

---

**SLUTRAPPORT**  
**GUDP-projekt [2017-2021]**

# **GreenLiv**

**Green precision ventilation for future  
livestock housing**

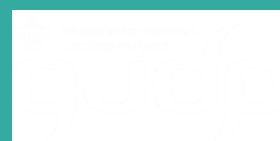
---



**7. FEBRUAR 2020**

---

**Af [Guoqiang Zhang]**  
**[Aarhus University]**



---

# Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram, GUDP, som er en erhvervsstøtteordning under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

GUDP giver tilskud til projekter, der understøtter grøn og bæredygtig omstilling af fødevarerhvervet, og programmet dækker hele værdikæden fra primærproduktion til forarbejdningsindustri og afsætningsled.

Det er GUDP's ministerudpegede bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af GUDP-sekretariatet i Landbrugsstyrelsen.

## **GUDP-sekretariatet i Landbrugsstyrelsen**

Nyrupsgade 30, 1780 København V

Augustenborg Slot 3, 6440 Augustenborg | Tlf.+45 33 95 80 00

**Mail:** [gudp@lbst.dk](mailto:gudp@lbst.dk)

**Web:** [www.gudp.dk](http://www.gudp.dk)

*Denne slutrapport er godkendt af GUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.*

---

## SLUTRAPPORT

### GreenLiv

#### Green precision ventilation for future livestock housing

##### FAKTA OM PROJEKTET

---

- Projektperiode: 2017.01 – 2021.09.
- Projektdeltagere: Aarhus Universitet; AgriFarm A/S; København Universitet; DXT A/S
- Bevilling fra GUDP: 9,74 mio. kr.
- Projektleder: Guoqiang Zhang, Aarhus Universitet

##### FORMÅL

---

Formålet med projektet er at udvikle et innovativt præcisionsventilationssystem til fremtidens husdyrproduktion (GreenLiv), herunder forene energibesparelsen ved naturlig ventilation med potentielle fordele, der kan opnås ved partiel mekanisk punktudsugning under staldenes spalte-gulve samt med præcisionslufttildeling i dyrenes opholdezone for derved at skabe et optimalt klima i stalden uanset årstiden og vejrforholdene.

##### PROJEKTETS RELEVANS

---

Effekten er forbedret luftkvalitet og temperaturfordeling i staldene samt mulighed for at opnå en omkostningseffektiv reduktion af miljøbelastningen forudsat, at den begrænsede mængde, men mest forurenede luft, der suges ud under spaltegulvet efterfølgende ledes gennem et luftrensingsanlæg. Foreløbige erfaringerne med ideen er gode, men der er fortsat udfordringer vedrørende hvordan man, under alle vejrforhold, kan opnå den ønskede luftfordeling i stalden og i dyrenes opholdezone, hvordan systemet kan tilpasses til brug i lande med varmere klima end det danske, hvordan systemet kan designes og kontrolleres således at det i videst muligt omfang bidrager til at reducere udledningen af uønskede gasser, støv og lugt, og hvordan jord-luft varmeveksling i kanaler under eller ved stalden bedst kan udnyttes til præcisionslufttildeling i dyrenes opholdezone for derved at køle dyrene i varme perioder og bidrage til opvarmning og forbedret luftkvalitet i kolde perioder. Derfor det er nødvendig at udvikle viden om optimal bygningsudformning, design af systemet og smart styring af både naturlig og mekanisk ventilation. I dette projekt vil denne viden blive søgt frembragt via en systematisk udforskning og udvikling af de grundlæggende elementer i GreenLiv ventilation.

---

## HOVEDRESULTATER

---

I dette projekt er der udviklet nye metoder til design af GreenLiv systemet. Der er gennemført omfattende simuleringer af systemet og en ny intelligent styringsmetode er udviklet og analyseret med henblik på anvendelse i fremtidens hybrid ventilerede stalde. Der er skabt ny viden om styring af luftindtag som kan udnyttes til at optimere GreenLiv systemet og det er dokumenteret at gulvkøling kan være en praktisk anvendelig og effektiv metode til at mindske varmestress hos grise i varme perioder.

## KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

---

Projektet har fokuseret på optimering og videreudvikling af et eksisterende hybrid ventileret staldsystem og har frembragt viden og nye metoder til at designe og styrede termiske forhold i dyrenes opholdszone. Dette omfatter forbedret design og kontrol af luftindtag med henblik på at opnå bedre termiske forhold i dyres opholdszone og anvendelse gulvkøling med henblik på at mindske risikoen for at dyrene i varmeperioder udsættes for varmestress.

For at undgå varmestress i perioder med høje udendørstemperaturer er det vist at systemet kan forbedres med ny udformning og styring af luftindtag for at frembringe højere lufthastighed i dyrenes opholdszone.

Projektet har påvist at ventilationen i kolde perioder kan forbedres med en avanceret momentumstyring af luftindtag ved at inddrage udeluftens temperatur, vindretning og vindhastighed ved individuelstyringen af staldens forskellige ventilationsåbninger og derved opnå mere ensartede termiske forhold i dyrenes opholdszone. Men dette vil dog samtidigt øge ventilationssystemets kompleksitet og øge kravet til sensorer for monitere momentum i den indkomne luft og til aktuatorer til regulering af luftindtagene.

Projektet har ligeledes påvist af gulvkøling er en metode, der har et stort potentiale med henblik på at mindske slagtesvin varmestress i varme perioder. Analyser af målt energiforbrug til gulvkøling sammenholdt med data for hyppigheden af høje udendørstemperaturer indikerer, at gulvkøling i Danmark sandsynligvis vil kunne praktiseres med et moderat energiforbrug. For at undgå at de mindste grise fryser i kolde perioder, er det hybrid ventilerede staldsystem, som har været udgangspunktet for projektet, forsynet med et rørsystem til opvarmning af det faste gulv i dyrenes lejeareal. Det er i projektet påvist at det samme rørsystem, med god effekt, kan anvendes til at køle grisene i varme perioder. I et videre perspektiv er der realistisk at opnå en synergi mellem gulvkøling og gyllekøling ved at den samme kølepumpe anvendes til begge formål. Gyllekøling etableres med henblik på at reducere udledning af ammoniak og for - på en omkostningseffektiv måde - at producere varmt vand til opvarmning af stalde og andre driftsbygninger eller boliger. Da behovet for gulvkøling er relativt kortvarigt vil det kun have en meget begrænset effekt på ammoniak udledningen at kølepumpen i disse perioder køler gulvet i stedet gyllen. Der er dog fortsat et stort behov for at undersøge hvordan man opnår optimal

---

udnyttelse af gulvkøling og hvordan det kan sikres at gulvkølingen kommer til at gavne alle dyrene i stalden.

## FORMIDLING

---

1. Brand P; Grønvig M; Rong L; Zhang G; Gautam KR; Kristensen JK; Bjerg B (2022). The effect of floor cooling on respiration rate and distribution of pigs in the pen. *Livestock Sciences* 257(2022): 104832 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104832>
2. Gautam K; Zhang G; Landwehr N; Adolphs J (2021) Machine learning for improvement of thermal conditions inside a hybrid ventilated animal building. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187 (2021) 106259 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106259>
3. Sørensen K (2021). User manual for hybrid ventilation module in StaldVent. Report of development of StaldVent program.
4. Huang T; Rong L; Zhang G (2021). Towards fast and accurately model the performance of the precision ventilation strategy for sectioned sow houses: Response Surface Methodology versus Neural Network. Research Report, Aarhus University.
5. Gautam K; Rong L; Iqbal A; Zhang G (2021) Full-Scale CFD Simulation of Commercial Pig Building and Comparison With Porous Media Approximation of Animal Occupied Zone. *Biosystems Engineering* 186(2021): 106206 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106206>
6. Iqbal A; Gautam KR; Zhang G; Rong L (2021). Modelling of occupied zones in ventilated spaces. *Biosystems Engineering*. 204 (2021): 181-197 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.01.022>
7. Iqbal A 2020. Pressure sensor installation at inlet window – lab experiments. Personal communication.
8. Guatam KR; Rong L; Zhang G; Bjerg B (2020). Temperature distribution in a finisher pig building with hybrid ventilation. *Biosystems Engineering*. 200 (2020): 123-137 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.09.006>
9. Yi Q, Zhang G, Li H, Wang X, Janke D, Amone B, Hempel S, Amon T (2020). Estimation of opening discharge coefficient of naturally ventilated dairy buildings by response surface methodology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169 (2020): 105224 (Article No.) <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105224>
10. Yi Q; Li H; Wang X; Zong C; Zhang G (2019). Numerical investigation on the effects of building configuration on discharge coefficient for a cross-ventilated dairy building model. *Biosystems Engineering*, 182 (2019): 107-122 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.003>
11. G Zhang G (2019). Smart Ventilation and Environmental Control in Livestock Buildings. Keynote Speech/paper, Presented and written for 2019 International Conference of Intelligent Agricultural, Beijing, China, October 18-21, 2019
12. Kai P & Zhang G (2019). Best Available Techniques (BAT) for Emission Reduction of Livestock Farming Industry in Denmark Keynote Speech/Paper, Presented and written for 2019

---

International Symposium of Animal Environment and Welfare, Chongqing, China, October 21-24, 2019. (in the proceedings, page 197-206).

13. Rong L & Zhang G (2019). Effect of the installation location of weather station sampled wind speed. Research paper, Presented and written for 2019 International Symposium of Animal Environment and Welfare, Chongqing, China, October 21-24, 2019. (in the proceedings, Page 92-99)
14. Li H; Rong L; Zhang G (2019) CFD prediction of convective heat transfer and pressure drop of pigs in group using virtual wind tunnels: Influence of grid resolution and turbulence modelling. *Biosystems Engineering*, 184(2019): 69-80 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.06.002>
15. Bjerg B. Kai P. (2019). CFD prediction of heat transfer in heated or cooled concrete floors in lying areas for pig. Paper written for presentation at the 2019 ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Boston, Massachusetts July 7–10, 2019.
16. Guatam KR; Rong L; Zhang G; Abkar, M (2019). Comparison of analysis methods for wind-driven cross ventilation through large openings. *Building and Environment*, 154 (2019): 375-388 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.009>
17. Yi Q; Wang X; Zhang G; Li H; Janke D; Amon T (2019) Assessing Effects of Wind Speed and Wind Direction on Discharge Coefficient of Sidewall Opening in a Dairy Building Model – A Numerical Study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162 (2019): 235-245 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.016>
18. Guatam KR; Rong L; Zhang G (2019). Indoor air quality and thermal performance of a finisher pig building with automatically controlled hybrid ventilation. Research report of a whole year measurement data. Aarhus University
19. Yi Q; Li H; Wang X; Zong C; Zhang G (2019). Numerical investigation on the effects of building configuration on discharge coefficient for a cross-ventilated dairy building model. *Biosystems Engineering*, 182 (2019): 107-122 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.003>
20. Zhang G; Choi CY; Batzanas T; Lee IB; Kacira M (2018) Computational Fluid Dynamics (CFD) research and application in Agricultural and Biological Engineering. *Computers and Electronics in Agriculture*, 149: 1-2 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.007>
21. Bjerg B; Rong L; Zhang G (2018). CFD prediction of the effective temperature in the laying area of pig pens. *Computers and Electronics in Agriculture*, 149:71-79 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916311152>
22. Hansen, R. K., Bjerg, B. (2018a). Natural ventilation's ability to prevent high indoor temperatures. Abstract and paper prepared for XIX. World Congress of the International Commission of Agriculture and Biosystems Engineering (CIGR) Antalya, Turkey, April 22-25, 2018. <https://www.researchgate.net/publication/325545604> Natural ventilation's ability to prevent high indoor temperatures Assessed June 4th 2018.
23. Hansen, R. K., Bjerg, B. (2018b). Optimal Ambient Temperature with Regard to Feed Efficiency and Daily Gain of Finisher pigs. Manuscript prepared for EurAgEng 2018 conference from 8 – 12 July 2018, Wageningen, the Netherlands.

- 
24. Hansen, R. K., Bjerg, B. (2018c). Previous experiences with floor cooling – review. Internal report in GreenLiv project. University of Copenhagen. Department of Veterinary and Animal Sciences. <https://www.researchgate.net/publication/325546516> Previous experiences with floor cooling - review Assessed June 4th 2018.
  25. Hansen, R. K., Bjerg, B. 2018d. Cooling of recirculated water for floor cooling. Internal report in GreenLiv project. University of Copenhagen. Department of Veterinary and Animal Sciences. <https://www.researchgate.net/publication/325546520> Cooling of recirculated water for floor cooling Assessed June 4th 2018.
  26. Zhang G; Gautam KJ; Rong L; Kristensen JK; Bjerg B (2017). Field Measurement strategy in a hybrid ventilated swine building. Research Notes, Aarhus University, Denmark.
  27. Rong L; Pedersen EF; Zhang G (2017). Numerical Simulations on a Hybrid Ventilation System at a Confined Pig Building in Denmark – Summer Case Studies. Paper written for / presented in IRCAEW2017, Chongqing, China, OCT 23-26, 2017, in “Animal Environment and Welfare – Proceedings of International Symposium”, Edited by Ni et al., p167-174
  28. Zhang G; Bjerg B (2017) Developments of the Methods and Technology for hot climate ventilation design and control. Paper written for / presented in IRCAEW2017, Chongqing, China, OCT 23-26, 2017, in “Animal Environment and Welfare – Proceedings of International Symposium”, Edited by Ni et al., p375-384
  29. Bjerg B; Pedersen P; Morsing S; Zhang G (2017). Modeling skin temperature to assess the effect of air velocity to mitigate heat stress among growing pigs. Paper written for / presented in 2017 ASABE International Annual Meeting, Jul 16-19, 2017, Spokane, Washington, USA; Paper number: 1700631. <https://elibrary.asabe.org/azdez.asp?search=1&JID=5&AID=47985&CID=spo2017&v=&i=&T=1&urlRedirect=>
  30. Zhang G; Bjerg B & Zong C (2017). Partly pit exhaust improves indoor air quality and effectiveness of air cleaning in livestock housing – a review. *Applied Engineering in Agriculture*, 33(2): 243-256. <https://dx.doi.org/10.13031/aea.11751>
  31. Bjerg B; Rong L; Zhang G (2017). CFD prediction of the effective temperature in the laying area of pig pens. *Computers and Electronics in Agriculture*, 149:71-79 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916311152>
  32. Hansen, R. K., Bjerg. 2017. Internal report on earth-air heat exchange system. GreenLiv project. University of Copenhagen. Department of Veterinary and Animal Sciences. <https://www.researchgate.net/publication/325545877> Internal report on earth-air heat exchange system GreenLiv report Assessed June 4th 2018.

Læs mere om GUDP's projekter på [www.gudp.dk](http://www.gudp.dk)

