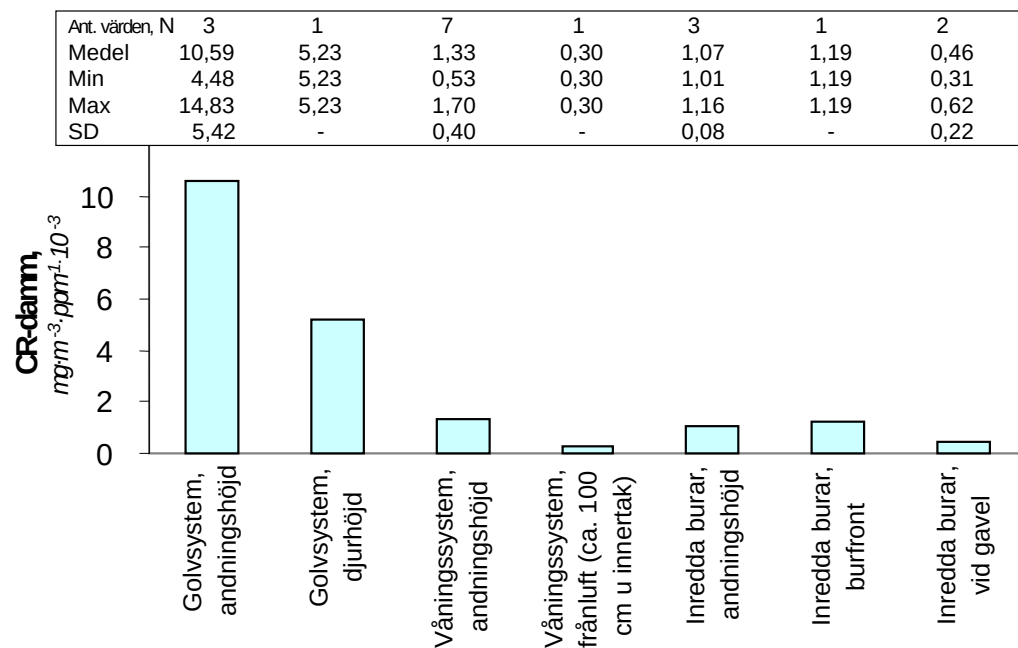
Bara två prov tagna vid golvet analyserades, ett från systemet med golvhöns och ett från våningssystemet. I båda dessa prov var halterna lägre än medelvärden i andningshöjd (1,6-1,8 m över golv). Dammhalterna vid golvnivå (ca 30 cm över golv) kan möjligen vara lägre än halterna i skötarens andningshöjd, men skillnaden kan också bero på slumpen, dvs. att halterna just vid provtagningen varit låga vid golvet.

I systemet med inredda burar uppmättes samma dammhalt i prov taget i burarnas framkant som i prov tagna i andningshöjd. De prov som togs vid gaveln innehöll mindre damm.

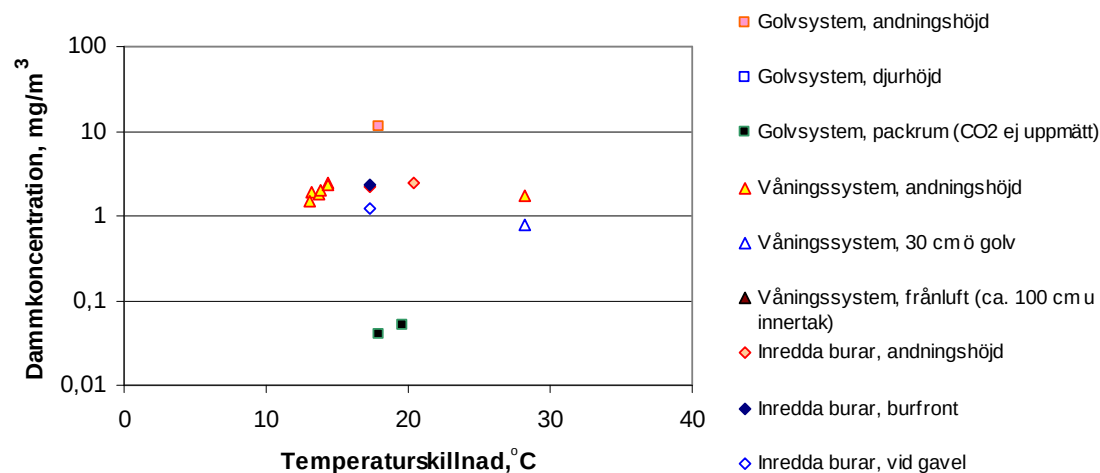
I golvsystemet togs också prov från packrummet och halterna var här mer än 100 gånger lägre än i hönshuset (0,04-0,05 mg/m³). Detta beror på att packrummet är helt avskilt från hönsuset.



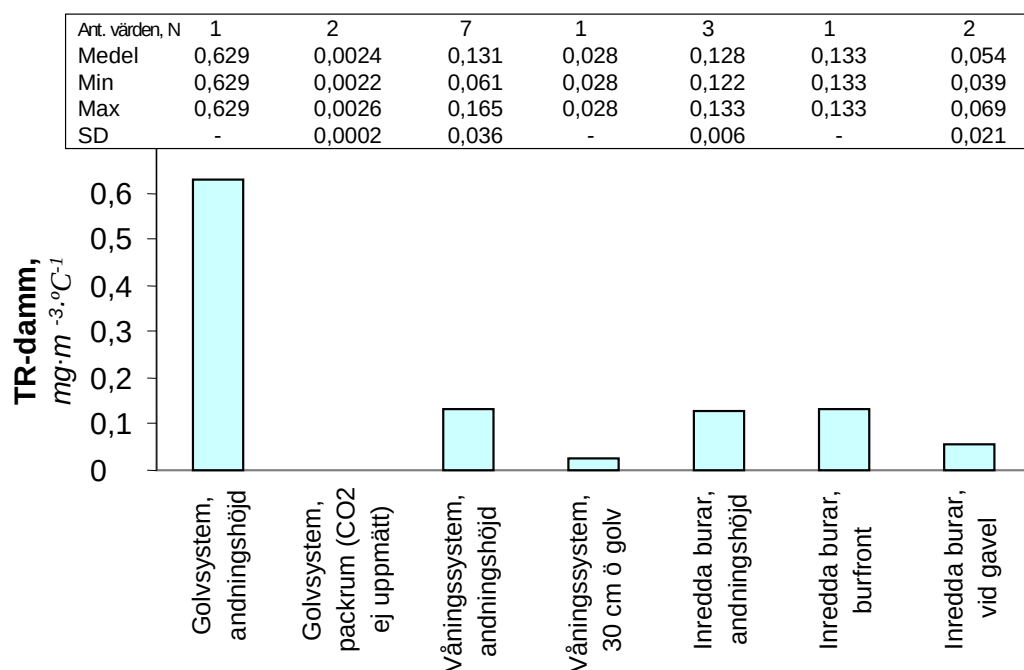
Figur 6. Dammhalter som funktion av koldioxidhalter (dygnsmedelvärden).



Figur 7. Dammhalter i förhållande till koldioxiddifferenser (CR) för dygnsmedelvärden i de olika systemen



Figur 8. Dammhalter som funktion av differensen mellan temperatur i stall och utomhus (dygnsmedelvärden)

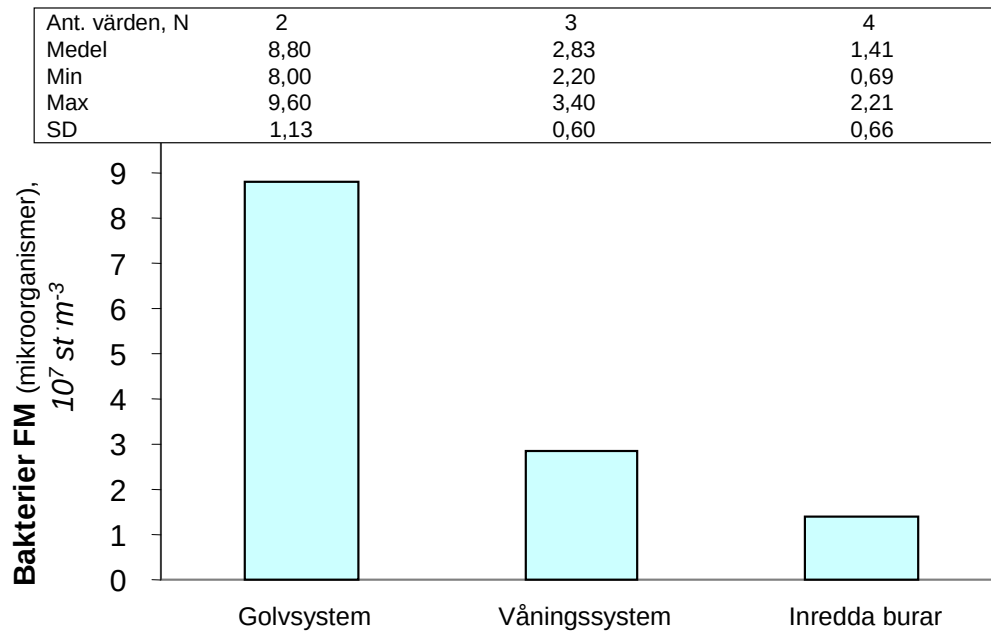


Figur 9. Dammhalt i förhållande till differenser mellan temperatur i stall och utomhus (TR) för dygnsmedelvärden i de olika systemen

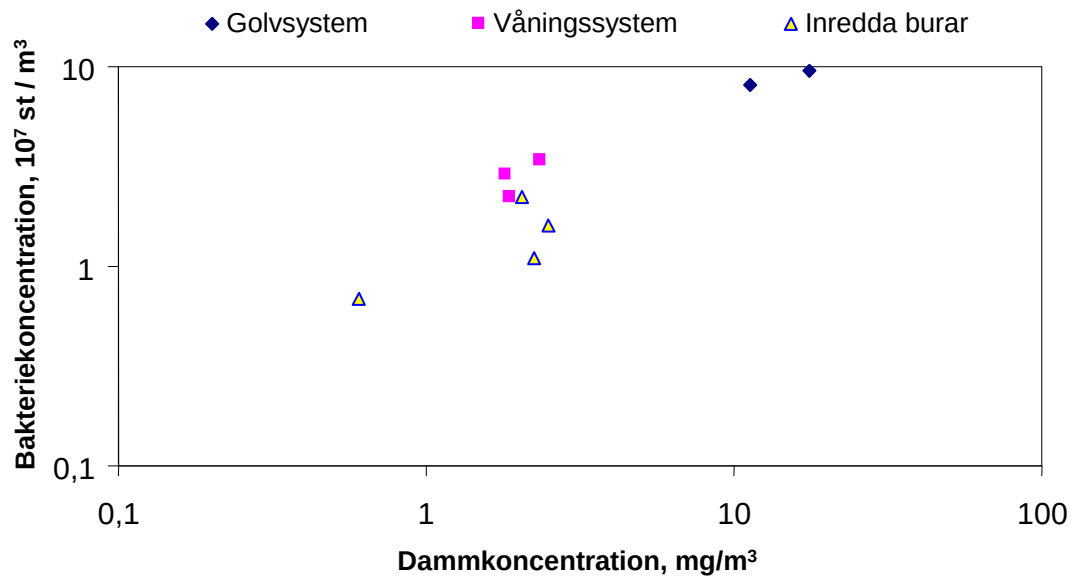
Bakterier

Bakteriehalterna i prov analyserade från de olika systemen framgår av figur 10. Antalet bakterier i prov tagna från systemet med golvhöns ($8,8 \cdot 10^7$ bakterier/ m^3 i medeltal) var högre än i prov tagna från de andra systemen. I detta system var också dammhalterna högre än i de andra systemen. I medeltal uppmättes också fler bakterier i våningssystemet ($2,8 \cdot 10^7$ bakterier/ m^3 i medeltal) än i systemet med inredda burar ($1,4 \cdot 10^7$ bakterier/ m^3 i medeltal). Bakteriekoncentrationen i de tre systemen var signifikant olika (Kruskal-Wallis test, $p < 0,05$).

I figur 11 är bakteriekoncentrationer i de olika proven plottade mot koncentrationen av damm i ett diagram med dubbel logaritmisk skala. I prov med hög dammhalt var också bakteriehalterna höga och diagrammet indikerar att det finns ett samband mellan dammhalt och bakterieförekomst.



Figur 10. Bakteriehalter i de olika inhysningssystemen



Figur 11. Uppmätta bakteriehalterna som funktion av uppmätta dammkoncentrationer

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Luftföroreningar

I fjäderfästallar är ammoniak och damm besvärande föroreningar som försämrar miljön för djur och skötare. Föroreningarna kan ha en påverkan var för sig, men de kan också ha en kombinerad effekt. Eventuella kombinationseffekter har emellertid varit föremål för lite forskning. En studie av broilerkycklingar visade att en kombination av ammoniak, damm och kolibakterier gav störst påverkan på djuren (Oyetunde *et al.*, 1978).

Ammoniak

I systemet med inredda burar uppmättes låga halter ammoniak, medan inget av de andra systemen helt nådde det mål som anges i handlingsplanen för djurvälstånd (inte över 20 ppm ammoniak). De i undersökningen uppmätta halterna kan också jämföras med de värden som anges i svenska föreskrifter för djurhållning (Jordbruksverket, 2003), där högst 25 ppm ammoniak accepteras i system med fjäderfä på ströbädd. I system med inredda burar och flervåningssystem med frigående värphöns accepteras 10 ppm. Värdena får endast undantagsvis överskridas. I Norge har Arbeidstilsynet antagit en administrativ norm för ammoniak på 25 ppm (8 timmars genomsnitt) (AT, 2003). I våningssystemet överskred nio av 13 mätvärden 25 ppm, medan samtliga 18 mätvärden från golvsystemet låg högt över detta gränsvärde. Det lägsta värde som uppmättes i golvsystemet var 66 ppm (mätt över tid med IR-instrument), alltså mer än dubbelt så högt som gränsvärdet. Det högsta uppmätta värdet (157 ppm, mätt med diffusionsrör) var drygt sex gånger högre, något som är helt oacceptabelt från djurskyddssynpunkt.

De i undersökningen uppmätta koncentrationerna av ammoniak i systemet med inredda burar var låga och ammoniak var här inget större problem. I system med värphöns i burar sker ofta utgödsling med täta intervall. Daglig utgödsling har visat sig ge en avsevärd reduktion av ammoniakkoncentrationerna i stallet (Groot Koerkamp *et al.*, 1995; von Wachenfelt *et al.*, 2002). I en undersökning av stallmiljön för värphöns i inredda burar uppmättes lägst koncentrationer (2-6 ppm ammoniak) i ett system där utgödsling skedde varje dag (Nimmermark, 1984).

Undersökningar har visat att de svenska gränsvärdena (25 respektive 10 ppm ammoniak) är svåra att hålla vintertid i system med frigående värphöns. I studier har man funnit höga koncentrationer av ammoniak i sådana system. I en svensk studie av miljön för golvhöns överskreds 25 ppm i majoriteten av 18 slumpmässigt valda besättningar och koncentrationer på upp till 80 ppm uppmättes (von Wachenfelt *et al.*, 2002).

I stallet med våningssystem var ströbädden vid mättillfället till stor del fuktig och kakig. Ströbäddens konsistens ansågs ha samband med fodret och den höll på att åtgärdas när mätningarna utfördes. Andra orsaker till förhöjd fuktighet i ströbädden kan vara brister i markisolering eller fukt som tränger in underifrån (von Wachenfelt *et al.*, 2002). Ökad temperatur och ökad fuktighet i stallet har i försök visat sig öka ammoniakemissionerna från stallet (Nimmermark och Gustafsson, 2005). I försök med broiler har ökad luftfuktighet lett till att ströbädden blir fuktigare, att den mist sin luckra konsistens och blivit kakig (Weaver och Meijerhof, 1991). Luftfuktigheten hänger intimt samman med stallets värmebalans och isolering i de fall ingen tillsatsvärme används. En ökad fuktighet i ströbädden anses öka ammoniakemissionen (Groot Koerkamp *et al.*, 1999). Vid mätningarna i våningssystemet har den fuktiga ströbädden med största sannolikhet ökat ammoniakhalterna i hönsuset. En blötare ströbädd kan leda till ökad skadefrekvens hos fjäderfän. I försök med broiler har man funnit att antalet bröstskador relaterade till ammoniak (ammoniakbrännskador) och antalet fotskador (infekterade trampdynor) varit fler för broilers som växt upp vid 75% relativ luftfuktighet (RH) jämfört med de som växt upp vid 45% RH (Weaver och Meijerhof, 1991). Då det gäller fotskador hos broiler har tunnare ströbäddar visat sig minska skadorna. Det är tänkbart att golvtemperaturerna blir lägre och att fuktigheten nere i ströbädden blir högre då en tjockare ströbädd används.

En rad olika klimatfaktorer såsom temperatur, luftflöde, lufthastighet anses påverka mängden ammoniak som avges i ett stall liksom faktorer som djurvikt, djurtäthet, storlek på gödselytor, utgödslingsintervall, pH och fukthalt i gödseln (Gustafsson och von Wachenfelt, 2004; Groot Koerkamp *et al.*, 1995).

Koldioxid

I djurstallar förekommer koldioxid sällan i koncentrationer som är skadliga för djur eller skötare. Under mätningarna erhöles i något fall dygnsmedelvärden som översteg 2500 ppm och under delar av dygn uppmättes också koncentrationer som var högre än 3000 ppm. Halter upp till 4500 ppm har uppmätts i svenska djurstallar (Mårtensson, 1995). Detta kan jämföras med delmålet som anges i Handlingsplanen: koldioxidhalten ska inte överskrida 3000 ppm. Samma gräns är fastsatt i svenskt regelverk, där 3000 ppm koldioxid anses vara acceptabelt i djurstallar (Jordbruksverket, 2003).

Damm

Då det gäller damm anses värdet 10 mg/m³ vara en nivå som inte bör överskridas (Jordbruksverket, 2003). Denna nivå överskreds i några prov som togs i systemet med golvhöns där halterna var speciellt höga (6,8-17,6 mg/m³ i de prov som analyserades). I de andra systemen (våningssystemet och systemet med inredda burar) var halterna klart lägre än 5 mg/m³. Detta är en gräns för organiskt damm som inte bör överskridas ur arbetarskyddssynpunkt (Arbetskyddsstyrelsen, 2000; AT, 2003). Djurens aktivitet har stor inverkan på dammhalterna. I en undersökning i olika svenska stallar med golvhöns uppmättes koncentrationer under 3 mg/m³ i de flesta fall men i tre stallar uppmättes koncentrationer upp till 5-6 mg/m³ och tänkbara orsaker ansågs vara ruggning och stor ströbäddsyta (von Wachenfelt *et al.*, 2002). I denna undersökningen uppmättes ännu mycket högre koncentrationer i systemet med golvhöns. Ströbädden där var tjock, torr och lucker. Många av de värphöns som vid mättillfället fanns i hönshuset värpte också i ströbädden och golväggsförekomsten var hög. Ströbädden och hönsens aktivitet var sannolikt starkt bidragande orsaker till den höga dammkoncentrationen i stallet. I våningssystemet och i systemet med inredda burar uppmättes dammkoncentrationer som var betydligt lägre. Den blötare ströbädden i våningssystemet begränsade med största sannolikhet dammhalten i detta system.

Damm i djurstallar innehåller en rad potentiellt farliga beståndsdelar såsom endotoxiner och bakterier. Gasformiga föroreningar binds också till damm. I analyser av damm från djurstallar har man funnit ganska höga halter av ammoniak (Takai *et al.*, 2002). De höga dammkoncentrationer som förekommer i fjäderfästallar kan orsaka besvär inte bara hos hönorna men också hos de som sköter djuren. I en svensk studie var ögonirritationer vanliga för de som arbetade med fjäderfän jämfört med dem som arbetade med andra djurslag och många som arbetade med fjäderfän var också bevärade av damm (Nimmermark, 2006). I en annan studie av bönders hälsobesvär fann man att irritationer i ögon och näsa var vanliga liksom hosta och att dessa symtom kunde associeras med exponering för svampsporer (Eduard *et al.*, 2001). Dammkoncentrationen i denna undersökning var av samma storleksordning (geometriskt medelvärde 2,8 mg/m³ med geometrisk standardavvikelse 2,6) som blev funnen vid skötsel av höns i en undersökning av norska bönder, geometriskt medelvärde 5 mg/m³ med en geometrisk standardavvikelse på 2,9 (Melbostad och Eduard, 2001). Normen för organiskt damm som Arbeidstilsynet har fastställt tar inte hänsyn till mikrobiella komponenter i dammet.

Bakterier

I de prov som analyserades med avseende på bakterier förekom bakteriehalter av storleksordningen 10⁷-10⁸ bakterier/m³. Störst halter uppmättes i systemet med golvhöns där också dammhalterna var högst. Ett samband mellan dammkoncentration och bakteriekoncentration kan tyckas vara naturligt med tanke på dammets ursprung. De uppmätta värdena i studien indikerar att ett sådant samband finns. Ett sådant samband mellan dammkoncentration och bakteriekoncentration fann man också i en annan norsk studie av bönder och luftföroreningar i böndernas miljö (Eduard *et al.*, 2001). Också bakteriekoncentrationen (geometrisk medelvärde 4,4·10⁷ bakterier/m³ med en geometrisk standardavvikelse på 1,9) var av samma storleksordning som blev funnen vid skötsel av höns i den norska undersökningen där 5,0·10⁷ bakterier/m³ med en geometrisk standardavvikelse på 8,6 uppmättes (Melbostad och Eduard, 2001). Det finns inga administrativa normer i Norge eller gränsvärden i andra länder som kan användas som jämförelseunderlag.

Konklusioner

Översiktligt kan följande kommentarer göras om de erhållna mätresultaten:

- Högst ammoniakhalter uppmättes i systemet med frigående golvhöns och gödselbinge. I detta system var ammoniakhalterna oacceptabelt höga. Samtliga uppmätta värden låg högt över gränsvärdet 25 ppm, som mest sex gånger högre. Dammhalterna var också höga.
- I systemet med flervåningssystem var ammoniakhalterna lägre än i systemet med golvhöns, men de flesta uppmätta värden låg väl över gränsvärdet 25 ppm och samtliga mätvärden låg över det

mål som anges i Handlingsplan for dyrevelferd (20 ppm). En reduktion av halterna vore därför önskvärt också i detta stall (denna stalltyp). Det undersökta stallet hade vid mättillfället problem med fuktig ströbädd.

- I systemet med inredda burar var ammoniakhalterna låga och inget problem. Av de tre stallarna (stalltyperna) där mätningar gjordes var klimatet klart bäst i detta stall (denna stalltyp)
- Inga exceptionellt höga koldioxidhalter uppmättes i något av systemen, men halter över 2500 ppm förekom. (Som exceptionellt höga räknas mätvärden över 5000 ppm.)
- Bakterieförekomsten var signifikant olika i de tre systemen, och studien indikerar att det finns ett samband mellan bakteriekoncentration och dammkoncentration.
- Tillskottsvärme i stallet under kalla perioder minskar ammoniakavgivningen och gör det möjligt att köra ventilationen så att god luftkvalitet uppnås också i golvsystem. Att detta inte brukas i större utsträckning är en kostnadsfråga.

Hönorna i golvsystemet utsattes alltså både för mycket höga ammoniakhalter, hög dammkoncentration och hög bakteriekoncentration i luften. Det finns lite forskning när det gäller eventuella kombinationseffekter av de olika luftföroreningarna, men det finns indikationer på att kombinationen ökar den totala negativa effekten på djurhälsan. Oavsett vilka kombinationseffekter som finns är den höga ammoniakkoncentrationen i sig ett skäl till att kräva att ett visst ventilationsflöde bibehålls också vid låga utetemperaturer. I många fall och speciellt vid de låga beläggningar som exempelvis förekommer i golvhönssystem krävs då tillskottsvärme för att temperaturen i hönshuset skall kunna hållas på lämplig nivå. I stallar med permanent gödsellagring skapar tillförsel av värme under kalla perioder förutsättningar för torrare gödsel och lägre avgivning av ammoniak. Behovet av tillsatsvärme minskar med isoleringsgraden och vid nybyggnation kan det därför finnas skäl att isolera byggnaderna väl. De i undersökningen studerade byggnaderna hade alla en relativt god isolering. Endast ett fåtal hade emellertid isolering i golvet. Då det gäller gödsellagring och ströbäddar på golv kan kalla golvytor (köldbryggor) leda till fuktigare ströbädd och högre ammoniakavgivning. Det finns därför goda skäl att också isolera golvet. I de besökta stallarna upplevde ägarna i något fall problem med ventilationen (se bilaga 1). Då det gäller ventilationssystemet är det viktigt med en jämn fördelning av tilluften i hela stallet. I system med uteluftsventiler i väggarna bibehålls en hög lufthastighet i donen och god inblandning av uteluften i rumsluften genom strypning av öppningarna när det är kallt ute. I system med låga hastigheter i donen vintertid, exempelvis tilluft genom en "strumpa", kan problem med luftfördelning och luftomblandning uppstå vid låga luftflöden.

Framtida forskningsbehov

System med frigående höns har fördelar ur djurvälståndssynpunkt då djuren har större rörelsefrihet än i bursystem, något som stärker benstomme och förbättrar konditionen hos hönorna. De har också möjlighet att utöva sina naturliga beteenden. Luftmiljön måste emellertid vara acceptabel för djur såväl som skötare i dessa såväl som i andra system för att systemen skall vara acceptabla i sin helhet. De höga koncentrationer av bl.a. ammoniak som mättes upp i system med frigående höns i den gjorda studien, understryker behovet av vidare forskning för att reducera luftföroreningar i sådana värphönsstallar. Uppmätta värden i våningssystemet och särskilt i systemet för golvhöns är oacceptabla från djurskyddssynpunkt, trots att dessa ur andra djurskyddsaspekter är att föredra. I "Handlingsplan for dyrevelferd for norsk fjørfenæring" (Anon. 2001) har inomhusklimatet utpekats som viktigt och delmål har angetts för koldioxid, ammoniak, ventilation och damm. Genom åtgärder såsom isolering och värmertilförsel kan tillräcklig ventilationskapacitet erhållas och koldioxidkoncentrationerna kan begränsas. Alternativa värmekällor för uppvärmning kan vara intressanta att studera, t.ex. sol- eller jordvärme. I handlingsplanen anges också delmål för ammoniak (<20 ppm) och damm ("så låg dammkoncentration som möjligt"). Det är mycket långt kvar till Handlingsplanens mål när det gäller stallluftens innehåll av särskilt ammoniak men också av damm (och bakterier) i dessa system. Det finns därför ett stort behov av att reducera halterna av dessa luftföroreningar. Det är i sammanhanget intressant att studera tekniska såväl som systemmässiga aspekter, och att testa ut dessa i praktiken. En del forskning har skett inom området bl.a. i Sverige, men fortfarande är problemen inte lösta. Ströbädden anses ha stor betydelse och studier av denna är därför intressanta. Tekniska lösningar som möjliggör daglig utgödsling också i golvsystem, t.ex. gödselmattor i gödselbingen, kan i viss mån förbättra luftkvaliteten. Det är också tänkbart att helt nya systemkoncept krävs för att komma tillrätta med problemen och forskning avseende sådana nya koncept kan vara en väg att förbättra förhållandena. Det gäller att finna lösningar där god djurvälstånd sätts i centrum så att djuren både kan ha stor rörelsefrihet och god luftkvalitet.

Det har gjorts få epidemiologiska undersökningar av fjäderfäböndernas hälsa. I en större undersökning av norska lantbrukare som utförts av STAMI, fann man att fjäderfäbönder hade klart högst exponering för bakterier och flest fall av kronisk bronkit, medan förekomsten av kronisk obstruktiv lungsjukdom och astma var lägst. Det är därför intressant att med objektiva metoder undersöka vad som karaktäriserar responsen i luftvägarna hos fjäderfäskötare, och jämföra detta med exponeringen för olika biologiska agens. Det är rimligt att anta att exponering som är hälsofarlig för människor också kan skada djuren, speciellt med tanke på att dessa blir exponerade dygnet runt. Exponeringsmätningar som utförs på skötaren är också relevanta för hönor, även om utvidgade exponeringsmätningar måste bedömas i relation till hönsens anatomi och möjliga djurhälsoproblem.

Standardiserad mätprocedur för provtagningar av luftkvalitet

I handlingsplanen för djurvälstånd anges att näringens konsulenter ska följa upp luftkvaliteten vid besättningsbesök genom kontroller och registreringar av gaskoncentrationer och uppskattning av damnmängd och ventilationskapacitet. Det är då viktigt att dessa registreringar görs på ett representativt sätt för den aktuella byggnaden, och på ett sådant sätt att mätresultat från olika byggnader blir jämförbara. Nedan diskuteras olika mätparametrar samt lämplig utrustning och mätmetodik vid denna typ av registreringar. Per idag finns ingen standardiserad mätprocedur för provtagning av luftkvalitet, men avsikten är att rekommendationerna nedan kan läggas till grund för utveckling av ett standardiserat mätprotokoll.

I ett djurstall varierar halten av luftföroreningar säsongvis men också under ett dygn förekommer variationer. Dessutom varierar halten av föroreningar med platsen i stallet. Tilluftsdonens placering, yttemperaturer på väggar, djurens värmeavgivning och aktivitet är exempel på faktorer som påverkar det lokala klimatet i stallet. Förutom systemskillnader förekommer också skillnader till följd av olika skötselrutiner. Säsongsvariationerna orsakas främst av yttre klimatförändringar.

Klimatparametrar

Temperatur, luftfuktighet, koldioxidkoncentration, ammoniakkoncentration och dammkoncentration är faktorer som bör mätas vid en jämförelse mellan olika system och olika stallar. Temperatur och luftfuktighet utomhus bör också mätas liksom lufthastigheter i djurens vistelsezon.

Mätutrustning

Likartad mätutrustning bör användas i de stallar där mätningar görs. Instrument med kontinuerlig registrering av olika klimatparametrar och loggning av data kan naturligtvis användas, men detta kräver att tid läggs ner på kalibreringar och på utvärdering. Kostnaden för sådana instrument kan också vara avsevärd. Om ambitionen är att erhålla en så kostnadseffektiv kontroll som möjligt bör den mätutrustning och den metodik som används vara så enkel som möjligt. Följande kan då användas:

- *Temperatur och relativ luftfuktighet:* Momentanvärden mäts förslagsvis med Assmanpsykrometer. Instrumentet ger ett momentanvärde som har god noggrannhet. Ingen kalibrering krävs. Alternativt kan ett elektroniskt instrument användas, men i så fall måste instrumentet kalibreras regelbundet. Dygnsregistrering (dygnsmedelvärden) kan mätas med små loggrar, exempelvis av den typ som användes i projektet (Tiny Tags). Handhavandet av dessa är relativt enkel och noggrannheten är relativt god.
- *Koldioxidkoncentration:* Momentanvärden mäts med reagensrör och Dräger-, Kitagawa- eller Gastecpump. Metoden är enkel och ger momentanvärden med relativt god noggrannhet. Alternativt kan ett elektroniskt instrument användas. Dygnsregistrering (dygnsmedelvärden) kan mätas med diffusionsrör (långtidsrör) som exponeras i stallet under ett dygn. Vid behov används flera rör under ett dygn. De diffusionsrör (långtidsrör) som användes i projektet för registrering av koldioxid hade nackdelen att de var relativt svåra att avläsa.
- *Ammoniakkoncentration:* Momentanvärden mäts med reagensrör och Dräger-, Kitagawa- eller Gastecpump. Dygnsregistrering (dygnsmedelvärden) kan mätas med diffusionsrör (långtidsrör) som exponeras i stallet under ett dygn eller kortare tid om koncentrationerna i stallet är höga. Vid behov används flera rör under ett dygn.
- *Dammkoncentration:* Dygnsmedelvärden mäts med hjälp av dammfilter som är anslutna till en damppump. Användning av nätansluten pump kan vara att föredra eftersom man då inte är

beroende av batteriladdning. Eventuellt kan kortare mätperioder användas, men i så fall kan djurens aktivitet och andra dygnsvariationer påverka resultatet. Dammfiltren sänds till laboratorium för analys (vägning). Användning av filter där mängden totaldamm och mängden respirabelt damm separeras och mäts var för sig är en fördel. En ytterligare uppdelning i fler fraktioner kan också vara intressant.

- *Lufthastigheter i djurens vistelsezon:* Lufthastigheter på olika platser där djuren vistas kontrolleras förslagsvis med en varmtrådsanemometer vilken också i regel kan användas för att kontrollera temperaturskillnader mellan olika platser i stallet. Rökampuller kan också med fördel användas för att studera luftrörelser och drag.

Mätpunkter

Förslagsvis mäts föroreningar på en representativ plats centralt i stallet, där inverkan av kalla väggar och luftrörelser från exempelvis tilluftsdon är begränsad. En lämplig plats väljs vid besök i stallet. Om byggnadens längd och bredd delas i tre delar kan en lämplig punkt finnas i närheten av de platser där dessa linjer korsar varandra eller på någon annan centralt belägen plats. En mätpunkt belägen 1,6-1,8 m över golv kan vara lämplig. Mätningar av föroreningar i frånluften kan också vara ett bra alternativ.

Antalet mätningar

De faktorer som styr avgivningen av ammoniak är inte helt kända. Ibland kan det hända att koncentrationerna en viss dag ökar betydligt jämfört med en tidigare dag. Koncentrationerna kan också vara starkt beroende av skötseln. Också koncentrationen av damm kan variera mellan olika dygn. För att på något sätt kunna kompensera för dessa variationer krävs att mätningar görs vid mer än ett tillfälle. Mätningar utförda vid 3-5 olika tillfällen under vinterhalvåret torde ge ett relativt representativt resultat. Förslagsvis görs stickprovsmätningar och ett dygns registreringar vid varje sådant måttillfälle.

Värden för jämförelse mellan olika stallar och olika system

I rapporten har tidtagare påpekats att koncentrationen av en viss förorening i stallmiljön är beroende av ventilationsflödena. Beräkning av CR och TR värden av föroreningarna ger värden som är mindre flödesberoende och sådana värden bör användas vid en jämförelse mellan olika stallar och olika system.

Skötarens exponering mäts med personburen utrustning såsom det beskrivs i AT 2002 där också rekommendationer för provtagningsstrategi och värdering av resultaten ges.

TACK

Ett särskilt tack riktas till Willy Jeksrud, tidigare vid Institutt for matematiske realfag og teknologi, Universitetet for miljø og biovitenskap. I arbetet med att utveckla detta projekt var han en pådrivande kraft och kreativ samarbetspartner med stor kunskap och bredd. Tyvärr insjuknade han under hösten 2005, och han avled under våren 2006. Det var med stor sorg och saknad som vi blev tvungna att genomföra projektet utan honom. Ett stort erkännande och varmt tack riktas till Willy för det stora bidrag som han gav till utformningen av projektet.

Tack också till Fagsenteret for fjørfe som genom både finansiering och stor arbetsinsats under fältstudiens första del (de nio gårdsbesöken) gjorde denna studie möjlig.

Sist, men inte minst, ett stort tack till de lantbrukare och anställda som har ställt tid och byggnader till förfogande.

REFERENSER

- AHAW. 2005. Welfare aspects of various systems for keeping laying hens. Scientific report. EFSA-Q-2003-92. *Annex to the EFSA Journal* 197, 1-23.
- Anon. 2001. Handlingsplan for dyrevelferd i norsk fjørfe. <http://www.fjorfe.org/>
- Arbetskyddsstyrelsen. 2000. *Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar. AFS 2000:3. Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna.* Arbetskyddsstyrelsen. Solna, Sweden. 115 pp.
- AT. 2002. Bestillingsnummer 450: Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske stoffer og biologiske forurensninger i arbeidsatmosfære. <http://www.arbeidstilsynet.no/binfil/download.php?tid=27741>
- AT. 2003. Bestillingsnummer 361: Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære 2003. <http://www.arbeidstilsynet.no/binfil/download.php?tid=27907>
- CIGR. 1984. *Report of Working Group on Climatization of Animal Houses.* International Commission of Agricultural Engineering, Scottaspress Publishers Limited. Aberdeen, Scotland. 72 pp.
- CIGR. 1994. Aerial environment in animal housing. Concentrations in and Emissions from Farm Buildings. Working Group Report Series 94.1.
- Eduard, W. 1996. Measurement methods and strategies for non-infectious microbial components in bioaerosols at the workplace. *Analyst* 121, 1197-1201.
- Eduard, W. 1997. Exposure to non-infectious microorganisms and endotoxins in agriculture. *Ann. Agric. Environ. Med.* 4, 179-186.
- Eduard, W., Sandven, P., Johansen, B.V. & Bruun R. 1988. Identification and quantification of mould spores by scanning electron microscopy (SEM): Analysis of filter samples in Norwegian saw mills. *Ann Occup Hyg* 32 (Suppl 1), 447-455.
- Eduard, W. & Heederik, D. 1998. Methods for quantitative assessment of airborne levels of non-infectious microorganisms in highly contaminated work environments. *Am Ind Hyg Assoc J* 59, 113-127.
- Eduard, W., Douwes, J., Mehl, R., Heederik, D. & Melbostad, E. 2001. Short term exposure to airborne microbial agents during farm work: exposure-response relations with eye and respiratory symptoms. *Occupational and Environmental Medicine* 58, 113-118.
- Eduard W, Douwes J., Omenaas E. & Heederik D. 2004. Do farming exposures cause or prevent asthma? Results from a study of adult Norwegian farmers. *Thorax* 59, 381-386.
- Ellen, H.H., Bottcher, R.W., von Wachenfelt, E. & Takai, H. 2000. Dust levels and control methods in poultry houses. *J. Agr. Safety and Health* 6, 275-282.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Keen, A., van Niekerk, T.G.C.M. & Smit, S. 1995. The effect of manure and litter handling and indoor climatic conditions on ammonia emissions from a battery cage and an aviary housing system for laying hens. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43, 351-373.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Speelman, L. & Metz, J.H.M. 1999. Litter composition and ammonia emission in aviary houses for laying hens: Part II, modelling the evaporation of water. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73, 353-362.
- Gustafsson, G. & von Wachenfelt, E. 2004. Begränsning av luftföroreningar vid inhysning av golvhöns (Limitation of air pollutants in housing of laying hens in floor systems). *Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Agricultural Biosystems and Technology, Report 129*, 58 pp. (In Swedish)
- Heldal, K., Skogstad, A. & Eduard, W. 1996. Improvements of the quantification of airborne microorganisms in the farm environment by epifluorescence microscopy. *Ann Occup Hyg* 40, 437-447.
- Holmerud, J.O. & Jeksrud, W.K. 1990. Klimatiske forhold i moderne husdyrhold. *Statens fagsenter for landbruket*, Rapport 23.
- Jordbruksverket. 2003. SJVFS 2003:6. Statens jordbruksverks föreskrifter om djurhållning inom lantbruket m.m. *Statens jordbruksverk, Statens jordbruksverks författningssamling*, Jönköping, Sweden.
- Kristensen, H.H & Wathes, C.M. 2000. Ammonia and poultry welfare: a review. *World's Poultr. Sci. J.* 56, 235-245.
- Lyngtveit, T. 1992. Støvmålinger og arbeidsstudier i hønehus med kompaktbur og aviarier. ITF Rapport 29, NLH, Ås.
- Lyngtveit, T. & Eduard, W. 1992. Støv i hus for verpehøner: betydningen av bygninger, innredninger og produksjonsfaktorer. ITF Rapport 34, NLH, Ås.

- Lyngtveit, T. & Eduard, W. 1997. Reduction of dust exposure by negative air ionization. *Ann. Agric. Environ. Med.* 4, 229-232.
- Melbostad, E., Eduard, W. 1997. Chronic bronchitis in farmers. *Scand J Work Environ Health* 23, 271-280.
- Melbostad, E., Eduard, W. & Magnus, P. 1998. Determinants of asthma in a farming population. *Scand J Work Environ Health* 24:262-269.
- Melbostad, E. & Eduard, W. 2001. Organic dust-related respiratory and eye irritation in Norwegian farmers. *Am J Ind Med* 39, 209-217.
- Mårtensson, L. 1995. Concentration of dust, endotoxin and organic acids in confined animal buildings. *Dissertation. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst. för jordbrukets biosystem och teknologi. Rapport 103. Alnarp.* Doctoral thesis. Rapport 103. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. 118 pp.
- Nilsson, C. 1982. Dammundersökningar i slaktsvinsstallar. SLU. Inst. för lantbrukets byggnadsteknik. Spec.medd. 62. Lund, Sverige.
- Nimmermark, S. 1984. Fukt och värmeproblem i värphöns- och slaktkycklingstallar (Heat and moisture problems in poultry houses). *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Intern stencil, 9*, Lund. 76 pp.
- Nimmermark, S. 2006. Air Quality in Livestock and Poultry Operations and Symptoms in Persons Working with the Animals. In *XVIth CIGR World Congress. Agricultural Engineering for a Better World, 3-7 September, 2006*, Bonn, Germany, 1-6. VDI-/Max-Eyth-Gesellschaft.
- Nimmermark, S. & Gustafsson, G. 2005. Influence of Temperature, Humidity and Ventilation Rate on the Release of Odour and Ammonia in a Floor Housing System for Laying Hens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development VII*, Manuscript BC 04 008.
- Oyetunde, O.O., Thomson, R.G. & Carlson, H.C. 1978. Aerosol exposure of ammonia, dust and Escherichia coli in broiler chickens. *Can Vet J* 19, 187-93.
- Pedersen, S. 1993. Time-based variation in airborne dust in respect to animal activity. Proceedings: Livestock Environment IV. Am. Soc. Agr. Eng. St. Joseph, Michigan, USA, 718-726.
- Soon, W., Baliunas, S.L., Robinson, A.B. & Robinson, Z.W. 1999. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. *Climate Research* 13, 149-164.
- Takai, H., Nekomoto, K., Dahl, P.J., Okamoto, E., Morita, S. & Hoshiba, S. 2002. Ammonia Contents and Desorption from Dusts Collected in Livestock Buildings. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. IV*, Manuscript BC 01 005.
- Tjernshaugen, O. 1975. Gasskonsentrasjoner i husdyrrom. Del III Hus for verpehøner. NLH, Institutt for bygningsteknikk. Melding nr. 84.
- von Wachenfelt, H., Odén, K. & Gunnarsson, S. 2002. Värphöns i lågbeläggningssystem (Laying hens in low density floor systems). *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Biosystems and Technology, Specialmeddelande, 237*, Alnarp, Sweden. 78 pp. (In Swedish)
- Weaver, W.D. & Meijerhof, R. 1991. The Effect of Different Levels of Relative-Humidity and Air Movement on Litter Conditions, Ammonia Levels, Growth, and Carcass Quality for Broiler-Chickens. *Poultry Science* 70, 746-755.