

Produktivitetsdata som overvågning for PRRS

Mette Fertner, Jeanett Snitgaard Pelck og Søren Kjærgaard Boldsen

SEGES Innovation P/S

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Ændringer i et soholds produktivitetsdata kan anvendes som et supplement til overvågningen af nysmitte med PRRS. Denne indledende undersøgelse viser, at variationer i fem nøgleparametre – antallet af dødfødte, pattegrisedødelighed, drægtighedslængde, omløberprocent og andelen af førstelægssøer – kan indikere PRRS-smitte i over halvdelen af besætningerne på et tidligere tidspunkt end den nuværende overvågning. Modellen kan tilpasses, hvilket giver forskellig ydeevne afhængigt af formålet. Det bør undersøges, om alle fem parametre er nødvendige for at opnå optimal effekt, og modellen bør afprøves i praksis, før eventuel implementering.

Sammendrag

Undersøgelsen havde til formål at vurdere, om ændringer i produktivitetsdata kan indikere nysmitte med PRRS i danske sohold og dermed anvendes som et supplement til den nuværende overvågning, som omfatter sygdomstegn og årlig undersøgelse for antistoffer.

Resultaterne viste, at variationer i fem nøgleparametre – antallet af dødfødte, pattegrisedødelighed, drægtighedslængde, omløberprocent og andelen af førstelægssøer – kunne indikere PRRS-smitte i over halvdelen af besætningerne tidligere end den nuværende overvågning.

Den bedst performende model, som kombinerede tidlig påvisning med høj specificitet, opnåede følgende: Sensitivitet på 76,7% [66,1;84,8]_{CI95%}, specificitet på 98,9% [98,6; 99,1]_{CI95%}, positiv prædiktiv værdi på 92,3% og negativ prædiktiv værdi på 96,1%. Modellen identificerede 12 ud af 18 statusskift (accuracy: 67%) og fandt 10 af disse tidligere end den nuværende overvågning (early detection: 56%). Ændringerne i besætningernes nøgleparametrene blev typisk opdaget 9,5 uger (median) før statusskift.

Modelparametre kan justeres afhængigt af formålet – eksempelvis for at prioritere høj sensitivitet, specificitet eller tidlig påvisning. Den optimale model bør derfor vælges ud fra det konkrete anvendelsesområde. Resultaterne ovenfor repræsenterer kun én af de afprøvede modeller.

Undersøgelsen baserede sig på registerdata fra SEGES InSight (produktivitetsdata), SPF-registeret (PRRS-status) og laboratorieindsendelser. Det endelige datasæt omfattede 121 besætninger, heraf 104 PRRS-negative og 17 PRRS-nysmittede besætninger (med i alt 18 statusskift fra PRRS-negativ til PRRS-positiv).

På baggrund af de fem produktivetsparametre blev der udviklet ni modeller (multivariate Exponentially Weighted Moving Average modeller), hver testet med ni alarmgrænser. Performance for de 81 kombinationer blev evalueret med henblik på sensitivitet, specificitet, positiv og negativ prædiktiv værdi, accuracy, early detection og timeliness. De ovenfor nævnte resultater stammer fra modellen, som leverede tidligst påvisning af PRRS, samtidig med højst specificitet, men andre modeller kan være mere egnede til specifikke formål.

Resultaterne indikerer, at produktivetsdata kan anvendes i overvågningen af PRRS. Det bør dog undersøges, om alle fem parametre er nødvendige eller om modellen kan simplificeres.

Baggrund

Lanceringen af PRRS-reduktionsstrategien i maj 2022 [1] har øget bevågenheden for tidlig påvisning af PRRS ligesom der forventes at blive etableret PRRS-fri kommuner. I en PRRS-fri kommune er det centralt, at nysmitte påvises hurtigst muligt, da sygdommen ellers kan spredes hurtigt blandt modtagelige dyr og besætninger.

Såfremt PRRS forårsager kliniske symptomer, er det mest tydeligt i det akutte stadie i soholdet. Her kan der hos søer ses nedsat ædelyst, feber, sene aborter (omkring dag 110 i drægtigheden) samt mummificerede, svagtfødte og dødfødte pattegrise [2]. I vækstgrise kan PRRS yderligere give luftvejslidelser [2]. Erfaringer fra USA har vist, at der generelt går omkring tre måneder (116 dage) førend produktionen er tilbage til normal efter et PRRS-udbrud [3].

Udover at være en anmeldepligtig sygdom, hvor landmanden og dyrlægen er forpligtet til at reagere ved kliniske symptomer på PRRS, omfatter den nuværende overvågning for PRRS årlige blodprøver [4]. PRRS er kendt for at forårsage kliniske symptomer i nogle besætninger, mens andre besætninger forbliver upåvirkede. Det betyder, at en nysmittet besætning kan være smittet helt op imod et år førend der undersøges for PRRS i forbindelse med de årlige blodprøver. Så snart der er mistanke om en introduktion af PRRS i en besætning, enten på grund af klinisk mistanke eller brud på smittebeskyttelsen, indføres der en betinget status i besætningen indtil mistanke er blevet be- eller afkræftet. Det vil sige, at indførsel af den betingede status er den tidligst mulige alarm for, at besætningen kan være smittet med PRRS, i den nuværende overvågning.

Hyppigere overvågning ved traditionelle metoder, såsom blod-, spyt- eller testikelprøver, er omkostningstungt. Amerikanske undersøgelser i enkelte besætninger har indikeret, at udsving i produktivetsdata, såsom øget pattegrisedødelighed og øget antal aborter, er påvist i besætninger forud for diagnose med PRRS og dermed kan bruges i overvågningen [5]. I Danmark har akutte udbrud med PRRS yderligere været forbundet med markante påvirkninger af produktiviteten. Således bevirkede Horsens-udbruddet i 2019 et markant fald markant i produktiviteten. Der sås færre faringer/uge (0,1-10,8% færre faringer/uge), færre levendefødte (0,8-4,8 færre levendefødte/kuld) og flere dødfødte (0,6-2,6 flere dødfødte/kuld). I alt manglede 2,4-6,5 grise/kuld i 13 undersøgte besætninger [6]. PRRS forårsager de mest markante udsving i produktiviteten i det akutte stadie [7]. Efter smitte kan besætningen få PRRS-smitten under kontrol, men stadig forblive deklareret PRRS-positiv.

SEGES InSight er et system, hvor soholdere kan tilmelde sig, hvormed de indvilliger i at dele deres produktivetsdata med SEGES mod, at de får returneret oversigtsrapporter over deres data. Overvågningen af produktivetsdata er en billig overvågning og vil kunne omfatte samtlige sohold. Overvågningen forudsætter imidlertid, at besætningerne er omhyggelige med dataregistreringen og at data indsendes i real-tid, således at indsendte data er aktuelle.

Formålet var at undersøge, hvorvidt udsving i produktivetsparametre i SEGES InSight data kan bruges til at påvise PRRS-nysmitte på et tidligere stadie end den traditionelle overvågning.

Materialer og metoder

Data

Undersøgelsen anvendte data fra tre kilder: SEGES InSight (produktivetsdata), SPF-registeret (PRRS-status, dato for indførsel af betinget status og besætningstype) og laboratorieindsendelser (laboratorieindsendelser med negativt svar blev brugt til undersøgelsen). Produktivetsdata fra SEGES InSight for perioden 1. januar 2022 til 3. juni 2025 blev aggregeret på ugeniveau. PRRS-status og dato for negativt laboratorieresvar blev tilføjet datasættet. For besætninger med statusskift fra negativ til positiv blev datoen for indførsel af betinget status identificeret og indarbejdet i datasættet.

Definition af PRRS-negative og PRRS-nysmittede perioder

Fastlæggelsen af besætningens sande PRRS-status i en given periode er udfordret af den lave testhyppighed, da de fleste besætninger kun testes én gang årligt i det nuværende deklarationssystem. For at komme så tæt som muligt på den reelle status baseret på registerdata, blev positive og negative perioder defineret efter følgende kriterier:

- **PRRS-negative perioder:** Perioder afgrænset af to negative laboratorietests og en deklareret PRRS-negativ besætningsstatus.
- **PRRS-nysmittede perioder:** Perioden fra indførsel af betinget status og de efterfølgende 90 dage. Indførsel af betinget status er den tidligste indikation på mulig nysmitte. Ifølge litteraturen optræder de mest markante kliniske symptomer i de første 35-42 dage [7], mens produktivetsparametrene typisk stabiliseres efter ca. 116 dage (interval 0-203 dage) [3]. Derfor blev den PRRS-nysmittede periode afgrænset til 90 dage efter første indikation af smitte.

Produktionsparametre

Følgende variable blev udtrukket fra SEGES InSight for at vurdere deres potentiale til tidlig påvisning af PRRS:

- Dødfødte (%): Andelen af dødfødte pattegrise blandt det samlede antal fødte pattegrise.
- Pattegrisedødelighed (%): Registreret dødelighed blandt levendefødte pattegrise.
- Drægtighedslængde: Gennemsnitlig længde af drægtighedsperioden.
- Omløberprocent (%): Andelen af omløbninger blandt alle løbninger. En omløbning defineres som en løbning uden efterfølgende faring siden sidste løbning.
- Førstelægssøer (%): Andelen af søer i første læg i forhold til det samlede antal søer i besætningen.

Model MEWMA

Til overvågning af ændringer i produktivetsdata blev der anvendt en multivariat EWMA-model (Exponentially Weighted Moving Average). Modellen gør det muligt at opdage små og gradvise ændringer i flere produktionsparametre samtidigt, hvilket er særligt relevant for tidlig påvisning af sygdomsudbrud som PRRS.

MEWMA-modellen beregner et glidende gennemsnit, hvor de nyeste observationer vægtes højest, mens tidligere observationer indgår med aftagende vægt. Vægtningen styres af parameteren λ , som blev valgt ud fra en optimering af modelpræstationen og en afvejning af, hvor følsom, modellen skal være over for små ændringer i produktiviteten. På denne måde kan både pludselige og vedvarende ændringer i et eller flere parametre hurtigt identificeres, og der udløses en alarm, når niveauet overstiger en foruddefineret tærskel.

I analysen blev følgende variable inkluderet: dødfødte, pattegrisedødelighed, drægtighedslængde, omløberprocent og andelen af første lægs søer. For hver uge blev der beregnet et EWMA-signal for

hver variabel, som derefter indgår i en beregning af et samlet multivariat overvågningssignal. Der blev i alt afprøvet ni modeller ($\lambda = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$), og for hver model blev der testet ni alarmgrænser.

Modelevaluering

Performance for alle modeller blev vurderet både på uge- og udbrudsniveau. For hver uge blev besætningens sande status (PRRS-negativ eller PRRS-nysmittet) sammenlignet med, om modellen udløste en alarm. Alle uger, som hørte til enten en PRRS-negativ eller PRRS-nysmittet periode, blev klassificeret som:

- **Sand positiv (SP):** Alarm i en PRRS-nysmittet periode.
- **Falsk positiv (FP):** Alarm i en PRRS-negativ periode.
- **Sand negativ (SN):** Ingen alarm i en PRRS-negativ periode.
- **Falsk negativ (FN):** Ingen alarm i en PRRS-nysmittet periode.

Ud fra disse kategorier blev følgende beregnet for hver model:

- **Sensitivitet (Se):** Sandsynligheden for alarm i en PRRS-nysmittet uge.
- **Specifitet (Sp):** Sandsynligheden for ingen alarm i en PRRS-negativ uge.
- **Positiv prædiktiv værdi (PPV):** Sandsynligheden for, at en besætning med en alarm en given uge, faktisk er smittet med PRRS.
- **Negativ prædiktiv værdi (NPV):** Sandsynligheden for, at en besætning uden alarm en given uge, faktisk er fri for PRRS.

Traditionelt beregnes disse værdier ud fra en 2x2-tabel. Denne metode ignorerer imidlertid besætningseffekten og antager uafhængighed mellem observationer, hvilket ikke er korrekt, da observationer fra samme besætning er korrelerede. Derfor blev Se, Sp, PPV og NPV i stedet estimeret ved hjælp af en GLMM med tilfældig besætningseffekt og AR(1)-korrelation mellem uger inden for samme besætning med brug af funktionen *glmmPQL* [8].

Derudover blev performance vurderet på udbrudsniveau i henhold til anbefalingerne fra Faverjon et al. [9] og Mil-Homens [5], som:

- **Accuracy:** Antal udbrud, hvor modellen gav mindst én alarm i den nysmittede periode.
- **Early detection:** Antal udbrud opdaget før den nuværende overvågning.
- **Timeliness:** Antallet af uger, hvor alarmer blev udløst, før besætningen blev identificeret som PRRS-smittet af den nuværende overvågning – det vil sige før tildelingen af betinget status.

Datamanagement og statistiske analyser blev lavet i R version 4.5.1 [10], med brug af pakkerne MASS [8], dplyr [11] and tidyr [12].

Resultater og diskussion

SEGES InSight indeholdt produktivitetsdata fra 387 sohold. Forud for analysen blev følgende besætninger ekskluderet: Besætninger uden søer eller faringer med kendt drægtighedslængde (1), besætninger, der statusskifter for PRRS på grund af ikke relevante årsager¹ (2), besætninger med ukendt PRRS status (1), besætninger, der statusskifter for andre SPF-sygdomme end PRRS (17), røde SPF (eller under godkendelse til rød SPF) besætninger (62), besætninger, der ikke har mindst 20 ugers sammenhængende frihed for PRRS (76), besætninger, der ikke har PRRS-negativ status før de bliver positive (36), besætninger, hvor andelen af førsteparitetssøer er over 30% i mindst én af ugerne (40) samt besætninger, der mangler produktivitetsdata i en sammenhængende periode på mere end 21 dage (31). Det endelige datasæt indeholdt 121 besætninger, hvoraf 104 besætninger var PRRS-negative, mens 17 besætninger havde skiftet status fra PRRS-negativ til PRRS-positiv. En besætning havde to

¹ Kun betinget status med årsager, som omfatter enten kliniske, leverandør eller blodprøver medtages i analysen. Statusfald som følge af andre administrative bestemmelser, udelades af analysen.

PRRS-statusskift, således indeholdt datasættet i alt 18 PRRS-statusskift. Besætningerne havde i gennemsnit 160 uger (SD 53) med PRRS-negativ status, 46 uger (SD 28) med PRRS-positiv status og 25 uger (SD 8) under sanering. Datasættet havde altså en væsentlig større mængde data til at bestemme specificitet end sensitivitet.

Blandt de 18 statusskift skyldtes otte klinisk mistanke, mens ti blev opdaget via blodprøver.

Tabel 1. Besætningskarakteristika for besætninger med PRRS-nysmittede og PRRS-negative perioder for 121 besætninger, heraf 103 besætninger med vedvarende PRRS-negativ periode og 17 besætninger, der har skiftet status fra PRRS-negativ til PRRS-positiv. PRRS-negativ periode defineres som perioder omkranset af to negative laboratorietests samt en deklareret PRRS-negativ besætningsstatus. PRRS-nysmittet periode defineres som perioden fra betinget status og de efterfølgende 90 dage. Tabellen angiver antallet af besætninger, der har registreret den pågældende variabel, samt medianværdi med tilhørende kvartiler [Q1; Q3] for hver variabel.

Variabel	Antal besætninger med variabelen i PRRS-nysmittet periode	PRRS statusskiftede (nysmittet periode)	Antal besætninger med variabelen i PRRS-negativ periode ¹	PRRS statusskiftede (negativ periode)	PRRS-negative besætninger
Antal besætninger	17	17	121	17	104
Antal søer pr. uge	17	1.087 [795;1.354]	121	1.226 [808;1.395]	815 [629;1.114]
Antal faringer pr. uge	17	48 [36;58]	121	53 [34;60]	34 [27;47]
Faringsprocent (%)	17	87,3 [85,8;89,3]	121	88,0 [86,7;89,4]	89,0 [87,1;90,1]
Dødfødte (%)	17	10,1 [8,8;11,7]	121	9,3 [7,5;9,9]	8,7 [7,8;9,3]
Pattegrisedødelighed blandt levendefødte (%)	5	16,6 [14,3;19,7]	51	11,2 [7,8;13,3]	11,1 [7,3;13,4]
Drægtighedslængde	17	117,5 [117,1;118,0]	121	117,5 [116,9;117,9]	117,5 [117,2;117,9]
Omløberprocent (%)	17	81,5 [79,6;84,0]	121	81,6 [79,7;83,1]	80,5 [78,2;82,1]
Førstelægssøer (%)	17	18,1 [16,4;20,4]	121	17,4 [16,5;19,0]	17,6 [16,2;19,2]

¹ Omfatter både statusskiftede og vedvarende PRRS-negative besætninger.

De multivariate modeller medtog variation for følgende fem variable: dødfødte, pattegrisedødelighed, drægtighedslængde, omløberprocent og andel af førsteparitetssøer til at give alarm. Flere af parametrene er behæftet med nogen usikkerhed, da de også er væsentligt drevet af det daglige management. Pattegrisedødelighed blev kun registreret i fem besætninger med en PRRS-nysmittet periode, og betydningen af pattegrisedødelighed indgik således kun i modellen for de besætninger, der havde registreret denne parameter. Alternativt kunne pattegrisedødeligheden være blevet estimeret ud fra differencen mellem fravænnede og levendefødte, hvilket formentlig ville øge antallet af besætninger med den pågældende parameter. Det var desværre ikke muligt at undersøge i dette projekt. Yderligere kan det ikke udelukkes, at modellen kunne simplificeres og medtage færre parametre.

I alt blev 81 modelkombinationer testet (ni modeller med hver ni alarmgrænser). Performance varierede betydeligt for Se, Sp, PPV, NPV, accuracy, early detection og timeliness. Sensitiviteten lå mellem 6,1-80,1%, specificiteten mellem 90,7-100%, PPV mellem 53,3-100% og NPV mellem 85,9-96,7%. Antallet af besætninger med mindst én alarm i den nysmittede periode varierede fra 8 til 13, mens medianen for tidlig alarm lå mellem 1 og 13 uger før statusskift. Datasættet indeholder markant flere negative end positive perioder, hvilket påvirker estimerne.

Modellen, som var i stand til at finde flest besætninger før deres faktiske statusskift og derefter havde den højeste specificitet, var efter vores overbevisning den bedst performende model. Denne model havde en lambda på 0,2, en sensitivitet på 76,7% [66,1;84,8]_{CI95%}, specificitet på 98,9% [98,6; 99,1]_{CI95%}, PPV på 92,3% og NPV på 96,1%. Modellen identificerede 12 af 18 statusskift (accuracy: 67 %) og fandt 10 af disse tidligere end den nuværende overvågning (early detection: 56 %). Besætningerne blev typisk opdaget 9,5 uger (median) før statusskift, hvor modellen gav vedvarende alarm i alle uger forud for indførsel af betinget status. Den bedste model afhænger dog af formålet – andre modeller kan være mere egnede til specifikke behov.

Sygdomsovervågning baseret på produktivetsdata prioriterer gerne høj specificitet for at undgå falske alarmer [9]. Mere præcist har en specificitet på minimum 95% og således en risiko for højst 5% falske alarmer [9]. Typisk er dette dog på bekostning af en lavere følsomhed. Den ovenfor præsenterede model har en relativ høj specificitet. Til gengæld finder den lidt færre udbrud med en accuracy på 67% (12/18 udbrud), sammenlignet med modellen med den højeste accuracy på 72% (13/18 udbrud). Sensitiviteten på de 81 modelkombinationer varierer markant (6,1-80,1%). Her er det vigtigt at bemærke, at sensitiviteten er opgjort på ugeniveau. I sygdomsovervågningssammenhænge prioriteres påvisning af sygdomsudbrud fremfor påvisning af alarm i samtlige af de PRRS-nysmittede uger [9]. Derfor prioriteres accuracy fremfor sensitivitet i evaluering af modellernes performance. Yderligere prioriteres det, at udbruddet findes så tidligt som muligt. Det vil sige så lang timeliness som muligt for, at overvågningen af produktivetsdata skal bidrage med yderligere information til den eksisterende overvågning. Timeliness blev defineret som gentagen alarm i alle uger forud for, at besætningen blev bekræftet PRRS-positiv.

Udsving i produktivetsdata kan indikere PRRS-udbrud tidligere end den nuværende overvågning. Analysen viser, at mere end halvdelen af de PRRS-nysmittede besætninger i datasættet ville have fået en alarm med den udviklede model i omkring 9,5 uger før det faktiske statusskift.

Registreringer af antallet af mumificerede fostre pr. faring virkede umiddelbart til at være en relativ god indikator for PRRS-smitte. Imidlertid var det kun 30 besætninger, heraf 6 med PRRS-statusskift, som registrerede dette fund i deres produktivetsdata. Det er for få besætninger til at kunne vurdere denne parameters bidrag til modellen. En anbefaling vil derfor være, at flere besætninger begynder at registrere antallet af mumificerede fostre pr. faring, da det kan være en god indikator for PRRS-sygdomsudbrud.

Konklusion

Ændringer i produktivetsdata kan anvendes til at indikere, om en besætning er smittet med PRRS. Undersøgelsen viser, at kombinationen af fem parametre – andelen af dødfødte, pattegrisedødelighed, drægtighedslængde, omløberprocent og andel af førstelægssøer – kan bruges til at identificere PRRS-nysmitte. Overvågning baseret på produktivetsdata kan dermed fungere som et omkostningseffektivt supplement til den nuværende overvågning. Det bør dog undersøges, om alle fem parametre er nødvendige for at opnå optimal modelperformance, ligesom modellen bør afprøves i praksis, forud for eventuel implementering.

Referencer

- [1] Landbrug & Fødevarer, Den Danske Dyrælgeforening og Fødevarestyrelsen (2022): Strategi til reduktion af Porcin Reproduktions- og Respirationssyndrom (PRRS) hos grise i Danmark. D. 3. maj 2022. [Online]; URL (tilgået d. 8. januar 2026): https://svineproduktion.dk/-/media/PDF/Aktuelt/Temaer/PRRS/PRRS_strategi_reduktion_temaside.ashx
- [2] Wensvoort, G.; Terpstra C.; Pol, J.M.A.; ter Laak, E.A.; Bloemraad, M.; de Kluyver, E.P.; Kragten, C.; van Buiten, L.; den Besten, A.; Wagenaar, F.; Broekhuijsen, J.M.; Moonen, P.L.J.M.; Zetstra, T.; de Boer, E.A.; Tibben, H.J.; de Jong, M.F.; van 't Veld, P.; Groenland, G.J.R.; van Gennep, J.A.; Voets, M.Th.; Verheijden, J.H.M.; Braamskamp, J. (1991): Mystery swine disease in the Netherlands: the isolation of Leystad virus. The Veterinary Quarterly , Vol 13, No 3.
- [3] Linhares, D.C.L.; Cano, J.P.; Torremorell, M.; Morrison, R.B. (2014): Comparison of time to PRRSV-stability and production losses between two exposure programs to control PRRSV in sow herds. Preventive Veterinary Medicine 116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.05.010>
- [4] Bekendtgørelse om porcin reproduktions- og respirationssygdom (PRRS). Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, BEK nr. 997 af 29/06/2023 [Online]; URL (tilgået d. 8. januar 2026) <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2023/997>
- [5] Mil-Homens, M.P.; Jayaraman, S.; Rupasinghe, K.; Wang, C.; Trevisan, G.; Dórea, F.; Linhares, D.C.L.; Holtkamp, D.; Silva, G. (2024): Early Detection of PRRSV Outbreaks in Breeding Herds by Monitoring Productivity and Electronic Sow Feed Data Using Univariate and Multivariate Statistical Process Control Methods. Transboundary and Emerging Diseases. <https://doi.org/10.1155/2024/9984148>
- [6] Kristensen, C.S.; Christiansen, M.G.; Pedersen, K.; Larsen, L.E. (2020): Production losses five months after outbreak with a recombinant of two PRRSV vaccine strains in 13 Danish sow herds. Porcine Health Management 6:26. <https://doi.org/10.1186/s40813-020-00165-z>
- [7] Valdes-Donoso, P.; Alvarez, J.; Jarvis, L.S.; Morrison, R.B.; Perez, A. (2018): Production Losses From an Endemic Animal Disease: Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome (PRRS) in Selected Midwest US Sow Farms. Frontiers in Veterinary Science, Vol 5, Article 102. doi: 10.3389/fvets.2018.00102
- [8] Venables W.N.; Ripley B.D. (2002): Modern Applied Statistics with S, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0, <https://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>.
- [9] Faverjon, C.; Carmo, L.P.; Berezowski, J. (2019): Multivariate syndromic surveillance for cattle diseases: epidemic simulation and algorithm performance evaluation. Preventive Veterinary Medicine. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2019.104778
- [10] Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Online]; URL (tilgået d. 8. januar 2026) www.Rproject.org.
- [11] Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2023). dplyr: A grammar of data manipulation (R package version 1.1.2). <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html> [Online] (tilgået d. 9. januar 2026).
- [12] Wickham H, Vaughan D, Girlich M (2023). tidyr: Tidy Messy Data. R package version 1.3.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/tidyr/index.html> [Online] (tilgået d. 9. januar 2026).