

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Katarina Marić

Diplomski studij Zootehnika

Smjer Specijalna zootehnika

**PRECIZNA POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA: UTJECAJ NA SEKTOR
SVINJOGOJSTVA**

Diplomski rad

Osijek, 2023.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Katarina Marić

Diplomski studij Zootehnika

Smjer Specijalna zootehnika

**PRECIZNA POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA: UTJECAJ NA SEKTOR
SVINJOGOJSTVA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv.prof.dr.sc. Vladimir Margeta, predsjednik
2. doc.dr.sc. Kristina Gvozdanović, mentor
3. izv.prof.dr.sc. Danijela Samac, član

Osijek, 2023.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PRECIZNA POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA	2
3. PRECIZNA STOČARSKA PROIZVODNJA	3
3.1. <i>Informacijsko komunikacijska tehnologija u sektoru svinjogojstva (ICT)</i>	6
3.1.1. <i>Senzori</i>	7
3.1.2. <i>Kamere</i>	8
3.1.3. <i>Mikrofoni</i>	11
3.1.4. <i>Infracrvena termografija (IRT)</i>	11
3.1.5. <i>Radio frekvencijska identifikacijska tehnologija (RFID)</i>	12
3.1.6. <i>Akcelerometri</i>	14
4. PRIMJENA PLF TEHNOLOGIJA U SEKTORU SVINJOGOJSTVA	15
4.1. <i>Identifikacija svinja</i>	15
4.2. <i>Praćenje kretanja i utvrđivanje hromosti</i>	17
4.3. <i>Procjena tjelesne težine</i>	18
4.4. <i>Termička analiza</i>	20
4.4.1. <i>Utvrđivanje pojave estrusa</i>	22
4.5. <i>Agresivno ponašanje</i>	22
4.6. <i>Analiza zvučnog nadzora</i>	23
4.7. <i>Precizna hranidba</i>	24
5. PERSPEKTIVA I BUDUĆNOST PRECIZNE POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE U SEKTORU SVINJOGOJSTVA	27
6. ZAKLJUČAK.....	31
7. POPIS LITERATURE.....	32
8. SAŽETAK.....	37
9. SUMMARY	38
10. POPIS SLIKA	39
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA	
BASIC DOCUMENTATION CARD	

1. UVOD

Svinjsko meso se nalazi na drugom mjestu, odmah iza pilećeg mesa, po pitanju konzumacije u svijetu, stoga je danas sektor svinjogojstva jedan od tehnološki najrazvijenijih proizvodnih sektora koji je u kontinuiranom porastu. Razvoju proizvodnje doprinosi i pretpostavka da će svjetska populacija do 2050. godine doživjeti porast za više od 23 % sadašnje populacije te će iznositi gotovo 10 milijardi ljudi. Uslijed kontinuiranog porasta broja stanovnika i povećanih potreba za proizvodima animalnog podrijetla, neophodno je primjenjivati nove tehnologije i prakse poput preciznog uzgoja stoke (PLF) kako bi svinjogojstva bila održiva.

Intenzivan uzgoj svinja zahtijeva kontinuirani nadzor proizvodnje u svrhu prikupljanja informacija i praćenja zdravstvenog stanja te proizvodnih karakteristika životinja s ciljem ostvarenja boljih proizvodnih rezultata, veće ekonomske dobiti te osiguranja dobrobiti životinja. Precizno stočarstvo obuhvaća skup tehnologija praćenja u stvarnom vremenu usmjerenih na upravljanje vremenskom varijabilnošću najmanje upravljive proizvodne jedinice. Stoga, sustavi precizne stočarske proizvodnje teže postizanju potpuno automatiziranog kontinuiranog praćenja životinja primjenom novih tehnologija. Potrebne podatke moguće je prikupljati primjenom kamera, mikrofona, sustava za analizu zvuka ili bilo kojim drugim senzorom unutar proizvodne jedinice ili pak na životinji primjenom radio frekvencijske identifikacijske tehnologije, odnosno RFID senzora, akcelerometra i slično. Prikupljeni se podaci obrađuju i pohranjuju u sustave čime se dobiva cjelokupan pregled trenutnog stanja svake životinje na pojedinoj farmi. Jedan od ciljeva razvoja sustava precizne stočarske proizvodnje ogleda se u kontinuiranom i automatskom praćenju životinja u svrhu podrške poljoprivrednicima u upravljanju proizvodnjom kao što su strategije hranidbe, kontrola stope rasta i upravljanje zdravljem. S druge strane, benefiti ovoga sustava ogledaju se u smanjenju štetnih utjecaja na okoliš te povećanju profitabilnosti, učinkovitosti i održivosti farmi.

Cilj ovoga rada je pobliže objasniti utjecaj precizne poljoprivredne proizvodnje na sektor svinjogojstva. U radu su opisane informacijsko komunikacijske tehnologije koje se primjenjuju u sektoru svinjogojstva, proizvodni procesi u kojima se primjenjuju te perspektiva razvoja svinjogojstva njihovom primjenom.

2. PRECIZNA POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA

Precizna poljoprivreda se, kako navode Collins i Smith (2022.) sastoji od skupa suvremenih tehnologija čijom se primjenom nastoje unaprijediti kvaliteta i kvantiteta proizvodnje uz istovremenu optimizaciju potreba za radnom snagom. Precizne poljoprivredne tehnologije kombiniraju senzore, lokacijske i komunikacijske sustave, praćenje opskrbnog lanca kao što je primjerice softver koji omogućuje praćenje proizvoda od farme do potrošača, zatim robotiku i umjetnu inteligenciju (Collins i Smith, 2022.), čime se osigurava bolje korištenje resursa za održavanje kvalitete okoliša uz poboljšanje održivosti opskrbe hranom. Povezivanje navedenih pametnih poljoprivrednih tehnologija naziva se Internet stvari (Internet of Things, IoT), a omogućuje povezivanje senzora i uređaja što pruža veći nadzor, kontrolu i potencijalne uštede učinkovitosti kroz stvaranje velikih baza podataka za analitiku velikih podataka, predviđanje i intervencije (Collins i Smith, 2022.). Iako zahtijevaju značajno ulaganje kapitala i vremena, tehnologije precizne poljoprivrede mogu osigurati uštedu troškova i veće prinose kroz preciznije upravljanje inputima.

Pojam precizne poljoprivrede pojavio se sredinom 80-ih godina prošloga stoljeća kao sustav primjene pravog tretmana na pravom mjestu u pravo vrijeme (Gebbers i Adamchuk, 2010.). Prvobitno se precizna poljoprivreda koristila za prilagodbu distribucije gnojiva različitim uvjetima tla na poljoprivrednom zemljištu, nakon čega su se razvile i dodatne prakse.

Danas se tehnologije precizne poljoprivrede uspješno primjenjuju u ratarskoj i stočarskoj proizvodnji, vinogradarstvu, hortikulturi te u upravljanju pašnjacima i travnjacima. Ciljevi precizne poljoprivrede, kako navode Pierce i Nowak (1999.), ogledaju se u optimiziranju korištenja raspoloživih resursa u svrhu povećanja profitabilnosti i održivosti poljoprivrednih operacija, smanjenju negativnog utjecaja na okoliš kao i poboljšanju kvalitete radnog okruženja i društvenih aspekata poljoprivrede, stočarstva i relevantnih zanimanja.

3. PRECIZNA STOČARSKA PROIZVODNJA

Pojam precizna stočarska proizvodnja dolazi od engleskog naziva Precision Livestock Farming (PLF), a označava korištenje pametnih tehnologija za upravljanje životinjama (Collins i Smith, 2022.). Koncept precizne stočarske proizvodnje nastao je u SAD-u tijekom sedamdesetih i osamdesetih godina prošloga stoljeća, razvojem precizne poljoprivrede temeljene na signalima globalne pozicije (GPS) (Mahfuz i sur., 2022.). Ta je tehnologija primijenjena za prikupljanje podataka u stvarnom vremenu s preciznom lokacijom. Prema navodima Halachmi i Guarino (2016.), prva masovna primjena PLF-a nastupila je razvojem individualnih elektroničkih mjerača mlijeka za krave koji su komercijalno postali dostupni sedamdesetih i osamdesetih godina prošloga stoljeća, godinama prije nego li je termin PLF-a uopće ustrojen. Tek desetak godina nakon, precizni je uzgoj stoke započeo i u Europi, temeljen na satelitskim i radio frekvencijskim identifikacijskim oznakama (RFID).

Prema Berckmans (2014.) te Halachmi i Guarino (2016.) precizna stočarska proizvodnja opisuje sustav upravljanja temeljen na kontinuiranom automatskom praćenju i kontroli proizvodnje, reprodukcije, zdravlja i dobrobiti životinja u stvarnom vremenu te utjecaja stočarske proizvodnje na okoliš. Početna točka svakog PLF sustava su praćenje i analiza bioloških odgovora. Praćenjem i analizom prikupljaju se podaci koji se koriste za razvoj algoritama koji dalje služe u svrhu kontrole određenih parametara u proizvodnom procesu (Tzanidakis i sur., 2021.). Naime, ukoliko se unutar proizvodnog procesa pojavi problem, aktivira se signal upozorenja kako bi farmer u najkraćem vremenskom razdoblju mogao poduzeti odgovarajuće radnje s ciljem ranog rješavanja problema (Berckmans, 2017.). Kako bi bila što uspješnija, precizna stočarska proizvodnja zahtjeva idealne uvjete za procese praćenja i kontrole. Stoga se primarni cilj ovog sustava ogleda u pronalasku jednostavnih i pristupačnih rješenja za ozbiljne probleme unutar stočarske proizvodnje.

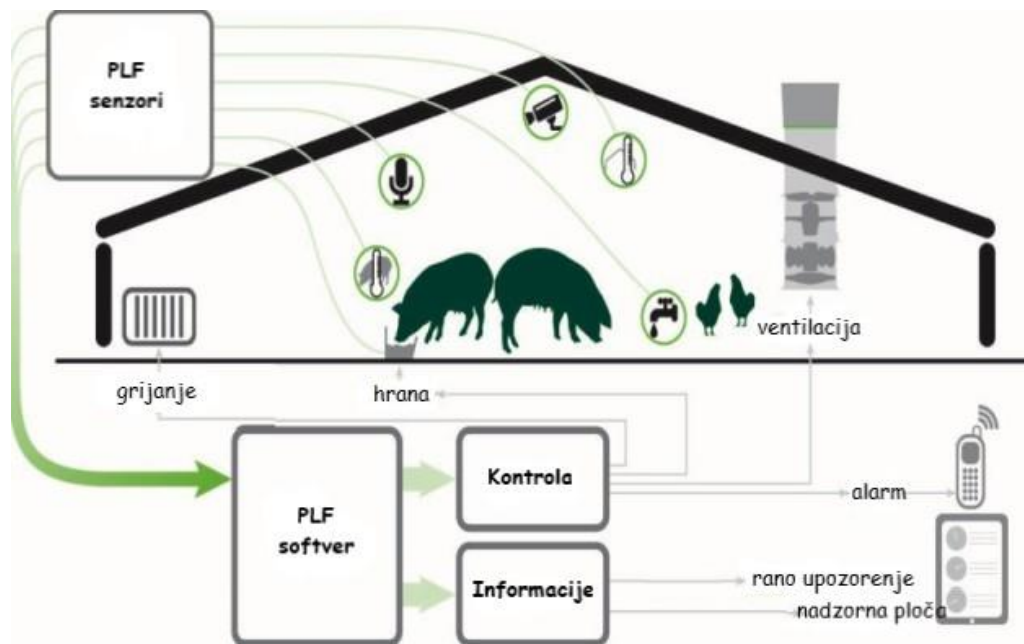
U zemljama koje nemaju visoko razvijenu tehnologiju u pogledu stočarske proizvodnje, precizni se uzgoj smatrao nemogućim i nedostižnim, no razvojem suvremene tehnologije i njezinom primjenom u poljoprivredi dolazi do veće primjene u sektoru stočarstva. Nove su se tehnologije primarno koristile u sustavima intenzivne proizvodnje, dok je zbog izazova prikupljanja podataka na velikim, heterogenim površinama u vrlo promjenjivim uvjetima njihova primjena u ekstenzivnim sustavima bila manje zastupljena (Collins i Smith, 2022.). Posljednjih se desetljeća uzgoj životinja temelji na osiguranju njihova zdravlja i dobrobiti zbog sve veće osviještenosti, informiranosti te zahtjeva potrošača za humanijim pristupom prema

životinjama od strane čovjeka. Unatoč tehnološkom napretku, u brojnim se zemljama još uvijek primjenjuju tradicionalne metode uzgoja u kojima ljudski resursi nadziru životinje (Arulmozhi i sur., 2021.) gdje je dobrobit još uvijek djelomično zanemarena. Često je to posljedica složenosti sustava precizne stočarske proizvodnje te neiskustva farmera u upravljanju novim tehnologijama. U takvim je situacijama ljudski nadzor životinja ograničen na identifikaciju golim okom, a uzimanje podataka uvelike ovisi o raspoloživosti ljudskih resursa. Suprotno tome, precizno stočarstvo obuhvaća različite metode mjerenja pojedinačnih životinja što za cilj ima praćenje i poboljšanje proizvodnje, zdravlja i dobrobiti s istovremenim smanjenjem radnog opterećenja uzgajivača. U konačnici, zdrava životinja koja je uzgajana prema principima dobrobit može dugoročno pružiti najbolje jamstvo kvalitete proizvoda (Berckmans, 2014.). Prema Berckmans (2006.), preciznom se stočarskom proizvodnjom uzgajivačima nastoje pružiti alati koji će omogućiti kontinuirano i daljinsko praćenje njihovih životinja i okoliša na farmi.

Danas postoji širok raspon dostupnih tehnologija osmišljenih za optimizaciju proizvodnih procesa u svinjogojskom sektoru (Benjamin i Yik, 2019.), a neke od njih su: kamere za procjenu tjelesne težine, ponašanja i aktivnosti, termalne kamere za tjelesnu temperaturu, različite mjerne stanice za praćenje unosa hrane, tjelesne težine i hoda, mikrofoni za praćenje kašlja i vokalizacije, akcelerometri za aktivnost, senzori za utvrđivanje hromosti, radio frekvencijska identifikacija za individualnu identifikaciju i praćenje, GPS za lokaciju, bežični komunikacijski alati, internetske veze i pohrana u oblaku te brojni drugi. Prema Berckmansu (2014.) kombinacijom svih raspoloživih hardvera s inteligentnim softverom moguće je dobiti širok raspon podataka na osnovu kojih se poljoprivredniku omogućuje automatsko praćenje životinja i stvaranje dodane vrijednosti pomažući u osiguravanju poboljšanog zdravlja, dobrobiti, prinosa i utjecaja na okoliš. Kroz tehnološku implementaciju, podaci se mogu prikupljati automatski pomoću kućnih upravljačkih računala ili unutar računala farme. Međutim, zbog slabije educiranosti o upravljanju pametnim tehnologijama i namjerama korištenja istih, većini uzgajivača svinja nedostaju potrebne informacije za ekonomično vođenje farme (Mahfuz i sur.,2022.).

Primjena tehnologija precizne stočarske proizvodnje funkcionira na način da kada svinja u oboru doživi nepovoljne uvjete, javljaju se promjene u ponašanju kao biološki odgovor organizma na podražaj. Nakon toga, PLF sustav putem već spomenutih senzora uočava promjene čime utvrđuje elemente odgovorne za nastali problem. Zahvaljujući mogućnosti pojedinačnog nadzora, PLF pruža stalan dotok informacija o svakoj životinji. Analizom prikupljenih i dokumentiranih podataka pohranjenih u računalo tijekom određenog

vremenskog razdoblja, moguće je izgraditi automatski klasifikator koji klasificira obrasce koji dovode do razlika u ponašanju zbog neprikladnih uvjeta (Berckmans, 2009.), što također može poslužiti i za daljnju vizualizaciju situacije. Naime, od iznimnog je značaja pravilno dekodiranje i procjena vrijednosti prikupljenih podataka jer je zahvaljujući tome biološke reakcije životinja moguće koristiti kao senzor za dobivanje informacija o okolišu i podražajima (Slika 1.).



Slika 1. Shematski prikaz sustava tehnologija precizne stočarske proizvodnje u svinjogojstvu
(Izvor: tice.agrocampus-ouest.fr)

Razvojem dinamičkih matematičkih modela temeljenih na parametrima tih obrazaca moguće je definirati specifične pokazatelje za pojedine obrasce ponašanja kao što su kretanje i odmaranje, igra, konzumacija hrane i vode, agresivna interakcija te brojni drugi (Berckmans, 2014.). Osim toga, farmeri imaju mogućnost praćenja varijabilnosti okolišnih čimbenika koji imaju značajan utjecaj na proizvodnju poput temperature i relativne vlažnosti zraka te parametara kao što su tjelesna težina, konzumacija hrane te konverzije hrane. Razvoj modela koji povezuje već spomenute obrasce ponašanja životinja sa svim okolišnim čimbenicima predstavlja posljednji korak u razvoju alata za automatsku dinamičku kontrolu. Navedeno predstavlja iznimno kompliciran proces koji iziskuje brojna istraživanja kako bi se sustav uskladio s potrebama i mogućnostima današnjeg vremena.

Danas precizna stočarska proizvodnja nastoji postići potpuno automatizirano kontinuirano praćenje svinja, koristeći tehnološka dostignuća kao dio procesa upravljanja (Tzanidakis i sur.,

2021.). Stoga se posljednjih godina bilježi sve veći porast zainteresiranosti uzgajivača svinja za istu, no unatoč tomu još uvijek nije u širokoj primjeni.

Precizna stočarska proizvodnja pruža učinkovito i održivo korištenje resursa smanjenjem otpada, omogućuje rano otkrivanje bolesti na osnovu promjene aktivnosti i ponašanja životinja praćenih kamerama i različitim senzorima, pruža zaštitu životinja od okolišnih stresora te smanjuje manipulacije od strane čovjeka čime se poboljšava njihova dobrobit. Stoga su njen razvoj i napredak od iznimnog značaja za bolju budućnost stočarske proizvodnje (Arulmozhi i sur., 2021.).

3.1. Informacijsko komunikacijska tehnologija u sektoru svinjogojstva (ICT)

Informacijsko komunikacijska tehnologija (Information and Communication Technology, ICT), podrazumijeva primjenu različitih uređaja, alata ili aplikacija za prikupljanje i razmjenu podataka. Primjena tehnoloških inovacija doprinosi razvoju precizne stočarske proizvodnje, a samim time i sektoru svinjogojstva. Svinjogojstvo danas, osim razvoju infrastrukture, veliku pozornost pridodaje primjeni tehnoloških znanja u svrhu praćenja i kontrole hranidbe, zdravlja, dobrobiti, reprodukcije te proizvodnih performansi životinja. Prema Mahfuz i sur. (2022.) primjena ICT-a predstavlja važnu komunikaciju između farmera i posrednika povezanih s tržištem i potrošačima, što poboljšava proizvodnju te omogućuje sigurnost i sljedivost hrane. Pametne tehnologije temeljene na ICT-u obuhvaćaju pametne ušne markice, senzore, IoT, dubinsko učenje, velike podatke i robotske sustave koji mogu izravno sudjelovati u radu poljoprivrednih aktivnosti te predstavljaju učinkovite alate za prikupljanje, obradu i analizu podataka s farmi (Mahfuz i sur., 2022.). Budući da proizvodni rezultati ovise o različitim uvjetima držanja svinja, Connolly (2018.) ističe kako digitalne tehnologije mogu biti iznimno korisne jer pružaju mogućnost poboljšanja i povećanja učinkovitosti proizvodnje uz povećanje stope sigurnosti. Primjenom ICT tehnologije u uzgoju svinja, svi su parametri pod nadzorom i kontrolom softverskih aplikacija ili programabilnih inteligentnih računala (PIC) te je moguće njima upravljati. Kako Mahfuz i sur. (2022.) navode, IoT tehnologija se također može koristiti za utjecaj na uzgoj svinja korištenjem senzora u stvarnom vremenu, analize podataka, informacijskih tehnologija i donošenjem odluka za poboljšanje zdravlja i dobrobiti svinja te učinkovitosti proizvodnje.

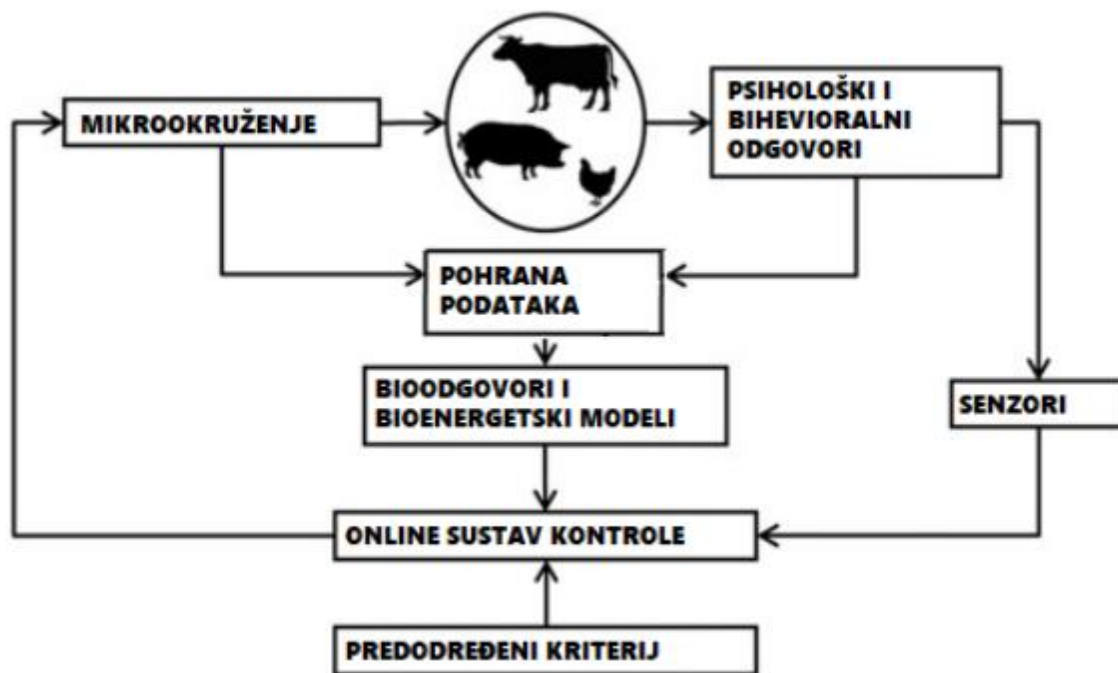
Prema Arulmozhi i sur. (2021.), praćenje proizvodnje i provođenje istraživanja puno je jednostavnije primijeniti u govedarstvu u odnosu na svinjogojstvo. Za dobivanje bioloških podataka, aktivnosti i informacija o kretanju pojasa za vrat ili noge sa senzorima bez poteškoća

se može pričvrstiti na goveda, dok je u svinjogojstvu takva vrsta praćenja i prikupljanja podataka relativno teška zbog specifičnih obrazaca ponašanja svinja te znatizelje za nove stvari čime su sklone griženju i uništavanju senzora. Stoga se danas, u modernom svinjogojstvu, s ciljem prikupljanja podataka primjenjuju senzori poput kamera, mikrofona, akcelerometara i radio frekvencijskih identifikacijskih transpondera.

3.1.1. Senzori

Riječ senzor dolazi od latinske riječi „*sensus*“, što znači „osjet“, a predstavlja uređaje koji prepoznaju određene okolišne podražaje, odnosno ulazne signale iz okoline i reagiraju na njih. Nalaze se u gotovo svim električnim strojevima, a uloga im je izražavanje mjerne veličine iz procesa pomoću signala, elektronički, mehanički ili optički. Naime, u današnje je vrijeme zbog razvoja modernih tehnologija i njihove sve opsežnije primjene, neophodno imati osnovna znanja o sensorima za daljinsko praćenje, o postupku razvoja algoritama i poznavanju uređaja (Benjamin i Yik, 2019.).

Na Slici 2. shematski je prikazano ustrojstvo i povezanost svih ključnih elemenata za neometano funkcioniranje precizne stočarske proizvodnje. Naime, senzori poput kamera, mikrofona, termometara te brojnih drugih, rade na principu prikupljanja okolišnih podražaja, odnosno „inputa“ poput topline, vlage, svjetlosti, kretanja i tome sličnih pojava. Prikupljeni se podaci pohranjuju u vanjskim pogonima ili ih senzori šalju na glavni procesor gdje se kombiniraju s pojedinačnim identifikacijama životinja, referenciranim opažanjima i proizvodnim podacima. Podaci se potom integriraju u algoritme za pružanje relevantnih informacija i upozorenja o zdravlju, produktivnosti i dobrobiti svinja. Algoritam čini određeni skup definiranih naredbi, operacija ili formula koji se koristi za rješavanje određenog problema ili skupine problema. U preciznoj se stočarskoj proizvodnji primjenjuju programski algoritmi. To su računalni postupci koji računalu precizno kazuju koje je korake neophodno primijeniti u svrhu rješavanja problema. Sama vrijednost algoritma za farmere ovisi o njegovoj sposobnosti transformacije podataka sa senzora, odnosno značajne ili „input varijable“ u biološki ishod, odnosno ciljane ili „output varijable“. Output varijabla čini izlazne signale koji se pretvaraju u čitljivi podatak na zaslonu senzora koji je vidljiv i razumljiv čovjeku. Primjer značajnih varijabli može biti postotak vremena koji svinja provodi u ležanju kako bi se utvrdio biološki ishod hromosti ili pak frekventnost kašljanja za otkrivanje biološkog ishoda respiratorne bolesti.



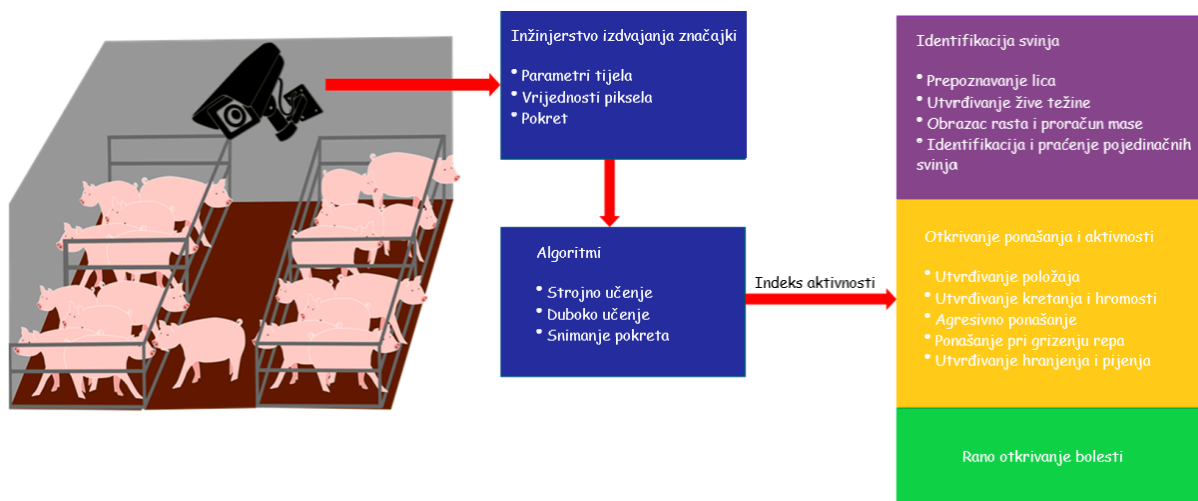
Slika 2. Shematski prikaz povezanosti ključnih elemenata PLF

(Izvor: Fournel i sur., 2017.)

Prema Benjamin i Yik (2019.), pojedini uređaji koji se primjenjuju u preciznoj stočarskoj proizvodnji ne zahtijevaju pristup internetu pa se senzori mogu koristiti i odvojeno. Pri tome šifrirani se podaci mogu prikupljati s različitih mjesta unutar sustava farme i slati u računski sustav za obradu, u svrhu filtriranja nepotrebnih podataka. Potom se mogu koristiti za prikladan prikaz rezultata ili upozorenja putem WiFi-a ili Bluetootha primjenom aplikacija na tabletima i mobilnim telefonima.

3.1.2. Kamere

Praćenje kamerom se primjenjuje za detaljna promatranja učestalosti pojavljivanja određenih reakcija ponašanja, duljini trajanja te brzini njihovih izvođenja. Osim toga, kamere su od iznimnog značaja jer su u odnosu na druge senzorske sustave svima dostupne te na lak i jednostavan način prikupljaju informacije. Za proučavanje pojedinačnih bioloških odgovora poput agresivnih ili nekih drugih obrazaca ponašanja, snimke je moguće analizirati u usporenoj snimci ili pak kadar po kadar. Suprotno tome, ukoliko je potrebno provesti opću analizu aktivnosti kao što je klasificiranje ponašanja životinje u stajaćem i ležećem položaju, snimljeno se ponašanje može proučavati na ubrzanoj snimci.

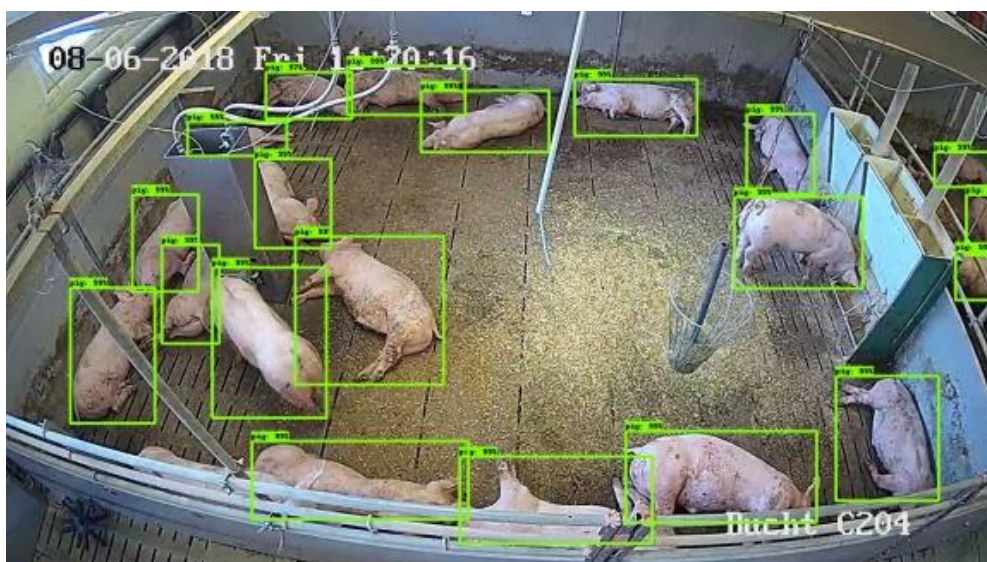


Slika 3. Shematski prikaz principa rada CCD kamera

(Izvor: Arulmozhi i sur., 2021.)

Danas su na tržištu dostupne brojne vrste kamera koje nude različite podatke i parametre slike, a neke od njih su CCD kamere, infracrvene, termalne, dubinske kamere te brojne druge. CCD kamere pružaju digitalne informacije, a razlikuju se dvodimenzionalne (2D) i trodimenzionalne (3D) (Marchant i sur., 1999.). Njihovim postavljanjem iznad svakog boksa, kao što je prikazano Slikom 4., moguće je pružiti puno vidno polje (FoV) što uvelike ovisi o veličini boksa i specifikacijama pojedine kamere. Navedeno je dovoljno učinkovito za potrebno prikupljanje slikovnih podataka, dok su istovremeno troškovi instalacije sustava svedeni na najmanju moguću razinu (Berckmans, 2014.). Sustavi praćenja u stvarnom vremenu već su primijenjeni za istraživanje i kontrolu ponašanja pri hranjenju, za procjenu težine, za praćenje ponašanja tijekom konzumacije vode, identifikaciju i automatsko brojanje svinja te moguće sprječavanje agresivnih interakcija odvratanjem pozornosti (Tzanidakis i sur., 2021.).

Prvi korak svake analize temeljene na slici je akvizicija slike, što se definira kao hvatanje numeričkih informacija putem kamere. Kako prikazuje Slika 3., CCD kamera može snimiti dvodimenzionalne (2D) slike koje u numeričkom obliku daju informacije o boji (RGB), teksturi, obliku, širini, visini, vrijednostima piksela te brojne druge (Arulmozhi i sur., 2021.). Nakon toga nastupa ekstrakcija informacija pomoću tehnika obrade slike čime se dobiju podaci od iznimnog značaja za farmera, kao što su podaci o proizvodnim karakteristikama svinja. Neophodno je istaknuti da dvodimenzionalne kamere zahtijevaju odgovarajuće ambijentalno osvjetljenje i kontrastnu pozadinu. Stoga je za njihovu primjenu neophodno osigurati adekvatnu pozadinu u odnosu na boju životinje, odnosno potrebno je primijeniti tamnu pozadinu za bijele svinje i obrnuto.



Slika 4. Automatsko otkrivanje položaja i držanja svinja pomoću 2D kamere
(Izvor: Riekert i sur., 2020.)

Posljednjih je godina, također, zastupljena primjena senzora dubine, odnosno dubinskih slika dobivenih putem 3D kamere. Trodimenzionalne ili 3D kamere temelje se na dubini, poput Microsoft Kinect i Intel® RealSense™ (Bejteš, 2021.). Takve kamere imaju visoku razlučivost, sadrže infracrveni iluminator i Time of Flight (ToF) dubinski senzor koji proizvodi boju. Senzor dubine određuje blizinu životinje kameri, a informacije o dubini su ograničene na širinu vidnog polja, stoga fluktuacije vanjskih čimbenika poput svjetla, pozadinske buke i drugih mogu uzrokovati relativnu pogrešku u senzorima dubine (Arulmozhi i sur., 2021.). Takve se slike najčešće koriste u prepoznavanju lica i drugim vrstama morfološke identifikacije, kao i za utvrđivanje aktivnosti pojedine životinje (Arulmozhi i sur., 2021.). Infracrvene zrake imaju značajnu ulogu za vrijeme slabog osvjetljenja i proučavanja ponašanja životinja tijekom noći. Budući da su kontinuirano izložene štetnim mikroklimatskim i makroklimatskim utjecajima te brojnim insektima, Benjamin i Yik (2019.) ističu kako današnje kamere zahtijevaju ugrađeni poklopac koji će zaštititi senzor.

Najveći problem u današnjim sustavima praćenja kamerom je spajanje mrlja koje može biti posljedica neadekvatnog osvjetljenja ili promjena u okolišu poput kondenzacije ili nakupljanja prašine na lećama kamere tijekom dana (Tzanidakis i sur., 2021.). S druge strane, spajanje mrlja može nastati zbog sličnih izgleda tijela svinja, deformacije oblika ili uslijed preklapanja koja ometaju jasnoću videozapisa što se nerijetko javlja tijekom hladnijih dana zbog međusobnog skupljanja svinja. S ciljem rješavanja ovog problema provedena su brojna istraživanja. Kako Tzanidakis i sur. (2021.) navode, s navedenim spajanjem mrlja su se u

svojim istraživanjima susreli McFarlanea i Schofielda (1995.) i Viazzi i sur. (2014.) koji su ustanovili da se navedeni problem javlja ukoliko se svinje previše približe jedna drugoj, osobito kada su spavale jedna na drugoj u skupinama. U takvim je situacijama softver za praćenje spajao pojedinačne mrlje krivo tumačeći dvije jedinke kao jednu zbog čega nije mogao utvrditi koja je koja jedinka. Stoga su, daljnjim istraživanjima McFarlanea i Schofielda (1995.) došli do zaključka da se povećanjem brzine snimanja slike kamerom na 20 sličica u sekundi navedeni problem može smanjiti. S ciljem daljnjeg rješavanja problema spajanja mrlja, Zhang i sur. (2018.) su predložili metodu za automatsko praćenje kretanja svinja koja je ostvarila 94,72 % preciznosti i 89,58 % točnosti. Naime, ova je metoda uključivala tri faze analize, a to su otkrivanje objekta, praćenje više objekata (MOT) te povezivanje podataka čime je smanjena fluktuacija osvjetljenja, ojačan proces oduzimanja pozadine, olakšano otkrivanje i analiza specifičnih obrazaca ponašanja te je omogućeno razumijevanje svih objekata, njihovih oblika i njihovog mjesta na fokusu.

3.1.3. Mikrofolni

Mikrofolni su uređaji koji se koriste za proučavanje vokalizacije s ciljem lakše procjene dobrobiti životinja. Oni rade na principu prikupljanja zvučnih podražaja iz okoline pretvarajući ih u električne signale koji se potom obrađuju u računalnim sustavima. Kako Benjamin i Yik (2019.) ističu, pravilnim prepoznavanjem vokalizacije moguće je rano utvrđivanje te pravovremeno otklanjanje štetnih čimbenika unutar pojedinih skupina životinja. Vokalizacija životinje može ukazivati na agresivno ponašanje unutar pojedinog boksa, može biti naznaka stresa ili signal pojave bolesti stoga se smatra jednim od indikatora psihološkog i fiziološkog stanja životinje.

3.1.4. Infracrvena termografija (IRT)

Budući da su svinje homeotermne životinje, emitiraju toplinu kroz temperaturne varijacije koje se mogu brzo identificirati pomoću toplinskih slika, odnosno infracrvenim kamerama (Slika 5.). Infracrvena termografija (Infrared thermograph, IRT) je brza, beskontaktna i neinvazivna metoda praćenja temperature na površini nekoga tijela, objekta ili predmeta pomoću kamera, koje utvrđuju karakteristično infracrveno i toplinsko zračenje, dok CCD kamere mjere zračenje vidljivih traka (Arulmozhi i sur., 2021.).



Slika 5. Infracrvena termovizijska kamera

(Izvor: www.nationalhogfarmer.com)

Prema Kolarek (2018.), infracrvene termovizijske kamere prikupljaju podatke o temperaturi objekta koje snima putem termičkog senzora, nakon čega slijedi elektronička obrada podataka. Nakon provedene obrade podataka izmjerene temperature objekta ili životinje, na zaslonu termovizijske kamere se prikazuju podaci u obliku infracrvene slike ili grafičkog prikaza koji se naziva termogram. Termogram se zatim računalnim programima detaljnije analizira, dok suvremene infracrvene kamere automatski pružaju osnovnu obradu.

U preciznoj se stočarskoj proizvodnji prema Salles i sur. (2016.) infracrvene termovizijske kamere koriste jer imaju mogućnost mjerenja promjene tjelesne temperature uzrokovane fiziološkim i patološkim procesima čime je moguće rano otkrivanje bolesti životinja ili rano utvrđivanje estrusa kod krmača i nazimica. Unatoč tomu, takve su kamere relativno skupe, stoga su i manje zastupljene u uzgoju.

3.1.5. Radio frekvencijska identifikacijska tehnologija (RFID)

Radio frekvencijska identifikacijska tehnologija (Radio Frequency Identification, RFID), predstavlja tehnički sustav koji pruža automatsko i beskontaktno prepoznavanje proizvoda, ljudi i životinja putem radio valova. U preciznoj se stočarskoj proizvodnji primjenjuje s ciljem praćenja životinja tijekom cjelokupnog proizvodnog vijeka. Ovaj se sustav, naime, sastoji od RFID oznake, čitača ili antene i sustava za obradu podataka, a kao što je prikazano Slikom 6. radi na način da oznaka emitira signal čitaču putem mikročipa i namotane bakrene antene, nakon čega u sustavu upravljanja nastupa obrada podataka i započinje praćenje životinje.

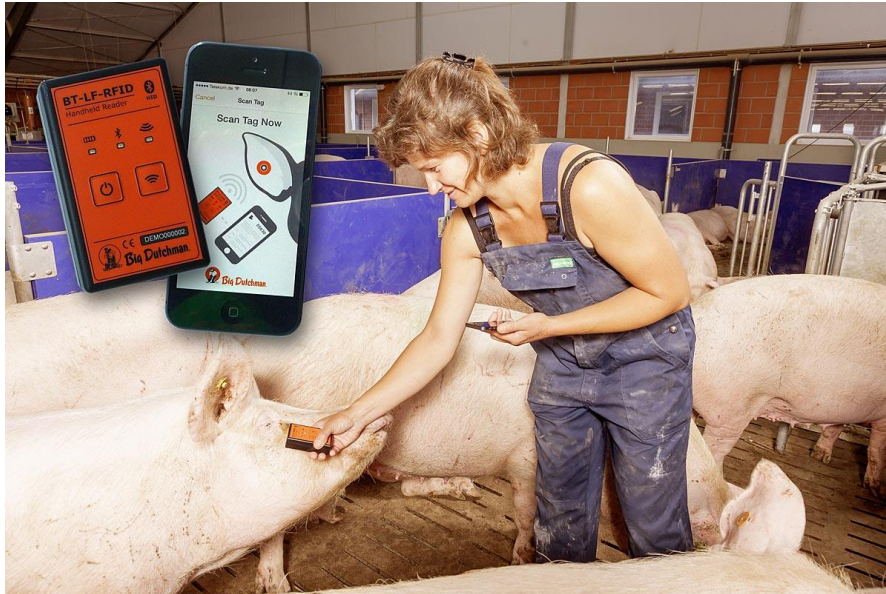
Prema Arulmozhi i sur. (2021.) u sustavima postoje tri primarna frekvencijska raspona, a to su niska frekvencija (LF: 125 kHz ili 134,2 kHz), visoka (HF: 13,56 MHz) i ultravisoka frekvencija (UHF: 860–960 MHz).



Slika 6. Princip rada RFID

(Izvor: www.purespekt.eu)

Prednosti RFID sustava ogledaju se u jednostavnom mehanizmu, niskoj cijeni koštanja i pouzdanoj korelaciji za identifikaciju objekta, no s druge strane, RFID ima ograničen domet, nema mogućnost istovremenog očitavanja više oznaka što smanjuje pouzdanost podataka zbog razigranosti i aktivnosti svinja koje se često nalaze okupljene u grupama (Arumozhi i sur., 2021.). Negativna strana je i ta što RFID s ušnom markicom, koji je ujedno i najzastupljeniji u uzgoju svinja (Slika 7.) može postati nečitljiv uslijed prljanja, lomljenja ili istrošenosti, a nerijetko se mogu izgubiti zbog kidanja uha tijekom borbe ili igre (Arulmozhi i sur., 2021.). Stoga, RFID oznake moraju biti iznimno otporne jer su često izložene ekstremnim vrućinama i hladnoći. U pogledu dobrobiti životinja RFID sustavi lošom primjenom mogu uzrokovati oštećenja uha i infekcije budući da se ušne markice mogu prenositi s jedne životinje na drugu.



Slika 7. RFID s ušnom markicom
(Izvor: www.bigdutchmanusa.com)

3.1.6. Akcelerometri

Prema Benjamin i Yik (2019.) jedna od najboljih tehnologija za praćenje kretanja i ponašanja životinja su nosivi senzori koji sadrže akcelerometre. Akcelerometri su elektromehanički uređaji koji se koriste za mjerenje sile ubrzanja kao što su sile gravitacije i sile akceleracije. Naime, sile gravitacije su statične sile koje se očituju kada svinja leži, dok su sile akceleracije sile ubrzanja nastale uslijed kretanja životinja. Njihova se primjena u svinjogojstvu provodi s ciljem praćenja ponašanja životinja, ranog otkrivanja estrusa kod krmača i nazimica te utvrđivanja hromosti.

4. PRIMJENA PLF TEHNOLOGIJA U SEKTORU SVINJOGOJSTVA

Budući da je na osnovu ponašanja i držanja tijela svinja odmah moguće procijeniti njihovu dobrobit, neophodno je poznavati neke od osnovnih obrazaca njihova ponašanja kao i njihove prirodne potrebe (Tzanidakis i sur., 2021.). Biološki poremećaji, vrsta poda, način hranidbe te manipulacija od strane čovjeka samo su neki od čimbenika koji svakodnevno narušavaju njihovu dobrobit (Tzanidakis, 2021.). Stoga se kontinuiranim nadzorom osigurava pravovremeno uočavanje nepravilnosti kako bi se adekvatno reagiralo na njih. Razvojem novih tehnologija i njihovom primjenom u svinjogojskoj proizvodnji uvelike se doprinosi boljem uzgoju svinja, čemu se treba u budućnosti i dalje težiti.

4.1. Identifikacija svinja

S ciljem poboljšanja dobrobiti i sustava uzgoja svinja neophodno je proučavati njihovo ponašanje, kretanje i aktivnosti (Arulmozhi i sur., 2021.). Prvi je korak u praćenju ponašanja identifikacija svake pojedine jedinke iz skupine. Naime, identifikacija svinja provodi se stoljećima s ciljem olakšanog otkrivanja i kontrole različitih infekcija i bolesti. Neke od tehnika označavanja svinja koje su se u prošlosti primjenjivale su rovašenje ili odsijecanje ruba uške na različitim mjestima te tetoviranje ili označavanje na svinjskoj koži. Kasnije je započela primjena označavanja svinja ušnim markicama, a posljednjih se godina provodi mikročipiranje te primjena elektroničkih identifikacijskih uređaja (EID) (Tzanidakis i sur., 2021.).

Intenzifikacija svinjogojske proizvodnje zahtijeva primjenu PLF tehnologija s ciljem povezivanja podataka o životinjama na farmi čime se osigurava brz, točan i jednostavan sustav za njihovo prepoznavanje. Posljednjih se godina, modernizacijom svinjogojske proizvodnje nastoji označavanje svinja preusmjeriti na primjenu elektroničkih identifikacijskih uređaja među kojima je RFID, odnosno radio frekvencijski identifikator koji se ujedno i najviše primjenjuje, osobito u obliku ušnih markica (Slika 8.). No, zbog već navedenih negativnih aspekata njihove primjene, tehnike računalnog vida temeljene na kameri pokazale su se kao adekvatna opcija. Stoga, osim primjene RFID-a, sustavi individualne identifikacije životinja koji su trenutno u uporabi uključuju optičko prepoznavanje likova te prepoznavanje lica. Identifikacija svinja se, prema Berckmans (2014.), može pratiti i korištenjem normalnih kamera. U početku su najčešće korištene 2D kamere u sivoj boji, nakon čega je započela primjena 3D i dubinskih kamera. Proces identifikacije se provodi detekcijom predmeta sa slike, nakon čega nastupa identifikacija pojedinačne svinje iz detektiranih objekata pomoću

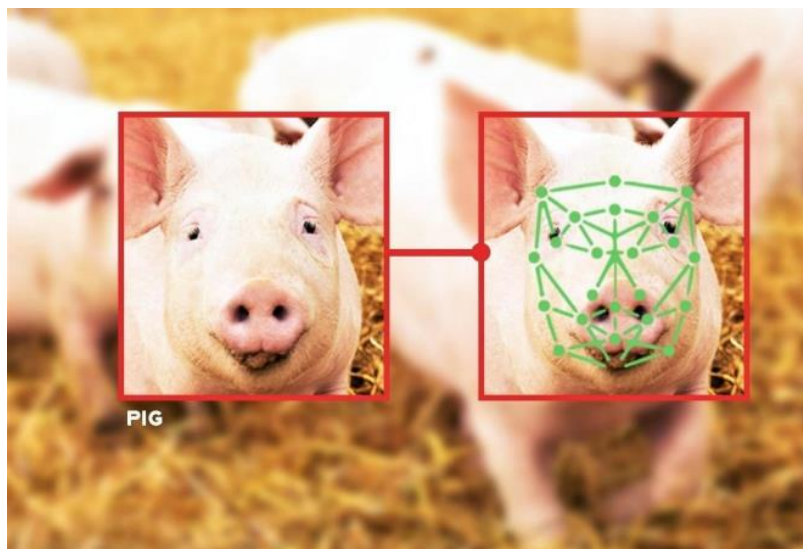
morfoloških karakteristika. Današnje kamere mogu dati i do 25 slika u sekundi čime je moguće razviti mnogo različitih algoritama za praćenje koje je lako implementirati pomoću kamera s pogledom odozgo postavljenih u boksove. Prema Arulmozhi i sur. (2021.) na farmi postoje varijacije osvjetljenja, stoga može biti izazovno pronaći razlike između svinja. Osim toga, ponekad svinje gledane odozgo izgledaju identično, a moguća su oštećenja predmeta i barijere uslijed vanjskih smetnji poput insekata ili muha koje prekrivaju leću. Takva ograničenja uzrokuju neuspjehe praćenja, a kontinuirani proces praćenja postaje nestabilan.



Slika 8. Primjena RFID u obliku ušne markice
(Izvor: rainrfid.org)

Početak 21. stoljeća nastupio je razvoj tehnologije, softvera i umjetne inteligencije čime je razvijen sustav prepoznavanja ljudskih lica kamerama. Navedeno je predstavljalo dobar temelj za primjenu takvih modela u svrhu identifikacije životinja (Arulmozhi i sur., 2021.). Primjenom sustava prepoznavanja lica (Facial recognition, FR) u stočarstvu, je omogućena pojedinačna identifikacija svinja bez markera (Slika 9.). Ova tehnologija ima dobru perspektivu zbog brzine prepoznavanja lica koja iznosi i do 620 slika po sekundi što je postignuto zahvaljujući primjenama algoritama razvijenih na humanoj populaciji. Primjenom ove metode Hansen i sur. (2018.) razvili su model prepoznavanja svinja na osnovu njihova lica. Naime, Hansen je upotrijebio digitalne fotografije snimljene kamerom postavljenom na pojljicu vode i razvio program koji razlikuje 10 svinja s 96,7 % točnosti te je izvijestio kako bi se sustav mogao primjenjivati umjesto komercijalnih ušnih markica jer je neinvazivan, zahtijeva manje vremena i ukoliko se modificira mogao bi se potencijalno primjenjivati u uzgoju drugih životinja ili pak biti rješenje za problem kontinuiranog pojedinačnog praćenja temeljenog na

kameri u pogledu spajanja mrlja tijekom snimanja. Hansenov algoritam za prepoznavanje koristi tri regije, a to su njuška i područje iznad njuške, prevladavajuće oznake na vrhu glave i područja oka.



Slika 9. Identifikacija lica svinja

(Izvor: www.hapih.hr)

Drugi su istraživači, poput Marsot i sur., (2020.) u svojim istraživanjima primjenom 2D kamera koristili modele za identifikaciju 10 do 16 svinja na razini farme s više od 90 % točnosti. Daljnjim bi se istraživanjima u budućnosti točnost algoritama mogla poboljšati dodavanjem više slika za obuku, korištenjem RGB slika, predobradom prije obuke poput filtriranja slike i tome sličnim postupcima.

4.2. Praćenje kretanja i utvrđivanje hromosti

Svinje su po prirodi dnevne životinje. Na otvorenom su uglavnom aktivne 8 do 11 sati dnevno koje provedu u istraživanju okoliša u potrazi za hranom. U intenzivnoj se proizvodnji javljaju problemi zato što im je ispoljavanje prirodnih oblika ponašanja uskraćeno. Kako Ekkel i sur. (2003.) te Dekker (2015.) navode, u intenzivnom uzgoju svinje na ležanje potroše i do 86 % dana, dok najveći dio noći provedu u spavanju, i to čak do 93 %. Stoga je ležeći položaj svinje kritičan čimbenik, dok drugi položaji mogu biti indikator nelagode.

Kako Arulmozhi i sur. (2021.) u svojem radu prema Granatosky (2020.) i Supakorn i sur. (2018.) ističu kretanje se definira kao hodanje svinja, dok se nedostatak kretanja kao i svaka abnormalnost u kretanju naziva hromost ili šepavost. Hromost može biti uzrokovana načinom

držanja, vrstom poda, higijenskim čimbenicima, nedostatkom adekvatne hranidbe ili može biti genetski uvjetovana (Arulmozhi, 2021.). Pojavom hromosti značajno se narušava dobrobit svinja, a osim toga iziskuje značajne ekonomske gubitke. Stoga je od iznimnog značaja provoditi preventivne mjere u svrhu sprječavanja njenog nastanka, no ukoliko se ista pojavi, pravovremenim otkrivanjem i liječenjem se mogu spriječiti veće poteškoće pa i sami gubici.

Prema Tzanidakis i sur. (2021.) posljednjih su godina u svinjogojski sektor uvedeni različiti sustavi temeljeni na kamerama, a razvojem tehnologije, sve je zastupljenija njihova primjena s poboljšanim rezultatima u praćenju i otkrivanju specifičnih parametara od interesa. Dosadašnjim je istraživanjima predložena identifikacija ponašanja životinja prilikom kretanja pomoću 2D kamera, IR kamera, GoPro ili web kamera (Kongsro, 2018.; Kashiha i sur., 2014.). Kashiha i sur. (2014.) i Wutke i sur. (2020.) su predložili sustav automatskog praćenja za identifikaciju lokomocije, nakon čega je uveden novi pristup za praćenje kretanja svinja s 89,8 % točnosti. Naime, tijekom istraživanja u određenim se boksovima promatralo nekoliko parametara, a to su mala os, velika os, težište i orijentacija. Kamerom prikupljeni podaci koristili su se za određivanje kretanja svinja na osnovu kretanja slike pomoću piksela. Kretanje slike izračunato je veličinom vektora kretanja u pikselima, odnosno linearno gibanje s kutnim vektorom što je kutno gibanje u odnosu na veliku os ili duljinu tijela svinje. Lokomocijom se slike dobiva kretanje objekta u smislu piksela s pragom od 0,4 što znači da ukoliko se svinja pomiče za više od 40 % duljine svog tijela, algoritam smatra da se svinja kreće.

Gronskyte i sur. (2015.) su proveli istraživanje u kojemu su GoPro kamerom snimali svinje prilikom istovara iz kamiona u klaonicu. Pri tome su za procjenu kretanja korišteni procjena optičkog protoka, identifikacija svinja, filtriranje optičkog protoka i tehnike korekcije izobličenja, a samo je kretanje svinja izračunato korištenjem procjene kretanja, izdvajanja značajki i klasifikacije okvira čime je predložen novi način prikupljanja podataka u odnosu na konvencionalno prikupljanje podataka odozgo. Primjenom Web kamera moguće je razlikovati svinje u pokretu u odnosu na one koje miruju.

4.3. Procjena tjelesne težine

Postizanje zadovoljavajuće tjelesne težine predstavlja ekonomski najvažniji aspekt u svinjogojskoj proizvodnji budući da od ukupnih troškova svinjogojske proizvodnje najveći dio odlazi na potrebe hranidbe što iznosi i više od 75 %. Osim toga, usko je vezana s učinkovitošću krmne smjese i upravljanjem hranidbom. Budući da su unos hrane i dobitak na težini linearno povezani, Pezzuolo i sur. (2018.) ističu da je vremensko praćenje težine kod svinja iznimno važan čimbenik u optimiziranju troškova hranidbe kako bi se pravovremeno utvrdili problemi

uslijed nedovoljne ili prekomjerne hranidbe. Osim toga, kako Arulmozhi i sur. (2021.) navode, praćenje žive težine predstavlja indeks za ocjenu kvalitete reprodukcije i stope rasta, reproduktivno razbolje, učinkovitost konverzije hrane i pojavu bolesti. Također, čini okosnicu za procjenu dobiti i gubitka imajući u vidu tržišne uvjete.

U prošlosti se, prema Walugembe i sur. (2014.), težina svinja procjenjivala vizualnim i taktilnim metodama te mjerenjem tjelesnih dimenzija, dužine i opsega trupa, što je bilo netočno u usporedbi sa stvarnim vrijednostima. Osim toga, ove su metode mjerenja težine bile dugotrajan i intenzivan proces koji je uzrokovao stres te povećavao mogućnost ozljeda za radnike i životinje čime se narušavala dobrobit svinja. Razvojem i unaprjeđenjem tehnologije na farmama je započela primjena elektroničkih platformi za vaganje što se i danas još uvijek koristi. Danas je na tržištu dostupno nekoliko proizvoda za procjenu pojedinačne težine pomoću kamera putem mobilne aplikacije ili računala poput Weight-Detect, Pigwei (Slika 10.), eYeScan, Growth Sensor, OptiSCAN i drugo.



Slika 10. Procjena tjelesne težine pomoću Pigwei uređaja
(Izvor: www.agrifoodat.com)

Provedena su brojna istraživanja za procjenu tjelesne težine svinja, a temelj za razvoj novih metoda mjerenja postavio je Schofield (1990.) devedesetih godina prošloga stoljeća. Naime, on je implementirao neizravnu metodu mjerenja primjenom kamere tako što je snimio slike svinje sa strane i pogleda odozgo pomoću zrcala postavljenog pod kutom od 45° okomito na obor te na taj način prikupio podatke o duljini svinje od repa do lopatice, obujmu, visini leđa i ramena te širini za 15 svinja. Navedenim je istraživanjem predvidio težinu žive svinje sa stopom pogreške $\pm 6,2$ %. Nakon ovog istraživanja, brojni su istraživači koristili CCD kamere

za procjenu značajki kao što su duljina svinja od lopatice do njuške te od repa do lopatice, zatim širina svinja u ramenima u sredini te širina na leđima i granično područje za izračunavanje žive težine.

Kasnije je preko potpuno automatiziranog sustava započela primjena 3D kamera s ciljem lakšeg praćenja žive težine i prirasta. Prema navodima Kongsro (2014.), a kasnije i Cang i sur. (2019.), 3D kamere su radile na principu prikupljanja dubinskih i infracrvenih informacija putem senzora procjenjujući težinu s relativnom pogreškom 0,374 – 4,6 % čime je postignuta pouzdana 3D validacija na temelju dubinskih kamera u odnosu na 2D/CCD slike.

Prema Arulmozhi i sur. (2021.), Wang i sur. (2018.) razvili su sustav za automatsko mjerenje veličine svinje dizajniran na način da izdvaja podatke o širini tijela, širini kukova i visini tijela s manjom relativnom pogreškom. Osim toga, razvili su prijenosni sustav koji uključuje senzor Xtion koji se sastoji od infracrvenog laserskog projektora u kombinaciji s dva optička senzora za RGB snimanje i dubinsko prepoznavanje te računalo za snimanje cjelokupne slike svinje. Takvi sustavi danas su pouzdani za korištenje na razini farmi. Drugačiji pristup u automatskom vaganju svinja izvijestili su Jun i sur. (2018.) koji su razvili model za procjenu težine svinja između 70-120 kg, temeljen na 2D analizi slike, čime su postigli prosječnu pogrešku procjene od 3,15 kg.

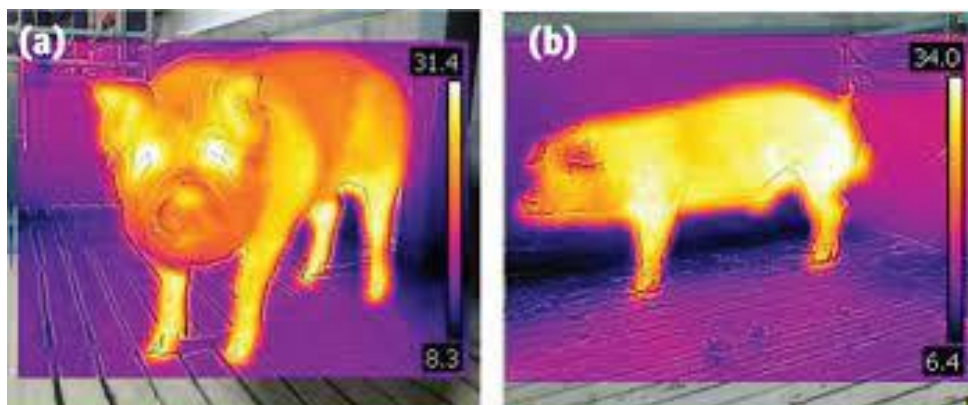
S druge strane, Lu i sur. (2018.) su razvili sustav za procjenu žive težine i svojstava trupova svinja u stvarnom vremenu na temelju slika snimljenih iznad obora, čime su postigli točnost od 97,06 % za parametre dužine i 97,06 % za parametre površine što ukazuje da se ovaj sustav može koristiti za ekstrakciju parametara površine tijela. Također je važno istaknuti da bi se u svrhu poboljšanja zdravlja i dobrobiti svinja ovaj sustav mogao kombinirati s drugim sustavima ranog otkrivanja kao što su analiza zvuka ili RFID senzori.

4.4. Termička analiza

Svinje vole boraviti u zoni toplinske udobnosti ili termoneutralnoj zoni, stoga imaju tendenciju uskladiti svoje ponašanje povećanjem ili smanjenjem gubitka topline kako bi postigle minimalno odstupanje od navedene zone. Primjerice, za vrijeme hladnijih dana vole se skupljati u grupe te spavati jedni uz druge ili jedni na drugima kako bi zadržali toplinu. Dok, s druge strane, u vrijeme ljetnih vrućina više preferiraju ležati na hladnim površinama podalje od ostalih jedinki uz smanjenu konzumaciju hrane te istovremeno povećanu konzumaciju vode. Prema Tzanidakis i sur. (2021.) zona toplinske udobnosti naziva se još i termoneutralna zona, a definira se kao temperatura okoliša unutar koje svinje ostaju produktivne i doživljavaju

optimalno zdravstveno stanje. Budući da nemaju razvijen sustav učinkovitog otklanjanja viška topline, svinje su vrlo osjetljive na ekstremne temperaturne varijacije. Stoga, ukoliko su duže vremenski razdoblje izložene uvjetima izvan termoneutralne zone nastupiti će smanjena konzumacija hranidbe i usporeniji rast, doći će do povećane razine agresivnosti i stresnih stanja čime se uvelike narušava njihova dobrobit.

Prije se unutarnja tjelesna temperatura svinja isključivo mjerila rektalno, no unatoč točnim i pouzdanim podacima, takva je metoda stresna i radno intenzivna i za svinje i za čovjeka. Posljednjih se desetljeća provode istraživanja s ciljem dobivanja pouzdanih podataka o tjelesnoj temperaturi bez značajnih manipulacija životinjom. Samim time, sve je rjeđa primjena utvrđivanja tjelesne temperature svinje rektalnim putem osobito u intenzivnim sustavima. S ciljem smanjenja varijabilnosti temperature okoliša u kojemu svinje borave sve je češća primjena tehnologija precizne stočarske proizvodnje. Između ostalog, Zhang i sur. (2018.) ističu kako je u tu svrhu jedna od ekonomski najisplativijih i najučinkovitijih metoda primjena infracrvene tehnologije kojom je moguće provoditi kontinuirani nadzor toplinske biološke reakcije ili toplinske promjene na tijelu životinje.



Slika 11. Primjena infracrvene termografije za održavanje zdravlja svinja

(Izvor: bvajournals.onlinelibrary.wiley.com)

Termalne se kamere koriste u raznim područjima svinjogojske proizvodnje s ciljem otkrivanja bolesti i estrusa na temelju analize tjelesne temperature, učinkovitog praćenja zdravlja i dobrobiti (Slika 11.). Osim toga, služe i kao alat za utvrđivanje tjelesne temperature umjesto rektalnih termometara, za otkrivanje upala i lezija te utvrđivanje čimbenika degradacije dobrobiti kao što su koncentracije plina i prašine nastale kao rezultat društvene aktivnosti. Naime, važno je zaključiti da se prednosti ovog sustava ogledaju u visokoj temperaturnoj točnosti, stabilnosti te jednostavnosti sustava. Mogućnost daljinskog rada u stvarnom vremenu uvelike olakšava primjenu istog na intenzivnim svinjogojskim farmama. Kako Berckmans

(2014.) navodi, za posljedicu ima poboljšanje dobrobiti i produktivnosti svinja te optimiziranje korištenja izvora energije i hrane čime se poboljšava ekonomski status svinja.

4.4.1. Utvrđivanje pojave estrusa

Sposobnost rasplodivanja od iznimnog je značaja u pogledu dobivanja pomlatka te samim time ostvarenja ekonomske dobiti, no ista je današnjim načinom uzgoja izuzetno izložena okolišnim varijabilnostima koje nerijetko ostavljaju negativne posljedice. Naime, svinje su poliestrične životinje. Spolni ciklus im se javlja svakih 18 do 23 dana, u prosjeku 21 dan. Kako Brajković (2021.) ističe prema Uremović i Uremović (1997.) postoje četiri faze spolnog ciklusa tijekom kojih se na jajnicima i maternici odvijaju određene promjene. Te faze spolnog ciklusa su proestrus, estrus, metaestrus i diestrus. Estrus je razdoblje spolnoga žara u kojemu dolazi do ispoljavanja vanjskih znakova tjeranja i razdoblje u kojemu se javlja ovulacija. Mun i sur. (2022.) ističu kako je kontrola estrusa i ovulacije postao ključan čimbenik u upravljanju cjelokupnog sustava, dok neuspjeh u točnom otkrivanju estrusa ima najveći utjecaj na povećanje radnog opterećenja te broj i veličinu legla. Kako bi se pravovremeno i adekvatno provelo umjetno osjemenjivanje, neophodno je na vrijeme utvrditi pojavu početka estrusa.

Mjerenjem tjelesne temperature sa sigurnošću je moguće utvrditi koje su jedinke u estrusu. Infracrvena termografija predstavlja nedestruktivnu i beskontaktnu metodu za određivanje tjelesne temperature. Osim toga, tehnologija digitalnog infracrvenog termalnog snimanja (DITI) može lako prepoznati i detektirati promjene temperature životinja (Mun i sur., 2022.), stoga bi takve kamere mogle biti nova tehnologija za utvrđivanje estrusa kod krmača i nazimica. Njihovom bi se primjenom postotak uspješnosti utvrđivanja estrusa i pravovremenog osjemenjivanja krmača i nazimica uvelike povećao.

4.5. Agresivno ponašanje

Svinje su izrazito društvene životinje, a razvoj društvene dominacije se javlja od najranije dobi te se ponavlja svakim novim miješanjem nepoznatih skupina. Stoga je, neophodno osigurati dovoljno prostora kako bi se podređene jedinke mogle skloniti od napada dominantnih. Prema Arulmozhi i sur. (2021.) agresivnost svinja temelji se na destruktivnom načinu razmišljanja superiornih svinja prema drugima i traje od nekoliko sekundi do nekoliko minuta, a može doprinijeti ozljedama kože, infekciji, a ponekad i smrtnom ishodu što dovodi do značajnih ekonomskih gubitaka. Osim toga, i agresivne i ozlijeđene svinje ne mogu doći do hrane što dovodi do smanjenja stope rasta. Prvobitno se nadzor agresivnog ponašanja provodio isključivo

ljudskim okom što je zahtijevalo značajne ljudske i materijalne resurse, a kasnije se počeo provoditi primjenom 2D i 3D kamera.



Slika 12. Ozlijede nastale uslijed gríženja repa

(Izvor: www.hapih.hr)

Glavni problem agresivnog ponašanja svinja je gríženje repa. Gríženje repa značajno narušava dobrobit uzrokujući stres zbog boli uslijed čega se smanjuje kvaliteta proizvodnje. Ugrizima nastaju ozlijede koje mogu dovesti do različitih infekcija u organizmu (Slika 12.). D'Eath i sur. (2018.) navode kako bi se smanjila učestalost gríženja repa desetljećima se primjenjuje metoda njihovog kupiranja, no ona nije upotpunosti učinkovita. Stoga su predložili sustav ranog upozorenja za pojavu gríženja repa pomoću 3D kamere. D'Eath i sur. (2018) su istraživanjem, koje su provodili primjenom 3D kamere, utvrdili da postoje četiri značajna simptoma koji mogu predvidjeti rano gríženje repa, a to su rep usmjeren prema dolje, hiperaktivnost, neizvjesnost ponašanja usmjerenog na objekt te ogorčenje koje sprječava žrtve da reagiraju. Položaj repa potvrdili su i primjenom 2D kamere te procjenom ljudskog oka. Provedeno istraživanje imalo je visoku stopu točnosti, no unatoč tomu neophodna su daljnja istraživanja kako bi se navedeni problem u budućnosti suzbio.

4.6. *Analiza zvučnog nadzora*

Vokalizacija, osim što svinjama služi za međusobnu komunikaciju, ljudima pruža informacije o njihovom trenutnom zdravstvenom stanju i statusu dobrobiti. Svinje su društvene životinje, a kako Tzanidakis i sur. (2021.) ističu poznato je da su sklone koordinaciji i sinkronizaciji ponašanja unutar pojedinih skupina, stoga je nerijetka pojava da vokalizacija jedne svinje

potakne ostatak jedinki unutar skupine ili čak svih skupina svinja u zajedničkom prostoru da se umire, ukoče i okrenu prema izvoru zvuka. S ciljem ranog otkrivanja boli, agresivnih stanja, respiratornih bolesti te praćenja općeg zdravstvenog stanja u svinjogojstvu primjenjuju se tehnike i alati precizne stočarske proizvodnje za analizu zvuka kašlja i vokalizacije. Prikupljanje informacija te kontinuirano praćenje osigurava adekvatnu i pravovremenu reakciju ukoliko dođe do pojave problema, no prije svega služi kao preventivan postupak.

Berckmans (2014.) navodi, kašalj je važan pokazatelj bolesti dišnog sustava s obzirom na to da zvuk koji se proizvodi tijekom kašlja ima posebne karakteristike ukoliko je dišni sustav zaražen. Algoritmi za razlikovanje svinjskog kašlja već su potvrđeni. Oni su u početku mogli razlikovati različite zvukove, zatim kašalj i druge zvukove, a njihovim razvojem, danas je moguće razlikovati patološki i ne patološki kašalj.

Provedena su brojna istraživanja s ciljem utvrđivanja točnosti procjene analize zvuka kojima je potvrđeno da je korištenje određenih elemenata ponašanja svinja kroz analizu zvuka izvedivo i da će biti važan dio budućih PLF sustava (Tzanidakis i sur., 2021.). Međutim, istraživanja su uglavnom temeljena na ograničenim podacima, a razvijene aplikacije nemaju široku primjenu zbog visoke nesigurnosti koja dovodi do velikog broja lažnih uzbuna. Stoga bi sustav koji kombirina kameru i audio analizu mogao potencijalno poboljšati suvremene PLF sustave na način da se analizom vokalizacije svinja automatski detektira bol, pružajući uzgajivaču rani signal upozorenja te pomažući u pronalaženju ranog rješenja.

4.7. *Precizna hranidba*

Budući da hrana čini i do 70 % ukupnih proizvodnih troškova svinjogojске proizvodnje, precizna hranidba čini važnu komponentu precizne stočarske proizvodnje (Rauw i sur., 2020.). Ona podrazumijeva upotrebu tehnika preciznog uzgoja koje životinjama osiguravaju hranidbu prilagođenu proizvodnim ciljevima. Preciznom se hranidbom nastoje maksimalno iskoristiti hranjive tvari bez gubitka performansi. Pri tome se, kako Pomar i sur. (2019.) ističu, pružaju pojedinačne količine potrebnih hranjivih tvari uzimajući u obzir promjene u potrebama za hranjivim tvarima koje se javljaju tijekom vremena, kao i varijacije u potrebama za hranjivim tvarima koje postoje među pojedinim životinjama. Premda hranidbeni zahtjevi čine dinamičan proces u funkciji unutarnjih i vanjskih čimbenika životinje, moguće ih je pratiti automatskim mjernim uređajima za prikupljanje i obradu podataka te računalnim metodama kojima se procjenjuju potrebe za hranjivim tvarima pojedine životinje. Naime, preciznom hranidbom nastoji se spriječiti da svinje prime više hranjivih tvari nego im je potrebno, čime se poboljšava

učinkovitost iskorištenja hranjivih tvari, smanjuju se troškovi hranidbe kao i ekološke posljedice izlučivanja viška hranjivih tvari kao što su dušik i fosfor (Pomar i sur., 2009.). Uspjeh njezine primjene uvelike ovisi o automatskom i kontinuiranom prikupljanju, obradi i interpretaciji podataka te kontroli procesa na farmi. Prije svega, prilagodljivost i obučenosť farmera za primjenu novih tehnologija čini temelj uspješne precizne stočarske proizvodnje te samim time i precizne hranidbe svinja.

S ciljem razvoja modela precizne hranidbe neophodan je razvoj novih hranidbenih koncepata i matematičkih modela koji mogu procijeniti potrebe pojedinačnih životinja za hranjivim tvarima u stvarnom vremenu (Pomar, 2019.). Njena primjena na farmi zahtijeva dizajn i razvoj mjernih uređaja kao što su uređaji za određivanje unosa hrane i težine životinje. Zatim, zahtijeva primjenu računalnih metoda poput pravovremene procjene potreba za hranjivim tvarima na temelju stvarnog rasta životinje te zahtijeva sustave hranjenja koji mogu osigurati potrebnu količinu i sastav hrane za životinje.

Unos hrane i vode međusobno su ovisni i linearno povezani te ukoliko nisu dostupni u pravim omjerima ostaviti će negativne posljedice na stopu rasta, osobito u intenzivnom uzgoju. Naime, bez odgovarajuće hranidbe životinje mogu postati depresivne, a ukoliko takvo stanje potraje duže vremensko razdoblje, za posljedicu ima pojavu različitih stereotipija i agresivnog ponašanja. Hranidbeno ponašanje uvelike ovisi o unosu vode, a adekvatnim hranidbenim navikama svinja pospješuje se brzina rasta te se ukazuje na brojne karakteristike kao što su raspoloženje, pojava i rano otkrivanje bolesti. Prema Pomar (2019.), kada je cilj komercijalnog proizvodnog sustava maksimiziranje rasta, hranjive se tvari moraju osigurati na razini koja će omogućiti životinjama da izraze svoj potencijal rasta.

Svinje nerijetko posjećuju hranidbeni stol bez konzumacije hrane što se naziva nenutritivni posjet (NNV), čime navode druge svinje na istu radnju. Samim time nastupaju borbe za hranidbeno mjesto i ozlijede prilikom trčanja i naguravanja (Arulmozhi i sur., 2021.). Prilagodbom hranidbenog plana navedeno se može izbjeći. Osim hranidbenog stola, svinje posjećuju pojilice često na isti način kao i NNV. Većina komercijalnih farmi svinja odabire jednu ili više nipl pojilica za opskrbu vodom u jednom boksu, a ne u posudama. Problem se javlja ukoliko se svinja igra u nipl pojilici jer se tada druge svinje moraju boriti da dođu na red ili će ostati žedne. Kako bi se osigurala odgovarajuća opskrba vodom za svaku svinju, potrebno je pratiti trajanje pijenja i broj posjeta pojilicama.

Prema Arulmozhi i sur. (2021.) RFID oznake osim za identifikaciju svinja imaju značajnu ulogu i u preciznoj hranidbi. Naime, RFID prijammici postavljaju se u blizini hranilica i pojilica kako bi se prikupljale informacije o broju posjeta i njihovom trajanju. Budući da postavljanje

pojedinačnih hranilica i pojilica nije isplativa metoda, najčešće se za to koristi pouzdani sustav kamera.

Iako istraživanja o praćenju ponašajnih obrazaca prilikom konzumacije hrane i vode svinja nisu provedena u velikoj mjeri, do danas su sva praćenja istih provedena pomoću kamera, a uglavnom su to 2D i 3D kamere. Kako Tzanidakis i sur. (2021.) navode, uzgojne tvrtke diljem svijeta koriste elektroničke hranilice za testiranje ponašanja svinja pri hranjenju i rastu te za testiranje performansi svojih pasmina jer su podaci uglavnom vrlo točni te imaju velik potencijal u praćenju društvenog ponašanja svinja u kombinaciji s drugim sensorima. Osim toga, navedeni se sustavi primjenjuju s ciljem utvrđivanja zdravstvenog stanja, mjerenja unosa hrane i kontrole hrane zajedno s procjenom kakvoće mesa.



Slika 13. Primjena tehnologija precizne hranidbe svinja

(Izvor: www.pigprogress.net)

5. PERSPEKTIVA I BUDUĆNOST PRECIZNE POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE U SEKTORU SVINJOGOJSTVA

Budući da je, globalno, svinjsko meso drugo najpoželjnije meso za konzumaciju, povećanje svjetske populacije prati trend povećanja svinjogojske proizvodnje (Tzanidakis i sur., 2021.). Svinjogojska proizvodnja je, kako Tzanidakis i sur. (2021.) ističu, jedan od tehnološki najnaprednijih proizvodnih sektora koji je u kontinuiranom porastu. Posljednjih je godina, diljem svijeta, zabilježen trend porasta broja svinja s istovremenim smanjenjem broja uzgajivača (Tzanidakis i sur., 2021.). Posljedično tome, sve su veće potrebe za radnom snagom jer je uzgajivačima gotovo nemoguće procijeniti svaku pojedinu životinju i osigurati njezinu dobrobit. Budući da je takva proizvodnja izuzetno radno intenzivna, sve se veći broj farmera okreće PLF sustavima s ciljem lakšeg praćenja i upravljanja proizvodnjom.

Razvoj i napredak suvremene tehnologije pružio je čitav spektar mogućnosti. Bežični prijenos podataka lako je dostupan, jeftin je i pouzdan. Također, tehnologije koje su potrebne za razvoj PLF sustava postale su male i dovoljno pouzdane da se mogu primjenjivati u teškim uvjetima stočarske proizvodnje (Berckmans, 2014.). Današnji računalni sustavi mogu kontinuirano pratiti bilo koji parametar od interesa unutar ili izvan boksa za svinje u stvarnom vremenu (Tzanidakis i sur., 2021.), bilo da je riječ o skupinama svinja ili pojedinačnim svinjama. Takvi, automatizirani sustavi dostupni su 24 sata dnevno, sedam dana u tjednu. Stoga, pametna poljoprivredna tehnologija u svinjogojskoj proizvodnji, kako ističu Collins i Smith (2022.), ima značajan potencijal omogućiti vizualizaciju sustava u svrhu predviđanja utjecaja različitih promjena na proizvodnju, zdravlje i dobrobit svinja, kao i samog utjecaja svinja na okoliš u kojemu se nalaze. Važno je istaknuti da su svinje radoznale i sklone istraživanju te će nerijetko uništiti svaki sustav kojemu imaju pristup. Stoga je budućnost PLF sustava u svinjogojskoj proizvodnji usmjerena prema senzorima, kamerama i mikrofonskim sustavima informacijsko komunikacijske tehnologije (Berckmans, 2014.) koji mogu nadzirati i pratiti ponašanje i biološki odgovor na različite podražaje iz okoline te im shodno tomu prilagoditi određene parametre smještaja prema njihovim potrebama. Samim time, PLF ostavlja pozitivan utjecaj na proces proizvodnog lanca.

Danas se još uvijek značajan problem svinjogojske proizvodnje ogleda u varijabilnosti performansi unutar svakog stada koji je nerijetko popraćen velikim gubicima. Osim toga, na velikom broju farmi, zbog nedovoljne informiranosti i obrazovanja, prikupljanje podataka provode stočari koji nakon izvršenog mjerenja podatke unose u niz proračunskih tablica, što

oduzima puno vremena i ima značajnu stopu pogreške. Primjenom automatiziranog sustava za prikupljanje podataka te kontinuiranom edukacijom i informiranjem farmera s ciljem širenja znanja o novim tehnologijama proizvodnje, takve je probleme moguće riješiti. Pametni se poljoprivredni sustavi mogu koristiti za smanjenje varijacija performansi unutar proizvodnje i povećanjem učinkovitosti u sustavu što je ujedno ključno i za održivo financijsko poslovanje (Collins i Smith, 2022.). Posljedično, uzgajivači će imati koristi jer neće ručno prilagođavati uvjete držanja, čime će uštedjeti vrijeme i novac, a takva će se praksa razviti u sustave daljinskog upravljanja (Tzanidakis i sur., 2021.). Osim uzgajivača i farmera, velik broj fizičkih i pravnih osoba ima značajnu korist od PLF sustava u svinjogojstvu, kao što su tvrtke za proizvodnju stočne hrane, istraživači, programeri te brojni drugi. Istraživači i programeri stvaraju znanje o tome kako biološke informacije pretvoriti u matematičke algoritme koji omogućuju implementaciju bioloških znanja u tehničko rješenje, što uvelike doprinosi razvoju sustava. Osim toga, prema Vranken i Berckmans (2017.), udruge farmera također mogu primjenjivati proizvedena znanja za promicanje napora intenzivne svinjogojске proizvodnje prema poboljšanjima u obogaćivanju okoliša, dobrobiti i zdravlju životinja.

S druge pak strane, u komercijalnim je uvjetima neophodno poboljšati učinkovitost i praktičnost ovoga sustava. Nedostatak u primjeni precizne stočarske proizvodnje, kako to ističu Collins i Smith (2022.), se još uvijek ogleda u ograničenoj korisnosti tehnologije. Naime, prikupljeni se podaci ne mogu integrirati i analizirati izravno u standardni softver farme bez podrške namjenskog analitičara podataka što je dostupno uglavnom samo velikim tvrtkama. Osim toga, nedostatak predstavlja i nedovoljna pouzdanost i točnost PLF tehnologija za različite faze proizvodnje zbog nedostatne temeljite i opsežne validacije. Naime, veliki dio podataka koji postoje je skoro pa nemoguće spojiti u širu sliku zbog komplikacija dijeljenja podataka, komercijalne osjetljivosti, vlasništva nad podacima i dopuštenja, što bi se moglo prevladati predkonkurentnim sporazumima o suradnji u pronalaženju funkcionalnih rješenja za složene probleme s ciljem razvoja boljih stočarskih praksi. Posljednji, ali ne manje važan problem predstavlja i visoka razina ulaganja u ove tehnologije što čini značajan rizik budući da je ista tek u razvoju i još nije dokazala svoju vrijednost u stočarskoj proizvodnji. Posljednjih je godina zbog nedostatka znanja i razumijevanja poljoprivrednika o velikim dobrobitima za gospodarstvo, produktivnost rada i produktivnost farme besplatnom isporukom i ugradnjom sustava povećana zainteresiranost i upućenost poljoprivrednika u PLF sustave.

Prema Qi i sur. (2021.) u preciznoj je poljoprivredi nedavno istražen „digital twinning“ koji je definiran kao virtualni model sustava za kombiniranje različitih tehnologija poput umjetne inteligencije, Interneta stvari, proširene stvarnosti, komunikacijske i ugrađene tehnologije,

analitike podataka, sigurnosti i računalstva u oblaku, a služi za projektiranje, nadzor i poboljšanje rada unutar pojedine poljoprivredne proizvodnje. Digital twinning, naime, omogućuje niz manipulacija kojima je moguće utvrditi kako promjene u proizvodnom procesu utječu na rezultate proizvodnje, okoliš, dobrobit i kvalitetu hranidbe na osnovu čega uzgajivači mogu procijeniti održivost proizvodnje. Takav sustav ima dobru perspektivu u primjeni u sektoru svinjogojstva jer bi mogao poslužiti za predviđanje pozitivnih i negativnih promjena unutar same proizvodnje kao i za procjenu potencijalnog profila rizika od bolesti na osnovu varijacija okolišnih čimbenika.

Druga perspektiva PLF sustava ogleda se u uvođenju potkožnih senzora. Iako zakoni još uvijek strogo zabranjuju primjenu takvih tehnologija u uzgoju životinja, brojni znanstvenici smatraju da bi njihova primjena u bliskoj budućnosti imala značajnu ulogu u prikupljanju podataka u svrhu definiranja prihvatljivih zakona u pogledu dobrobiti životinja. Kako Berckmans (2014.) u svojem radu navodi, neke velike tvrtke su u sektoru svinjogojstva već razvile senzor koji može detektirati i liječiti infekciju mjerenjem određenih parametara. Senzor koji se pričvrsti na tijelo svinje pumpa krv kroz sustav te očitava koncentracije i varijacije zaraženih stanica, na osnovu kojih uz pomoć algoritama otkriva o kakvom je problemu riječ. Smatra se da će ovaj tehnološki napredak u budućnosti rezultirati boljom kvalitetom hrane za potrošače te da će imati pozitivan utjecaj na daljnji razvoj humane medicine s ciljem boljeg i bržeg liječenja pacijenata i poboljšanja kvalitete njihova života.

Još jedna perspektiva PLF sustava predstavlja mogućnost izrade aplikacije za automatsku prilagodbu okoliša u stvarnom vremenu na temelju potreba i preferencija svinja. Kako Tzanidakis i sur. (2021.) ističu, trenutni se sustavi mikroklima temelje na unaprijed definiranim vrijednostima zadane temperature i relativne vlažnosti zraka, u kombinaciji sa svakodnevnim iskustvom poljoprivrednika. Naime, ovaj princip nije potpun budući da su vrijednosti temperature i relativne vlažnosti zraka zastarjele te je ista mjerenja neophodno redovito ponavljati. Osim toga, takve metode ne uspijevaju postići toplinsku udobnost za svinje zbog različitih okolnih uvjeta unutar obora. Stoga bi znanstvenici i istraživači PLF-a kontinuiranim praćenjem i analizom trebali pristupiti kontroli okoliša uzimajući u obzir stope mikroklima korištenjem najnovijih biogeneričkih modela i analizu toplinskog ponašanja u stvarnom vremenu te biološke reakcije svinja unutar obora ili promjene ponašanja kao što su posjeti pojilicama i hranilicama.

Globalno promatrajući, dodatnim razvojem PLF sustava moguće je poboljšati uvjete držanja svinja i kvalitetu proizvoda, smanjiti proizvodnju ugljika po životinji čime će se značajno uštedjeti energija za unos, pretvorbu hrane i rast s istovremenom uštedom električne energije

što ostavlja i pozitivan utjecaj na ljudska društva. No, istovremeno razvoj sustava treba biti popraćen kontinuiranim edukacijama farmera kako bi im primjena novih tehnologija bila jasnija i pristupačnija.

6. ZAKLJUČAK

Trend povećanja broja stanovnika iziskuje sve veću potrebu za proizvodnjom svinjskog mesa za prehranu ljudi. Kako bi potrebe bile zadovoljene, posljednjih je godina u sektoru svinjogojstva zabilježeno povećanje brojnog stanja svinja s istovremenim smanjenjem broja farmi i uzgajivača. Na tim je farmama proizvodnja izuzetno radno intenzivna, a kako bi ostala održiva neophodna je primjena sustava i tehnologija precizne stočarske proizvodnje. Takvi sustavi stočarima pružaju mogućnost primjene jednostavnih poljoprivrednih praksi za ostvarenje boljih proizvodnih rezultata. Do danas su razvijeni senzori kao što su kamere, mikrofoni, IRT, RFID te brojni drugi koji omogućuju praćenje okolišnih, fizioloških i bihevioralnih varijabli, osiguravajući pri tome poboljšani status zdravlja i dobrobiti životinja, poboljšana proizvodna i reproduktivna svojstva te smanjen štetan utjecaj na okoliš po jedinici životinje. Iako su ostvarena brojna tehnološka dostignuća koja su već u primjeni, znanstvenici i istraživači teže stvaranju potpuno automatiziranog sustava koji ne zahtijeva ljudsko promatranje, a da su pri tome jednostavni za korištenje, ekonomski održivi, učinkoviti i ekološki prihvatljivi.

7. POPIS LITERATURE

1. Agrifood alternative technologies. https://www.agrifoodat.com/index.php?r=site/blog_detall&id=624. 19.5.2023.
2. Arulmozhi, E., Bhujel, A., Moon, B. E., Kim, H. T. (2021.): The application of cameras in precision pig farming: An overview for swine-keeping professionals. *Animals*, 11(8).
3. Bejteš., A. (2021.): Primjena ICT tehnologije u govedarskoj proizvodnji. Diplomski rad. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek.
4. Benjamin, M., Yik, S. (2019.): Precision livestock farming in swine welfare: a review for swine practitioners. *Animals* 9: 133.
5. Berckmans, D. (2006.): Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. *Livestock Production Science* 1: 287–294.
6. Berckmans, D. (2009.): Automatic on-line monitoring of animal health and welfare by precision livestock farming. In: *European Forum Livestock Housing for the Future*. Lille, France. 155–165.
7. Berckmans, D. (2014.): Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue scientifique et technique* 33: 189–196.
8. Berckmans, D. (2017.): General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers* 7: 6–11.
9. Big Dutchman. Best Reader. <https://www.bigdutchmanusa.com/en/pig-production/products/environmental/controls-and-software/best-reader/> 19.5.2023.
10. Brajković, M. (2021.): Toplinski stres kod krmača u kasnoj gravidnosti i laktaciji. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet. 16-17.
11. Cang, Y., He, H., Qiao, Y. (2019.): An Intelligent Pig Weights Estimate Method Based on Deep Learning in Sow Stall Environments. *IEEE Access*, 7.
12. Collins, L. M., Smith, L. M. (2022.): Smart agri-systems for the pig industry. *Animal* 16.
13. Connolly, A. (2018.): Unlocking the Potential in Pigs with Digital Technology. Objavljeno 7. svibnja 2018. Dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/unlocking-potential-pigs-digital-technology-aidan-connolly>. Pristupljeno: 30.3.2023.
14. D'Eath, R. B., Jack, M., Futro, A., Talbot, D., Zhu, Q., Barclay, D., Baxter, E. M. (2018.): Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. *PLoS ONE*, 13.

15. Dekker, M. (2015.): The Effect of Temperature and Activity Patterns on Lying Behaviour and Space Use in Conventional Housed Fattening Pigs. Master's Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
16. Ekkel, E. D., Spoolder, H. A. M., Hulsegge, I., Hopster, H. (2003.): Lying characteristics as determinants for space requirements in pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 80: 19–30.
17. Fournel, S., Rousseau, A. N., Laberge, B. (2017.): Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming, *Biosystems Engineering*, 155: 96-123.
18. Gantner, V. Upravljanje svinjogojskom farmom temeljem informacijskih programa za donošenje odluka (decision support system - DSS) - Precizno svinjogojstvo. 2020. <https://www.hapih.hr/wp-content/uploads/2020/12/V.Gantner-Upravljanje-svinjogojskom-farmom.pdf>. 19.5.2023.
19. Gebbers, R., Adamchuk, V. I. (2010.): Precision agriculture and food security. *Science*, 327: 828-831.
20. Granatosky, M. C. (2020.): *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*. *Encycl. Animal Behavior and Cognition*.
21. Gronskyte, R., Clemmensen, L. H., Hviid, M. S., Kulahci, M. (2015.): Pig herd monitoring and undesirable tripping and stepping prevention. *Computers and Electronics in Agriculture* 119: 51–60.
22. Halachmi, I., Guarino, M. (2016.): Editorial: precision livestock farming: a 'per animal' approach using advanced monitoring technologies. *Animal* 10: 1482–1483.
23. Hansen, M. F., Smith, M. L., Smith, L. N., Salter, M. G., Baxter, E. M., Farish, M., Grieve, B. (2018.): Towards on-farm pig face recognition using convolutional neural networks. *Computers in Industry*., 98, 145–152.
24. Jančo, N., Jančo, G. Zabrana rezanja repova – posljedice i kako se nositi s tim? 28. i 29.5.2019. <https://www.hapih.hr/wp-content/uploads/2020/11/zbornik-2019-006-002.pdf>. 19.5.2023.
25. Jun, K., Kim, S. J., Ji, H. W. (2018.): Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination. *Computers and Electronics in Agriculture* 153: 169–176.
26. Kashiha, M. A., Bahr, C., Ott, S., Moons, C. P. H., Niewold, T. A., Tuytens, F., Berckmans, D. (2014.): Automatic monitoring of pig locomotion using image analysis. *Livestock Science*, 159: 141–148.

27. Kolarek, M. (2018.): Analiza toplinskih postrojenja primjenom termovizijske kamere. Završni rad, Međimursko veleučilište u Čakovcu.
28. Kongsro, J. (2013.): Development of a computer vision system to monitor pig locomotion. *Open Journal of Animal Science*, 3: 254–260.
29. Kongsro, J. (2014.): Estimation of pig weight using a Microsoft Kinect prototype imaging system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 109: 32–35.
30. Lu, M., Norton, T., Youssef, A., Radojkovic, N., Fernandez, A. P., Berckmans, D., (2018.): Extracting body surface dimensions from top-view images of pigs. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 11: 182–191.
31. Mahfuz, S., Mun, H. S., Dilawar, M. A., Yang, C. J. (2022.): Applications of smart technology as a sustainable strategy in modern swine farming. *Sustainability*, 14(5).
32. Marchant, J., Schofield, C., White, R. (1999.): Pig growth and conformation monitoring using image analysis. *Animals*, 68(1): 141–150.
33. Marsot, M., Mei, J., Shan, X., Ye, L., Feng, P., Yan, X., Li, C., Zhao, Y. (2020.): An adaptive pig face recognition approach using Convolutional Neural Networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173.
34. McFarlane, N. J. B., Schofield, C. P. (1995.): Segmentation and tracking of piglets in images. *Machine Vision and Applications* 8: 187–193.
35. Mesonero Escuredo, J. A., Carr, J., Dizon, R., Howells, M. Using infrared thermography to help maintain pig health. 10.9.2021. <https://bvajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/inpr.100>. 19.5.2023.
36. Mun, H. S., Ampode, K. M. B., Mahfuz, S., Chung, I. B., Dilawar, M. A., Yang, C. J. (2022.): Heat detection of gilts using digital infrared thermal imaging camera. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(10): 2142-2147.
37. National Hog Farmer. What are you „sensing“ in the barn? 2.5.2019. <https://www.nationalhogfarmer.com/livestock-handling/what-are-you-sensing-barn>. 19.5.2023.
38. Pezzuolo, A., Milani, V., Zhu, D. H., Guo, H., Guercini, S., Marinello, F. (2018.): On-barn pig weight estimation based on body measurements by structure-from-motion (SfM). *Sensors*, 18.
39. Pierce, F. J., Nowak, P. (1999.): Aspects of precision agriculture. *Advances in agronomy*, 67: 1-85.

40. Pig Progress. Sustainability through precision swine feeding. 22.10.2020. <https://www.pigprogress.net/specials/sustainability-through-precision-swine-feeding/>. 19.5.2023.
41. Pomar, C., Hauschild, L., Zhang, G. H., Pomar, J., Lovatto, P. A. (2009.): Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38: 226–237.
42. Pomar, C., Van Milgen, J., Remus, A. (2019.): Precision livestock feeding, principle and practice, in *Poultry and Pig Nutrition. Challenges of the 21st Century*, ed. by Hendriks WH, MWA V and Babinszky L. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 397–418.
43. Precision livestock farming: student e – course. 16.8.2016. https://tice.agrocampus-ouest.fr/pluginfile.php/55014/mod_resource/content/17/co/u123.html. 19.5.2023.
44. purespekt. RFID-UHF Animal Identification. <https://www.purespekt.eu/applications/rfid-pig-tagging> 19.5.2023.
45. Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Wang, L., Nee, A. Y. C. (2021.): Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems* 58, 3–21.
46. Rain Alliance. Food Company Pilots UHF RFID to Enhance Pig Life History. 1.2.2017. <https://rainrfid.org/food-company-pilots-uhf-rfid-to-enhance-pig-life-history/> 19.5.2023.
47. Rauw, W. M., Rydhmer, L., Kyriazakis, I., Øverland, M., Gilbert, H., Dekkers, J. C., Hermes, S., Bouquet, A., Gómez Izquierdo, E., Louveau, I., Gomez-Raya, L. (2020.): Prospects for sustainability of pig production in relation to climate change and novel feed resources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(9): 3575-3586.
48. Riekert, M., Klein, A., Adrion, F., Hoffmann, C., Gallmann, E. (2020.): Automatically detecting pig position and posture by 2D camera imaging and deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174.
49. Salles, M. S. V., da Silva S. C., Salles, F. A., Roma, L. C., El Faro, L., Bustos Mac Lean, P. A., Lins de Oliveira, C. E., Martello, L. S. (2016.): Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 62: 63–69.
50. Schofield, C. P. (1990.): Evaluation of image analysis as a means of estimating the weight of pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 47: 287–296.
51. Supakorn, C., Stock, J. D., Garay, E., Johnson, A. K., Stalder, K. J. (2018.): Lameness: A principle problem to sow longevity in breeding herds. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 13.

52. Tzanidakis, C., Simitzis, P., Arvanitis, K., Panagakis, P. (2021.): An overview of the current trends in precision pig farming technologies. *Livestock Science*, 249.
53. Uremović, Z., Uremović, M. (1997.): *Svinjogojstvo*, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
54. Viazzi, S., Oczak, I., Sonoda, M., Fels, L. T., Guarino, M., Vranken, E., Hartung, J., Bahr, C., Berckmans, D., (2014.): Image feature extraction for classification of aggressive interactions among pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 104: 57–62.
55. Vranken, E., Berckmans, D. (2017.): Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers*, 7: 32–37.
56. Walugembe, M., Nadiope, G., Stock, J. D., Stalder, K. J., Pezo, D., Rothschild, M. F. (2014.): Prediction of live body weight using various body measurements in Ugandan village pigs. *Livestock Research for Rural Development*, 26, 20.
57. Wang, K., Guo, H., Ma, Q., Su, W., Chen, L., Zhu, D. (2018.): A portable and automatic Xtion-based measurement system for pig body size. *Computers and Electronics in Agriculture*, 148: 291–298.
58. Wutke, M., Schmitt, A. O., Traulsen, I., Gültas, M. (2020.): Investigation of Pig Activity Based on Video Data and Semi-Supervised Neural Networks. *AgriEngineering*, 2: 581–595.
59. Zhang, L., Gray, H., Ye, X., Collins, L., Allinson, N. (2018.): Automatic individual pig detection and tracking in pig farms. *Sensors* 19: 1188.

8. SAŽETAK

Pretpostavka da će svjetska populacija do 2050. godine iznositi gotovo 10 milijardi ljudi zahtijeva povećanje proizvodnje svinjskog mesa koji je po potrošnji drugo najpoželjnije meso za konzumaciju u svijetu. Takav trend, svinjogojsku proizvodnju čini jednim od tehnološki najnaprednijih proizvodnih sektora koji je u kontinuiranom porastu. Precizna stočarska proizvodnja (PLF) sve je zastupljeniji model u uzgoju svinja, a opisuje sustav upravljanja temeljen na neprekidnom automatskom praćenju i kontroli proizvodnje, reprodukcije, zdravlja i dobrobiti životinja u stvarnom vremenu te utjecaja stočarske proizvodnje na okoliš. Danas postoji širok raspon dostupnih tehnologija, poput 2D i 3D kamera za procjenu tjelesne težine, ponašanja i aktivnosti, termalnih kamera za praćenje tjelesne temperature i utvrđivanje estrusa, mikrofona za praćenje kašlja i vokalizacije, različitih mjernih stanica za praćenje unosa hrane, tjelesne težine i hoda, radio frekvencijske identifikacijske tehnologije za individualnu identifikaciju i praćenje te brojne druge. Kombinacijom i primjenom dostupnih tehnologija moguće je dobiti širok raspon podataka pomoću kojih se stočarima omogućuje automatsko praćenje životinja i stvaranje dodane vrijednosti pomažući u osiguravanju poboljšanog zdravlja, dobrobiti i utjecaja na okoliš. Unatoč tome, PLF sustavi zahtijevaju daljnja istraživanja s ciljem unaprjeđenja tehnologija te stvaranja jeftinih, pristupačnih, ali jednako preciznih modela koji će stočarima osigurati bolju budućnost.

Ključne riječi: svinje, uzgoj, svinjogojstvo, precizna poljoprivreda, precizno stočarstvo

9. SUMMARY

The assumption that the world population will reach nearly 10 billion by 2050 requires an increase in pork production, the second most popular meat for consumption in the world. Such a trend makes pig production one of the most technologically advanced production sectors, which is continuously growing. Precision animal husbandry (PLF) is an increasingly common model in pig farming and describes a management system based on continuous automatic monitoring and control of production, reproduction, animal health and welfare in real time, as well as the impact of animal husbandry on the environment. Today, a wide range of technologies is available, e.g. 2D and 3D cameras to assess body weight, behaviour and activity, thermal cameras to monitor body temperature and determine oestrus, microphones to monitor coughing and vocalisations, various measuring cells to monitor food intake, body weight and gains, radio frequency identification technologies for individual identification and tracking, and many others. By combining and applying available technologies, it is possible to obtain a wide range of data that allow livestock farmers to monitor animals automatically and add value that contributes to improved health, welfare and environmental sustainability. Nevertheless, the systems of PLF require further research with the aim of improving the technology to create cheap, affordable, but equally accurate models that ensure a better future for livestock farmers.

Keywords: pigs, breeding, pig farming, precision agriculture, precision livestock breeding

10. POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz sustava tehnologija precizne stočarske proizvodnje u svinjogojstvu	5
Slika 2. Shematski prikaz povezanosti ključnih elemenata PLF	8
Slika 3. Shematski prikaz principa rada CCD kamera	9
Slika 4. Automatsko otkrivanje položaja i držanja svinja pomoću 2D kamere.....	10
Slika 5. Infracrvena termovizijska kamera.....	12
Slika 6. Princip rada RFID	13
Slika 7. RFID s ušnom markicom	14
Slika 8. Primjena RFID u obliku ušne markice.....	16
Slika 9. Identifikacija lica svinja	17
Slika 10. Procjena tjelesne težine pomoću Pigwei uređaja	19
Slika 11. Primjena infracrvene termografije za održavanje zdravlja svinja	21
Slika 12. Ozlijede nastale uslijed griženja repa.....	23
Slika 13. Primjena tehnologija precizne hranidbe svinja	26

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij, smjer Specijalna zootehnika

Diplomski rad

Precizna poljoprivredna proizvodnja: utjecaj na sektor svinjogojstva

Katarina Marić

Sažetak: Pretpostavka da će svjetska populacija do 2050. godine iznositi gotovo 10 milijardi ljudi zahtijeva povećanje proizvodnje svinjskog mesa koji je po potrošnji drugo najpoželjnije meso za konzumaciju u svijetu. Takav trend, svinjogojstvu proizvodnju čini jednim od tehnološki najnaprednijih proizvodnih sektora koji je u kontinuiranom porastu. Precizna stočarska proizvodnja (PLF) sve je zastupljeniji model u uzgoju svinja, a opisuje sustav upravljanja temeljen na neprekidnom automatskom praćenju i kontroli proizvodnje, reprodukcije, zdravlja i dobrobiti životinja u stvarnom vremenu te utjecaja stočarske proizvodnje na okoliš. Danas postoji širok raspon dostupnih tehnologija, poput 2D i 3D kamera za procjenu tjelesne težine, ponašanja i aktivnosti, termalnih kamera za praćenje tjelesne temperature i utvrđivanje estrusa, mikrofona za praćenje kašlja i vokalizacije, različitih mjernih stanica za praćenje unosa hrane, tjelesne težine i hoda, radio frekvencijske identifikacijske tehnologije za individualnu identifikaciju i praćenje te brojne druge. Kombinacijom i primjenom dostupnih tehnologija moguće je dobiti širok raspon podataka pomoću kojih se stočarima omogućuje automatsko praćenje životinja i stvaranje dodane vrijednosti pomažući u osiguravanju poboljšano zdravlja, dobrobiti, prinosa i utjecaja na okoliš. Unatoč tome, PLF sustavi zahtijevaju daljnja istraživanja s ciljem unaprjeđenja tehnologija te stvaranja jeftinih, pristupačnih, ali jednako preciznih modela koji će stočarima osigurati bolju budućnost.

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: doc. dr.sc. Kristina Gvozdanović

Broj stranica: 39

Broj grafikona i slika: 13

Broj tablica: -

Broj literaturnih navoda: 59

Broj priloga: -

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: svinje, uzgoj, svinjogojstvo, precizna poljoprivreda, precizno stočarstvo

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. doc.dr.sc. Kristina Gvozdanović, mentor
2. izv.prof.dr.sc. Vladimir Margeta, predsjednik
3. izv.prof.dr.sc. Danijela Samac, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

BASIC DOCUMENTATION CARD

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
University Graduate Studies, Special zootehnika**

Graduate thesis

Precision agricultural production: impact on the pig sector

Katarina Marić

Abstract: The assumption that the world population will reach nearly 10 billion by 2050 requires an increase in pork production, the second most popular meat for consumption in the world. Such a trend makes pig production one of the most technologically advanced production sectors, which is continuously growing. Precision animal husbandry (PLF) is an increasingly common model in pig farming and describes a management system based on continuous automatic monitoring and control of production, reproduction, animal health and welfare in real time, as well as the impact of animal husbandry on the environment. Today, a wide range of technologies is available, e.g. 2D and 3D cameras to assess body weight, behaviour and activity, thermal cameras to monitor body temperature and determine oestrus, microphones to monitor coughing and vocalisations, various measuring cells to monitor food intake, body weight and gains, radio frequency identification technologies for individual identification and tracking, and many others. By combining and applying available technologies, it is possible to obtain a wide range of data that allow livestock farmers to monitor animals automatically and add value that contributes to improved health, welfare and environmental sustainability. Nevertheless, the systems of PLF require further research with the aim of improving the technology to create cheap, affordable, but equally accurate models that ensure a better future for livestock farmers.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: Kristina Gvozdanović, PhD

Number of pages: 39

Number of figures: 13

Number of tables: -

Number of references: 59

Number of appendices: -

Original in: Croatian

Key words: pigs, breeding, pig farming, precision agriculture, precision livestock breeding

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. Kristina Gvozdanović, PhD, mentor
2. Vladimir Margeta, PhD, president
3. Danijela Samac, PhD, member

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.