

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Lauksaimniecības fakultāte
Dzīvnieku zinātņu institūts

**VIETĒJO APDRAUDĒTO ŠĶIRŅU EFEKTĪVĀS
POPULĀCIJAS APJOMA IETEKME UZ
INBRĪDINGA PIEAUGUMU**

PĀRSKATS

JELGAVA
2020

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Lauksaimniecības fakultāte
Dzīvnieku zinātņu institūts

**Vietējo apdraudēto šķirņu efektīvās populācijas
apjoma ietekme uz inbrīdinga pieaugumu**

Līgumprojekta Nr. S378
LAD lēmuma Nr. 10 9.1-11/20/1651-e

Iesnieguma reģistrācijas Nr.20-00-SOINV05-000018.

PĀRSKATS

Projekta vadītāja, Dr. agr., profesoreD. Jonkus

SATURS

IEVADS	4
1. PROJEKTA TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS	5
2. PROJEKTA IZPILDĒ IESAISTĪTIE DARBINIEKI UN IZPILDES LAIKA GRAFIKS	6
3. PĒTĪJUMA METODIKA	7
4 PĒTĪJUMA REZULTĀTI	10
4.1. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes populācijas analīze	10
4.1.1. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku skaits un vidējais vecums	10
4.1.2. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku izcelšanās kvalitātes analīze	11
4.1.3. Inbrīdings Latvijas tumšgalves aitu šķirnē	12
4.1.4. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku efektīvās populācijas lielums	16
4.1.5. Vēlamo pāru atlase Latvijas tumšgalves aitu šķirnē	18
4.2. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa populācijas analīze	21
4.2.1. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa šķirnes dzīvnieku skaits un vidējais vecums	21
4.2.2. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa izcelšanās kvalitātes analīze	22
4.2.3. Inbrīdings Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem	23
4.2.4. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku efektīvās populācijas lielums	27
4.3. Latvijas baltās cūku šķirnes populācijas analīze	28
4.3.1. Latvijas baltās cūku šķirnes dzīvnieku skaits	29
4.3.2. Inbrīdings un efektīvās populācijas lielums Latvijas baltās cūku šķirnes populācijā	29
SECINĀJUMI	33
PĒTĪJUMA REZUMĒJUMS	34
PĒTĪJUMA REZULTĀTU PUBLICĒŠANA	35
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	36

IEVADS

Ģenētiskā daudzveidība, ko novērojam dzīvnieku populācijas, ir svarīgs faktors produktu ražošanas tālākai attīstībai un ražošanas procesa efektivitātei. Ģenētiskā mainība piedāvā populācijām resursu, lai tās varētu adaptēties mainīgos ražošanas apstākļos.

Ģenētiskā daudzveidība ir reāla vērtība gan tagad, gan būs tāda arī nākotnē. Specifiskiem vides apstākļiem piemērotu šķirņu trūkums var izraisīt eroziju, ko nevarēs atjaunot. Tāpēc globāli ļoti svarīgs uzdevums ir noteikt prioritātes šķirņu saglabāšanā. Selekcijas stratēģijām, kas piedāvās ģenētiskās daudzveidības saglabāšanu adaptācijai nākotnē, būtu jāpastāv visās audzēšanas shēmās.

Apzinoties ģenētiskās daudzveidības nozīmīgumu, tika pieņemta Riodežaneiro konvencija (Apvienoto Nāciju Organizācija, 1992) par bioloģiskās daudzveidības saglabāšanu. Arī Latvija ir pievienojusies šai konvencijai.

Latvijā par lauksaimniecības dzīvnieku vietējām, apdraudētām šķirnēm, jeb ģenētisko resursu populācijām atzītas: Latvijas brūnās un Latvijas Zilās šķirnes govīs, Latvijas vietējās šķirnes kazas, Latvijas tumšgalves šķirnes aitas, Latvijas Baltās šķirnes cūkas un Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tips.

Pēdējo desmitgažu laikā dažādās valstīs ir veikti pētījumi, lai novērtētu vietējo dzīvnieku šķirņu populāciju lielumu un vērtētu ģenētiskos procesus, kādi notiek vietējās, apdraudētās populācijās.

Iepriekšējā laika periodā Latvijā nav veikta apdraudēto šķirņu efektīvās populācijas un inbrīdinga koeficienta aprēķināšana (izņemot Latvijas zilās šķirnes govīs, 2013. g.), līdz ar to nav skaidrs, kādi pasākumi jāveic, lai vietējās šķirnēs iespēju robežās izvairītos no efektīvās populācijas lieluma samazināšanās un inbrīdinga koeficienta pieauguma.

Latvijas Lauksaimniecības universitātes Dzīvnieku zinātņu institūtā īstenotā projekta "Vietējo apdraudēto šķirņu efektīvās populācijas apjoma ietekme uz inbrīdinga pieaugumu" mērķis bija: Noteikt efektīvās populācijas lielumu un prognozēt iekšaudzēšanas (inbrīdinga) pieaugumu dažādu sugu vietējām apdraudētajām šķirnēm Latvijā.

Pētījuma mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

Apzināt vietējās, apdraudētās šķirnēs (Latvijas tumšgalves šķirnes aitu (LT), Latvijas baltās šķirnes (LB) cūku un Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa) kopējo sievišķo un vīrišķo īpatņu skaitu, un īpatņu skaitu, kuri tiek izmantoti nākamās paaudzes ieguvei.

Noteikt efektīvās populācijas lielumu dažādām šķirnēm.

Veikt iekšaudzēšanas (inbrīdinga) pakāpes noteikšanu vietējās apdraudētajās šķirnēs.

Prognozēt inbrīdinga pieaugumu vietējās apdraudētajās šķirnēs atkarībā no efektīvās populācijas lieluma.

5. Izstrādāt ieteikumus pāru atlases veidošanai vietējās apdraudētajās šķirnēs.

Projekta izpildes otrajā (2020.) gadā, veicām Latvijas tumšgalves aitu šķirnes vecā tipa, Latvijas baltās cūku šķirnes un Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa efektīvās populācijas lieluma un inbrīdinga izvērtēšanu.

1. PROJEKTA TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS

Pētījumos ir pierādīts, ka daudzas no Eiropā esošajām ģenētisko resursu populācijām ir apdraudētas nelielā dzīvnieku skaita dēļ. Turklāt ne visi populācijās esošie dzīvnieki ir iesaistīti pēcnācēju radīšanā. Tādēļ, analizējot ģenētiskos procesus populācijās, vispirms ir jānoskaidro, katras saglabājamās šķirnes efektīvās populācijas lielums (N_e), tas ir dzīvnieku skaits, kuri piedalās pēcnācēju radīšanā. Mazās populācijās dzīvnieku skaits, kuri piedalās pēcnācēju radīšanā, ir ierobežots, līdz ar to samazinās populācijas ģenētiskā daudzveidība. Ģenētiskās daudzveidības novērtēšanai ir nepieciešama informācija par dzīvnieku izcelšanos. Izcelšanās datu analīze ir laba metode, lai pārbaudītu populācijas ģenētisko struktūru un aprakstītu ģenētisko daudzveidību populācijās. Mazās populācijās pārojamie dzīvnieki var būt savstarpēji radnieciski, cēlušies no kopīga priekšteča. Radnieciskiem dzīvniekiem pastāv iespēja no kopējā priekšteča saņemt vairākas vienādas alēles noteiktos gēnu lokusus. Ilgstoši veicot radniecisku dzīvnieku pārošanu, populācijā palielinās ģenētiskā homozigotība, kas var radīt paaugstinātu ģenētisko mutāciju fenotipisko izpausmi.

Lai noskaidrotu radniecīgu dzīvnieku pārošanas rezultātā iegūtā pēcnācēja gēnu homozigotības pieaugumu, jau 1922. gadā zinātnieks S. Raits (S. Wright, 1922) ieteica formulu inbrīdīngā koeficienta (F_x) aprēķināšanai. Inbrīdīngs palielina varbūtību, ka pēcnācējiem varēs iedzimt identiska alēle no mātes un tēva puses. Rezultātā var samazināties heterozigotība populācijas indivīdos, un pēcnācēju un vecāku ģenētiskā līdzība būs lielāka par 0.50 vai 50%. Palielinoties inbrīdīngā koeficienta vērtībai, kvantitatīvo pazīmju vidējās vērtības parasti samazinās, ko sauc par inbrīdīngā depresiju (Gulisija, Gianola, Weigel, 2007). Ja tiek pāroti radniecīgi dzīvnieki, piemēram, pusbrālis ar pusmāsu, jeb pussībi, vai vecaistēvs ar mazmeitu, tad to pēcnācējiem inbrīdīngā koeficients būs 12.5%. Ja F_x ir 25%, tad pāroti vecāki ar bērniem vai māsas ar brāļiem (Swartz, Massey, 2007). Zinātnieki noskaidrojuši, ka inbrīdīngā depresija ietekmē pasliktinās dzīvnieku produktīvās un reproduktīvās īpašības. Piemēram, tiek ietekmēta buļļu auglība un spermas kvalitāte (Margulis, Walsh, 2002). Govīm samazinās produktivitāte, auglība, dzīvi dzimušo teļu skaits, tai pašā laikā palielinās apsēklošanas un veterinārās izmaksas, kā arī vērojamas dažādas ģenētiskās kļūdas (Leory, 2014; Ferenčakovič, Solkner, Kapš et al., 2017; Martikainen, Sironen, Uimari, 2018).

Tāpēc daudzās valstīs dzīvnieku ģenētisko resursu populācijās paredzēta pastāvīga aktīvo vaislas populāciju uzraudzība aprēķinot N_e un F_x .

Audzējot dzīvniekus, ieteicams saglabāt N_e vismaz no 50 līdz 100 (Meuwissen, 1999; Sorensen et al., 2005). Tāpēc, lai īstenotu ģenētisko uzlabošanu, izšķiroša nozīme var būt efektīvās populācijas lielumam (N_e) un regulārai inbrīdīngā kontrole (Ponzoni et al., 2010).

2. PROJEKTA IZPILDĒ IESAISTĪTIE DARBINIEKI UN IZPILDES LAIKA GRAFIKS

Projekta izpildē iesaistīti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības fakultātes Dzīvnieku zinātņu institūta, Lauksaimniecības datu centra un SIA Genosoft darbinieki.

Kopā projektā izpildē piedalījās pieci darbinieki (2.1.tabula).

2.1.tabula

Projektā iesaistītie darbinieki

Vārds, uzvārds	Amats, zinātniskais grāds	Zinātniskā institūcija	Darba slodze (procentos) un konkrētie pienākumi
Daina Jonkus	Prof., vadošā pētniece, Dr. agr.	LLU Dzīvnieku zinātņu inst.	20%, projekta vadītāja, datu apkopošana un interpretācija
Līga Paura	Prof., vadošā pētniece, Dr. agr	LLU Vadības sistēmu katedra	20% datu bāžu pielāgošana un datu matemātiskā apstrāde
Anna Veidemane	Asistente, LLU LF 3. kursa doktorante	LLU LF	20%, zirgu datu bāzes precizēšana
Ingus Grauziņš	Asistents Bc. Informācijas tehn.	LDC	20% datu bāzes sagatavošanas no LDC pieejamās informācijas
Gatis Kalniņš	Biometrists,	SIA Genosoft	20% cūku datu bāzes sagatavošana no SIA Genosoft

Projekta izpildei 2020. gadā tika piešķirti 10 000.00 EUR.

Projekta izpildes laika grafiks un veicamie darba uzdevumi redzami 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Projekta izpildes laika grafiks 2020. gadā

Darba uzdevumi	Darba uzdevumu īstenošanas laiks (gada mēneši)						
	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Literatūras studijas, projekta rakstīšana, pētījuma plānošana	X						
Datu bāzes veidošana par LT s aitu, LB cūku šķirnes un Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku izcelsmi 5 līdz 6 paaudzēs	X	X	X				
Datu bāžu pielāgošana programmas prasībām		X	X	X			

Datu matemātiskā apstrāde, efektīvās populācijas lieluma aprēķināšana		X	X	X	X		
Datu matemātiskā apstrāde, inbrīdīga koeficienta aprēķināšana		X	X	X	X		
Zinātniskā raksta gatavošana un iesniegšana				X	X	X	
Projekta rezultātu apkopošana un interpretācija, noslēguma atskaites sagatavošana, iesniegšana un prezentēšana ZM					X	X	X

Datu bāzu veidošana sākta jūlija un augusta mēnešos. Datu bāžu izveide un pielāgošana specializētai datorprogrammai, un aprēķinu rezultāti veikti jūlija, augusta, septembra un oktobra mēnešos.

Projektā iesaistītā 3. kursa doktorante Anna Veidemane izstrādā savu promocijas darbu par Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa efektīvās populācijas lieluma un inbrīdīga ietekmi uz zirgu eksterjera un darba spēju vērtējumu.

3. PĒTĪJUMA METODIKA

Pētījums par vietējo apdraudēto šķirņu populācijas struktūru, efektīvās populācijas lielumu, inbrīdīga (iekšaudzēšanas) pakāpes noteikšanu un inbrīdīga pieauguma prognozēšanu 2020. gadā tika veikts Latvijas tumšgalves (LT) aitu šķirnes vecā tipa, Latvijas baltās (LB) cūku šķirnes un Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa (LSb) dzīvniekiem.

Datu bāzes veidotas izmantojot, Lauksaimniecības datu centrā (LDC) un SIA Genosoft uzkrāto informāciju par minēto vietējo apdraudēto šķirņu sievišķajiem un vīrišķajiem dzīvniekiem, kuri uz 2020. gada 1. jūliju bija dzīvi, kā arī viņu vecākiem četrās (piecās) priekšteču paaudzēs.

Populācijas struktūras analīzei, inbrīdīga koeficienta (F_x) noteikšanai un efektīvās populācijas (N_e) lieluma aprēķināšanai Aitām un zirgiem tika izmantota brīvi pieejamā programmatūra POPREP, ko izstrādājusi zinātnieku grupa E. Groenevelde vadībā (Groeneveld et al., 2009., <http://popreport.fli.de>).

Latvijas balto cūku šķirnes inbrīdīgs un efektīvās populācijas lielums noteikts, balstoties uz CFC (Contribution, Inbreeding (F) and Coancestry) programmu “CFC: a tool for monitoring genetic diversity” (Sargolzaei, Iwaisaki, Colleau, 2006)

Abās programmās aprēķinu veikšanai, datu bāze tika sakārtota piecās kolonnās, kurā iekļāva sekojošo informāciju: dzīvnieks, dzīvnieka tēvs, dzīvnieka māte, dzīvnieka dzimšanas gads un dzimums.

100002653	100002652	100002651	2002-01-01	F
100002654	100002650	100002653	2004-02-08	M
100002672	100002836	100002837	1989-03-24	M
100002673	100002672	100002783	1992-02-19	M
100002674	100002673	unknown_dam	1993-03-28	F

Pirmās kolonnas informācija sākotnēji iekļauj sevī dzīvnieka numuru, kā arī dzīvnieka 4-5 paaudžu priekšteču informāciju. Ja izcelšanās informācija dzīvniekam nav zināma, tad tēvs vai māte, vai abi divi ir nedefinēti, kā nav zināmi (unknown_dam, unknown_sire).

Pirmās kolonnas informācija tika kārtota sekojoši, izmantojot 5 paaudžu informāciju:

1. paaudze	Dzīvnieks
2. paaudze	M
	T
3. paaudze	MM
	MT
	TM
	TT
4. paaudze	MMM
	MMT
	MTM
	MTT
	TMM
	TMT
	TTM
TTT	
5. paaudze	MMMM
	MMMT
	MMTM
	MMTT
	MTMM
	MTMT
	MTTM
	MTTT
	TMMM
	TMMT
	TMTM
	TMTT
	TTMM
	TTMT
TTTM	
TTTT	

Lielai daļai dzīvnieku bija pieejama informācija arī par 6. priekšteču paaudzi.

Populācijas dzīvnieku izcelšanās informācijas kvalitāte tika analizēta pēc izcelšanās informācijas nokomplektēšanas pa gadiem (pedegree completeness). Analīzei izmantoja izcelšanās komplektēšanas indeksu (edigree completeness index), kas tika noteikt pēc MacCluer et al. (1983) algoritma (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4283186/>)

$$I_d = \frac{4I_{dpat} \times I_{dmat}}{I_{dpat} + I_{dmat}} \quad (1)$$

kur *pat*, *mat* – tēvs, māte

$$I_{dk} = \frac{1}{d \sum a_i} \quad (2)$$

kur

k - dzīvnieka mātes vai tēva līnija;

a_i - zināmu priekšteču īpatsvars paaudzē *i*;

d - sameklēto priekšteču paaudžu skaits.

Priekšteču paaudžu pilnīguma koeficients ir robežās no 0 līdz 1. Ja visi priekšteči ir zināmi, tad $I_d = 1$, ja viens no vecākiem nav zināms, tad $I_d = 0$.

Efektīvās populācijas lieluma N_e noteikšana balstīta uz priekšteču skaitu un noteikta pēc formulas (Folconer & Mackay, 1996):

$$N_e = \frac{4N_m \times N_f}{N_m + N_f} \times 0.7, \quad (3)$$

kur

N_m un N_f tēvu un māšu skaits paaudzē.

Otra metode efektīvās populācijas lieluma N_e noteikšanai balstīta uz pēcnācēju un viņu vecāku vidējo inbrīdīngā koeficientu (F), kuri dzimuši noteiktā gadā:

$$N_e = \frac{1}{2 \Delta F} \quad (4)$$

ΔF – inbreedēšanas ātrums paaudzē (ΔF) tika aprēķināts pēc formulas

$$\Delta F = \frac{F_t - F_{t-1}}{1 - F_{t-1}} \quad (5)$$

kur

F_t – inbrīdīngs paaudzē *t*;

F_{t-1} – inbrīdīngs iepriekšējā paaudzē.

Lai noskaidrotu ieteicamos pārus nākošās paaudzes ieguvē tika izmantota programma CFC: *a tool for monitoring genetic diversity*” (Sargolzaei, Iwaisaki, Colleau, 2006), kur vīriešu kārtas vaisliniekiem tika piemeklētas sievietes kārtas vaislinieces.

Iegūtie datu apstrādes rezultāti sakārtoti attēlos un tabulās un analizēti atskaites 4. nodaļā – pētījuma rezultāti.

4. PĒTĪJUMA REZULTĀTI

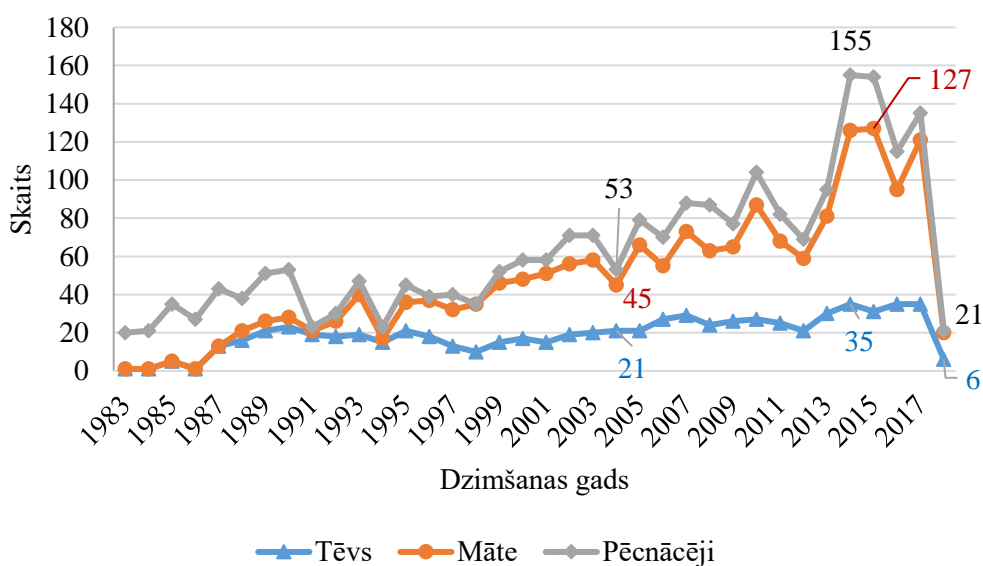
4.1. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes populācijas analīze

Latvijas tumšgalves aitu populācijas dinamiku nosaka laika gaitā izmantoto vaislas dzīvnieku skaits, kas sadalīts pa gadiem un šo dzīvnieku izcelšanās informācija, kuru izmanto radniecības noskaidrošanai. Populācijas ilgtspēju raksturo efektīvās populācijas lielums.

4.1.1. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku skaits un vidējais vecums

Datu bāzē iekļauti Latvijas tumšgalves aitu šķirnes abu dzimumu dzīvnieki, kuru LT asinība ir 100%, tajā skaitā 502 sieviešu un 46 vīriešu kārtas dzīvnieki, pamatojoties uz Latvijas aitu audzētāju asociācijas sniegto informāciju.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku populācijas struktūras analīzē kopā iekļauti 2295 dzīvnieki, kuri dzimuši no 1976. līdz 2018. gadam. Laikā no 1976. līdz 1982. gadam dzimis 31 dzīvnieks un tiem dzīvniekiem nav ziņu par izcelšanos, tādēļ tālākajos pētījumos izmantoti dzīvnieki, kuri dzimuši sākot ar 1983. gadu (4.1. att.).

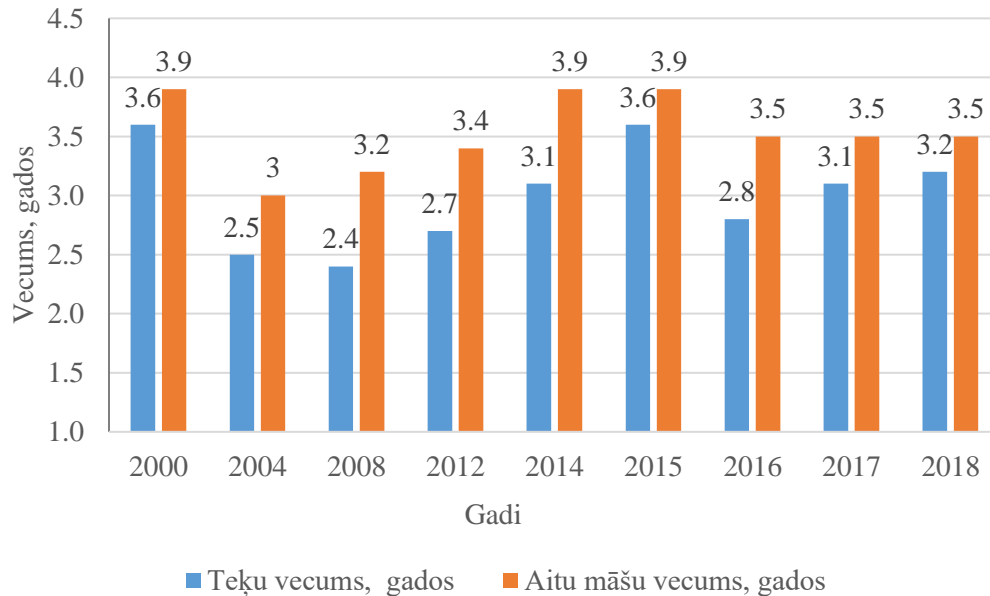


4.1. att. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku sadalījums pēc pēcnācēja dzimšanas gada.

Vaislas dzīvnieku un to pēcnācēju skaits Latvijas tumšgalves aitu populācijā sāka palielināties no 2000. gada, kad sāka pievērst uzmanību ģenētiskās daudzveidības saglabāšanai. Pirmā Latvijas tumšgalves aitu ciltsdarba programma tika apstiprināta 2004. gadā, kad populācijā dzīvnieki, kas atbilst ģenētiskajiem resursiem un no kuriem iegūti pēcnācēji bija: 21 tēķis, 45 aitu mātes un 53 pēcnācēji. Katru gadu sākot, no 2013. gada iegūts lielākais pēcnācēju skaits - 2013. gadā – 95, 2014. gadā 155. Pēdējā 2018.

gadā Latvijas tumšgalves aitu šķirni papildināja 21 dzīvnieks, kas piedzima 20 aitu mātēm, un to tēvi bija 6 vaislas teķi.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnē aitu māšu un tēvu (teķu) vidējais vecums pēcnācēja dzimšanas gadā dots 4.2. attēlā.



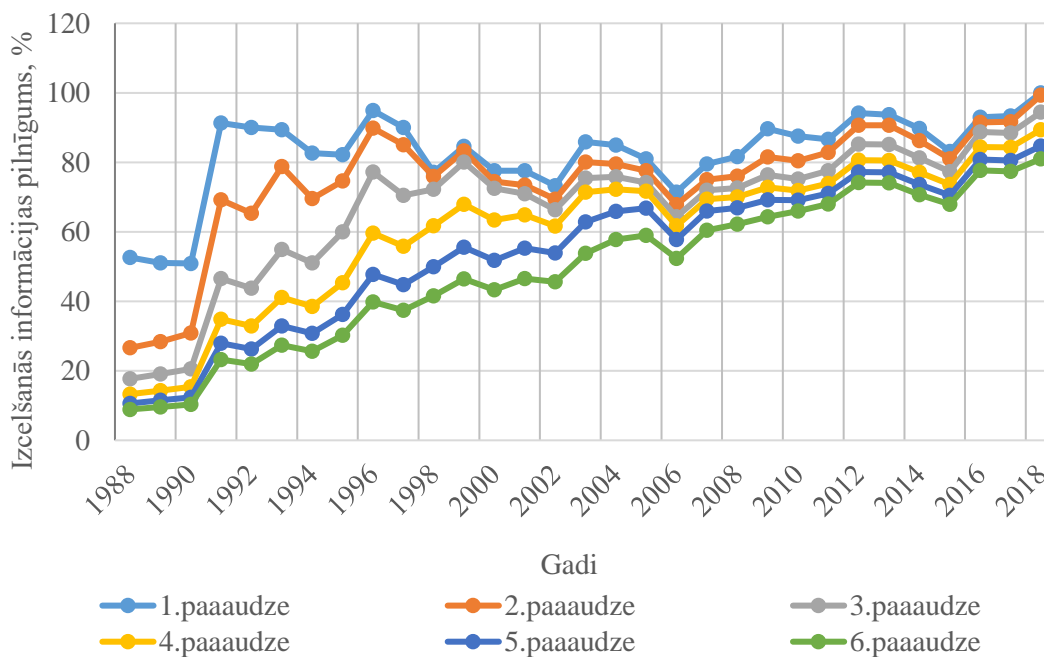
4.2. att. Vidējais vecums aitu mātēm un tēviem pēcnācēja dzimšanas gadā Latvijas tumšgalves aitu šķirnē.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnē aitu tēvi (teķi) ir bijuši jaunāki par aitu mātēm visā pētījuma periodā. Attēlā redzams, ka teķu vidējais vecums pa gadiem variēja no 2.4 gadiem (2008. gadā) līdz 3.6 gadiem 2015. gadā. Vecākās aitu mātes (vidēji 3.9 gadi) pēcnācēja dzimšanas laikā bija 2000., 2014. un 2015. gadā, jaunākās aitu mātes (vidēji 3.0 gadi) bija 2004. gadā. LT teķu un aitu māšu vidējais vecums pa gadiem bijis mainīgs, tas liecina, ka ģenētisko resursu populācija tiek papildināta ar jauniem vaislas dzīvniekiem.

4.1.2. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku izcelšanās kvalitātes analīze

Aprēķini par dzīvnieku inbridēšanas (iekšaudzēšanas) pakāpi lielā mērā atkarīgi no tā, cik pilnīga un precīza ir informācija par priekšteču paaudzēm.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku ciltsrakstu pilnīguma komplektējums dots 4.3. attēlā.



4.2.att. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku vidējais ciltsrakstu pilnīgums (*pedigree completeness*,%) pēc dzimšanas gada no 1. līdz 6. paaudzei.

Informācija par dzīvnieku izcelšanos iegūta no 1983. gada. Tomēr no 1983. līdz 1987. gadam 1. paaudzē izcelšanās informācija nepārsniedza 28%, priekšteču paaudzēs tā bija vēl mazāka. Sākot ar 1988. gadu 1. paaudzē, tas ir dzimušā dzīvnieka izcelšanās informācija pārsniedza 50%, tas liecina, ka dzīvniekam, visticamāk, bija zināma māte. Dzīvnieka izcelšanās informācija pa gadiem bijusi mainīga un sākot ar 2012. gadu pārsniegusi 90%, bet 100% izcelšanās informācija fiksēta 2018. gadā dzimušajam 21 dzīvniekam. Attēlā redzams, ka ar 2012. gadu 90% izcelšanās informācija bijusi arī 2. paaudzes priekštečiem, 3. priekšteču paaudzē izcelšanās informācijas pilnīgums bija no 77.3% 2015. gadā līdz 94.4% 2018. gadā. Jo tālāka priekšteču paaudze, jo nepilnīgāka ir informācija par priekšteču izcelšanos.

4.1.3. Inbrīdings Latvijas tumšgalves aitu šķirnē

Latvijas tumšgalves aitu šķirnē kopā analizēti 2295 dzīvnieki laikā no 1976. līdz 2018. gadam. No analizētajiem dzīvniekiem 1178 jeb 51.3% bija iekšaudzēti jeb inbrīdēti, bet 1117 dzīvnieki jeb 48.7% nebija inbrīdēti, tas ir to vecāki, vecvecāki un tālākās priekšteču paaudzes nav bijušas radniecīgas.

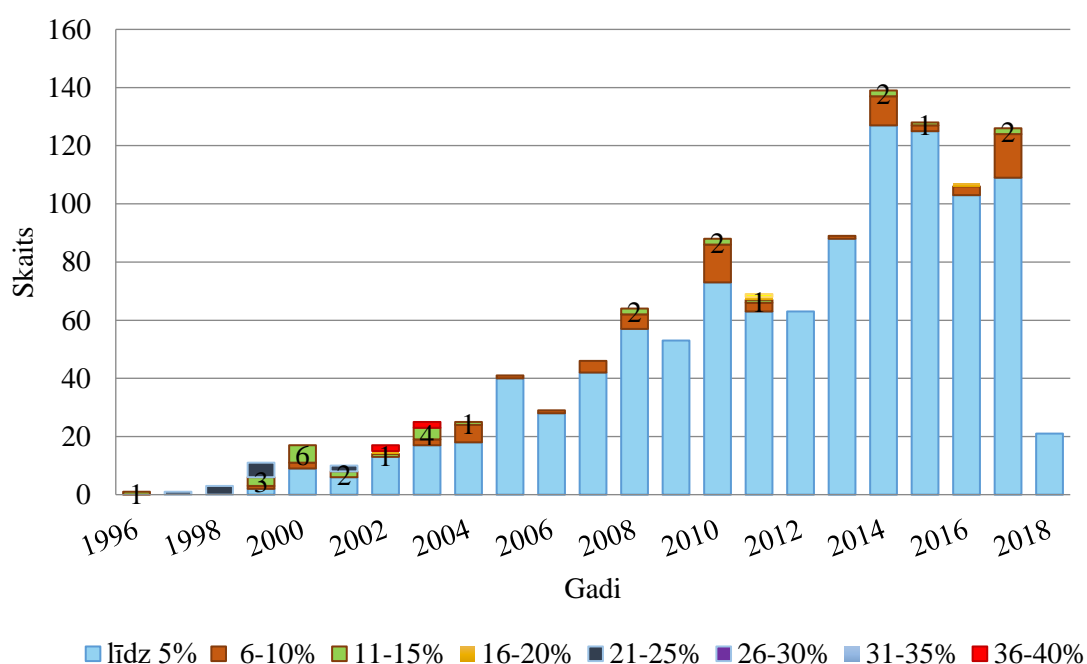
Tabulā 4.1. dots Latvijas tumšgalves dzīvnieku sadalījums pēc inbrīdīngā koeficienta vērtības. Lielākam dzīvnieku skaitam (1058 jeb 46.10%) inbrīdīngs nebija lielāks par 5.0%, ko uzskata par pieļaujamu inbrīdīngā koeficientu.

Izcelšanās informācija liecina, ka 69 dzīvniekiem inbrīdīngā koeficients bija no 6 līdz 10%, bet 51 dzīvniekam inbrīdīngā koeficients bija no 11 līdz pat 40%, kas uzskatāms par ciešu inbrīdīngā, un nebūtu pieļaujams selekcijas darbā.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku sadalījuma pēc inbrīdīga koeficienta

F, %	Skaitis	% no visiem dzīvniekiem
0	1117	48.68
līdz 5	1058	46.10
6 -10	69	3.01
11 - 15	29	1.26
16 - 20	3	0.13
21 - 25	14	0.61
26 - 30	1	0.04
31 - 35	0	0
36 - 40	4	0.17
Kopā	2295	100.00

Novērtēts arī Latvijas tumšgalves inbrīdēto dzīvnieku sadalījums pēc inbrīdīga (iekšaudzēšanas) koeficienta vērtības un dzimšanas gada (4.4. att.).



4.4.att. Iekšaudzēto dzīvnieku sadalījums pēc gada (1996-2018) un inbrīdīga koeficienta.

Var secināt, ka no 1997. līdz 2003. gadam atsevišķiem dzīvniekiem inbrīdīga koeficients pārsniedza 21%, tajā skaitā 2002. un 2003. gadā 4 dzīvnieku inbrīdīga koeficients bija robežās no 36 līdz 40%, kas ir nepieļaujami ciešs inbrīdings. Dzīvnieku skaits ar inbrīdingu līdz 5% ar katru gadu palielinās. To var skaidrot ar to, ka Latvijas tumšgalves aitu vecā tipa dzīvnieku populācija ir ierobežota un galvenais mērķis ir šo dzīvnieku saglabāšana.

Tabulā apkopots inbridēto (iekšaudzēto) dzīvnieku skaits pa gadiem no visiem dzimušajiem dzīvniekiem (4.2. tab.).

4.2. tabula

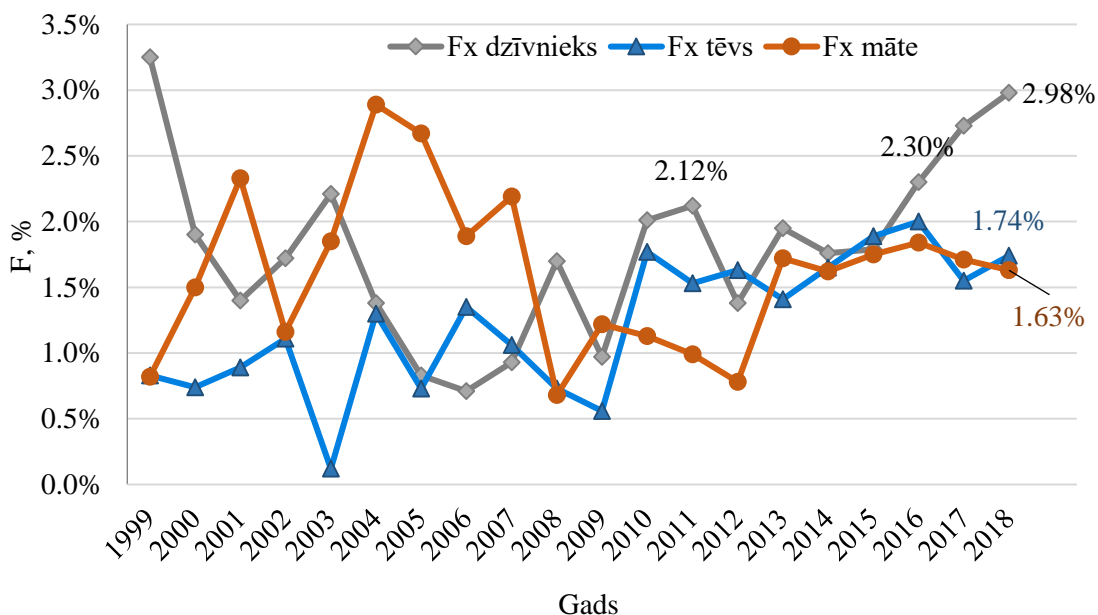
Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzimušo un inbridēto dzīvnieku skaits un īpatsvars pa gadiem

Gads	Dzimušo skaits	Inbridēto skaits	Inbridētie % no dzimušajiem
1976-1995	487	5	1.0
1996	39	1	2.6
1997	40	1	2.5
1998	35	3	8.6
1999	52	11	21.2
2000	58	17	29.3
2001	58	10	17.2
2002	71	17	23.9
2003	71	25	35.2
2004	53	25	47.2
2005	79	41	51.9
2006	70	29	41.4
2007	88	46	52.3
2008	87	64	73.6
2009	77	53	68.8
2010	104	88	84.6
2011	82	69	84.1
2012	69	63	91.3
2013	95	89	93.7
2014	155	139	89.7
2015	154	128	83.1
2016	115	107	93.0
2017	135	126	93.3
2018	21	21	100

Laikā no 1976. līdz 1995. gadam,, piedzima 487 dzīvnieki, un tikai 5 vai 1.0% bija inbridēti. Ar katru gadu pieaug Latvijas tumšgalves aitu šķirnes ģenētiskajiem resursiem atbilstošo dzimušo dzīvnieku skaits un pieaug arī inbridēto skaits. Tā 2016. un 2017. gadā piedzima attiecīgi 115 un 135 dzīvnieki, no kuriem inbridēti bija 107 un 126, jeb 93 un 93.3% no dzimušajiem. 2018. gadā dzimušie dzīvnieki visi bija vairāk vai mazāk inbridēti.

Populācijā dzimušajiem dzīvniekiem inbrīdīngas koeficients var palielināties, ja pārojamie vecāki ir radniecīgi dzīvnieki. Pārojot savā starpā radniecīgus dzīvniekus, populācijās samazinās ģenētiskā mainība, kas var negatīvi ietekmēt populācijas dzīvnieku auglību un izturību pret slimībām.

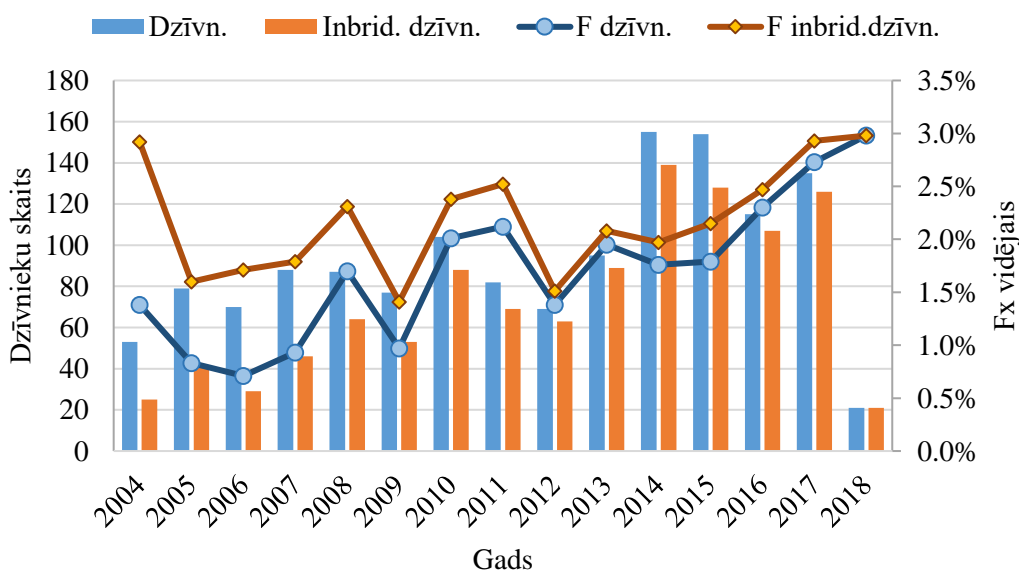
Latvijas tumšgalves aitu šķirnes vidējie inbrīdīngas koeficienti dzīvniekiem, kā arī tēviem (teķiem) un aitu mātēm pa gadiem doti 4.5. attēlā.



4.5.att. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku un to priekšteču vidējais inbrīdīga koeficients pa gadiem.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnes vidējais inbrīdīga koeficients tēviem 2016. gadā bija 2.0%, pārējos gados tēvu Fx ir mazāks par 2%. Sākot ar 2008. gadu, aitu mātēm inbrīdīga koeficients pēdējo desmit gadu laikā ir bijis mazāks par 2%. Vidējais inbrīdīga koeficients no 2016. līdz 2018. gadam dzimušajiem dzīvniekiem ir lielāks par 2.0%, ar tendenci katru gadu palielināties (attiecīgi no 2.30 līdz 2.98%).

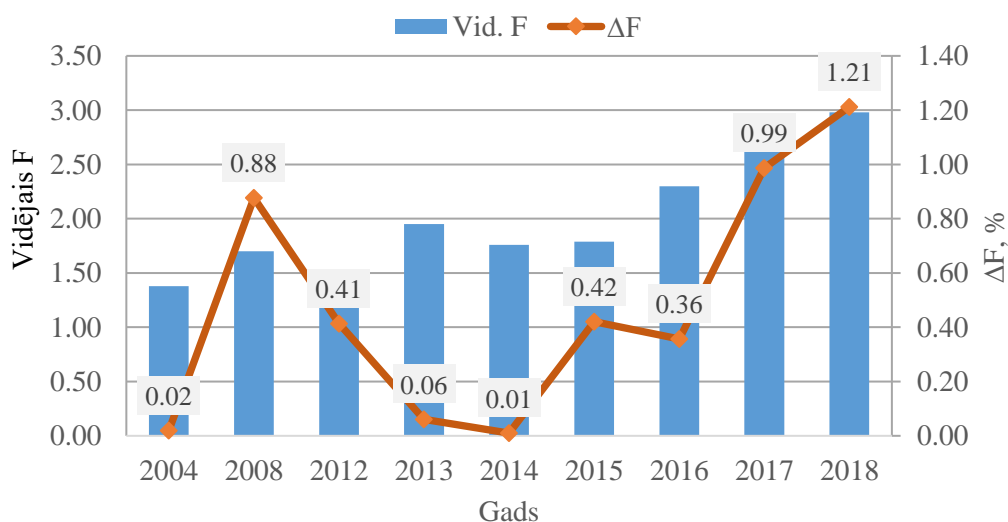
Tika salīdzināts visu Latvijas tumšgalves šķirnes visu un inbrīdēto dzīvnieku skaits un vidējais inbrīdīga koeficients sākot no 2004. gada (4.6. att.).



4.6. att. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes visu un inbrīdēto dzīvnieku skaits un vidējie inbrīdīga koeficienti pa gadiem.

Ģenētisko resursu saglabāšanas programmā iekļauto dzīvnieku kopējais skaits, kopš pirmās ciltsdarba programmas apstiprināšanas 2004. gadā ir pieaudzis no 53 līdz 155 dzīvniekiem 2014. gadā. Inbridēto dzīvnieku skaits ir bijis mazāks, tikai 2018. gadā gan kopējais, gan inbridēto skaits bija vienāds 28 dzīvnieki. Vidējais inbrīdīngs koeficients gan visiem, gan inbridētajiem dzīvniekiem pēdējo trīs gadu laikā palielinās un sākot ar 2016. gadu pārsniedz 2.0%. Vidējais inbrīdīngs koeficients 2016. gadā visiem dzīvniekiem bija 2.30%, bet inbridētajiem dzīvniekiem tas bija lielāks – 2.47%. 2017. gadā vidējais inbrīdīngs koeficients palielinājās attiecīgi 2.73% un inbridētajiem dzīvniekiem - 2.93%. Vēl pēc gada inbrīdīngs koeficients palielinājās līdz 2.98%. un bija vienāds, jo visi dzimušie un vaislai izmantotie dzīvnieki bija inbridēti.

Tika noskaidrots, kāds inbrīdīngs pieaugums (ΔF) bijis paaudzes laikā (4.7. att.). Noskaidrots, ka paaudžu maiņas intervāls pa gadiem bija no 4.3 gadiem 2015. gadā līdz 3.0 gadiem 2017. un 2018. gadā.



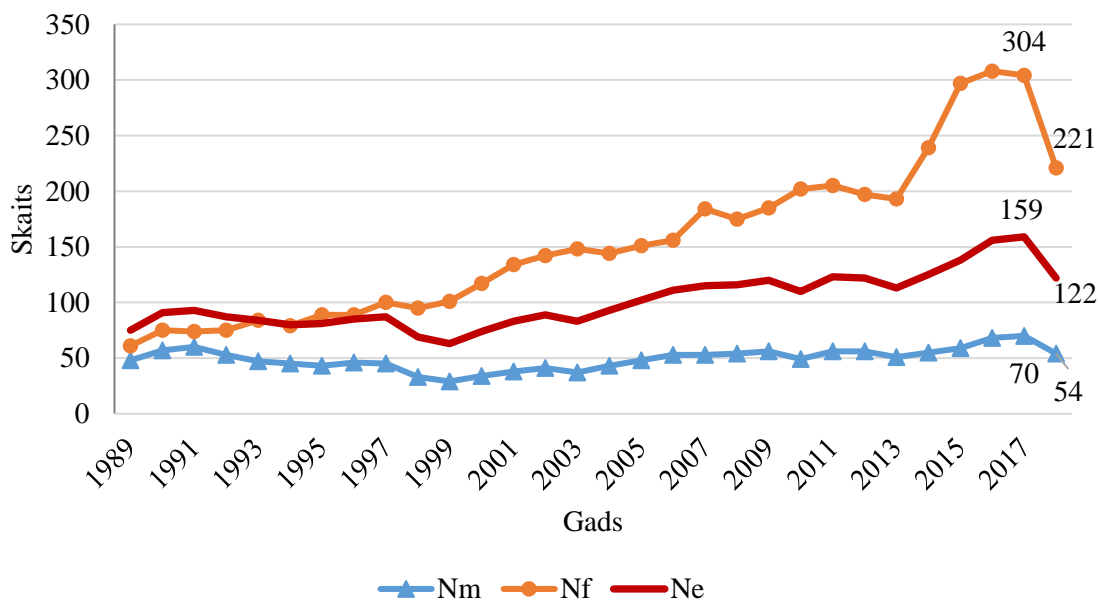
4.7. att. Vidējais inbrīdīngs un inbrīdīngs pieaugums (ΔF , %) Latvijas tumšgalves aitu šķirnē paaudzes laikā.

Vidējais inbrīdīngs pieaugums paaudzes laikā bija 1.21%, kas izrēķinot katru gadu būtu 0.40%, ja saglabājas iepriekš minētais vīrišķo un sievišķo īpatņu skaits, kuri piedalās vaislas dzīvnieku radīšanā un iepriekš minētais paaudžu maiņas intervāls.

Ciltsdarba speciālistiem būtu jāņem vērā pārojamo vecāku inbrīdīngs, plānojot Latvijas tumšgalves aitu šķirnes saglabāšanas programmas īstenošanu.

4.1.4. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes dzīvnieku efektīvās populācijas lielums

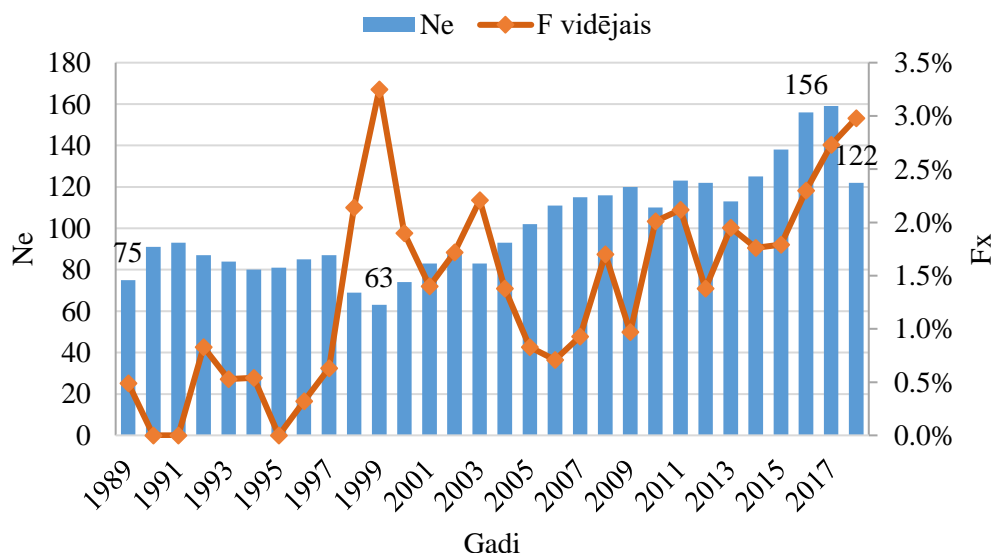
Efektīvās populācijas lielums (N_e) ir atkarīgs no pāru atlasē izmantojamo vīrišķo un sievišķo īpatņu skaita. N_e aprēķināts balstoties uz priekšteču skaitu (3. formula), redzams 4.8. attēlā.



4.8. att. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes efektīvās populācijas lieluma (N_e) izmaiņas pa gadiem, balstoties uz sievišķo (N_f) un vīrišķo (N_m) īpatņu skaitu.

Augstākais efektīvās populācijas lielums (159 dzīvnieki) bija 2017. gadā, bet 2018. gadā N_e samazinājās uz 122 dzīvniekiem, jo samazinājies teķu un aitu māšu skaits, no kuriem iegūti pēcnācēji vaislai. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes efektīvās populācijas lielums pēdējo 10 gadu laikā nav bijis zemāks par 100 dzīvniekiem. Balstoties uz citu valstu pētījumiem, N_e kritiskā robeža ir 50.

Efektīvās populācijas lielums ietekmē inbrīdīga koeficienta izmaiņas mazās populācijās (4.9. att.).



4.9. att. Latvijas tumšgalves aitu šķirnes efektīvās populācijas lielums N_e un populācijas vidējais inbrīdīga koeficients F pa gadiem.

Attēlā redzams, ka mazākais efektīvās populācijas lielums (63 dzīvnieki) bija 1999. gadā, kas veicināja radniecīgāku dzīvnieku pārošanu un inbrīdīga

(iekšaudzēšanas) pieaugumu ($F_x=3.25\%$). No 2015. līdz 2017. gadam efektīvās populācijas lielums ir palielinājies no 138 līdz 156 dzīvniekiem, taču vidējais inbrīdīga koeficients, šajos gados arī ir palielinājies no 1.79 līdz 2.73%. Tas ir tādēļ, ka lai arī aitu māšu un tēvu skaits pieauga, tomēr, šie vaislas dzīvnieki, bija vairāk vai mazāk inbrīdēti. Apskatot 4.2. tabulu, var redzēt, ka ar katru gadu palielinās inbrīdēro dzīvnieku skaits no visiem dzimušajiem – tas deva nelielu inbrīdīga pieaugumu vidēji populācijā.

4.1.5. Vēlamo pāru atlase Latvijas tumšgalves aitu šķirnē

Pētījumā noskaidrots, visu dzīvo vaislinieku vēlamie pārojumi ar aitu mātēm, par pamatu ņemot savstarpējo radniecību starp pārojamiem vecākiem un gaidāmā pēcnācēja inbrīdīga koeficientu. Tabulā (4.3. tab.) apkopota informācija par dzīvo teķu vēlamo, un nevēlamo pārojumu skaitu ar aitu mātēm.

4.2. tabula

Latvijas tumšgalves šķirnes teķu vēlamo un nevēlamo pārojumu skaits

Nr. p. k.	Teķa datu bāzes kods	Aitu māšu skaits ar kurām	
		var veikt pārošanu	nevar veikt pārošanu
1	292350	14	585
2	326939	62	537
3	336714	82	517
4	345687	29	570
5	379240	12	587
6	382318	19	580
7	382330	24	575
8	389357	28	571
9	392563	13	586
10	403563	25	574
11	406910	24	575
12	409105	19	580
13	413885	146	453
14	425196	7	592
15	425241	13	586
16	447290	17	582
17	456943	20	579
18	457047	21	578
19	458020	8	591
20	460668	582	17
21	463671	37	562
22	463730	41	558
23	472567	16	583
24	472992	429	170
25	478654	14	585
26	481259	14	585

27	481323	12	587
28	515351	17	582
29	515562	26	573
30	516721	65	534
31	516722	160	439
32	529849	28	571
33	534340	7	592
34	534455	153	446
35	534509	136	463
36	534529	76	523
37	534533	343	256
38	534569	422	177
39	535282	15	584
40	541649	24	575
41	551847	39	560
42	580513	31	568
43	580530	10	589
44	580551	23	576
45	585781	19	580
46	602309	13	586
47	608115	15	584
48	612744	7	592
49	617618	23	576
50	628944	21	578
51	628951	8	591
52	649815	214	385
53	655124	100	499
54	669638	10	589
55	669640	50	549
56	669775	14	585
57	669847	13	586
58	683118	12	587
59	700165	480	119
60	708795	20	579
61	708796	7	592
62	729267	11	588
63	736694	13	586
64	736732	10	589
65	736816	10	589
Kopā		4373	34562

Apkopota informācija par 65 teļiem, gan tiem, kas dzimuši 2010. gadā, gan arī tiem, kas dzimuši 2018. gadā un tikko uzsāk vaislas darbību. Vēlamo pārojumu skaits teļiem ir atšķirīgs – mazākais māšu skaits ir 7, lielākais - 480 aitu mātes no kopā 599, ar kurām var veikt pārošanu.

Nākamajā tabulā (4.4. tab.) dots pāru atlasē piemērs trīs teļiem. Zinot programmas datu bāzes numurus, ir piemēklēti aitu māšu identitātes numuri. Tas ir samērā darbietilpīgs process, ko var veikt ciltsdarba speciālists.

Sagaidāmais pēcnācēja inbrīdīngs koeficients vēlamajā pāru atlasē

Nr. P. k.	Teļa datu bāzes kods	Aitu mātes datu bāzes kods	R, %	Fx pēctecim %	Teļa ID	Aitu mātes ID
1.	292350	311845	0.45	0.20	LV060213031807	LV026141230168
	292350	334791	1.2	0.60	LV060213031807	LV048775231641
	292350	334857	1.79	0.90	LV060213031807	LV048775231707
	292350	355921	1.35	0.70	LV060213031807	LV048787230672
	292350	446683	1.25	0.60	LV060213031807	LV061252930338
	292350	462012	1.83	0.90	LV060213031807	LV061652730142
	292350	533213	1.25	0.60	LV060213031807	LV061252930995
	292350	533475	1.25	0.60	LV060213031807	LV061252931257
	292350	534079	0.81	0.40	LV060213031807	LV039000334328
	292350	534142	1.57	0.80	LV060213031807	LV039000334391
	292350	534185	1.7	0.80	LV060213031807	LV039000334434
	292350	534221	1.57	0.80	LV060213031807	LV039000334470
	292350	535691	1.53	0.80	LV060213031807	LV018697631057
	292350	637945	0.89	0.40	LV060213031807	LV062011230363
2.	425241	311845	0.7	0.40	LV060207430806	LV026141230168
	425241	355921	1.44	0.70	LV060207430806	LV048787230672
	425241	446683	1.99	1.00	LV060207430806	LV061252930338
	425241	516659	1.83	0.90	LV060207430806	LV062011230049
	425241	533213	1.99	1.00	LV060207430806	LV061252930995
	425241	533475	1.99	1.00	LV060207430806	LV061252931257
	425241	534079	1.06	0.50	LV060207430806	LV039000334328
	425241	534142	1.82	0.90	LV060207430806	LV039000334391
	425241	534185	1.73	0.90	LV060207430806	LV039000334434
	425241	534221	1.82	0.90	LV060207430806	LV039000334470
	425241	535691	1.91	1.00	LV060207430806	LV018697631057
	425241	585736	1.83	0.90	LV060207430806	LV062011230207
	425241	637945	0.63	0.30	LV060207430806	LV062011230363
	3.	612744	334791	1	0.50	LV048552232306
612744		334857	1.89	0.90	LV048552232306	LV048775231707
612744		446683	1.71	0.90	LV048552232306	LV061252930338
612744		533213	1.71	0.90	LV048552232306	LV061252930995
612744		533475	1.71	0.90	LV048552232306	LV061252931257
612744		637945	0.72	0.40	LV048552232306	LV062011230363
612744		638032	1.35	0.70	LV048552232306	LV062011230450

Pāru atlase veikta ar mērķi, lai radniecības koeficients (R) starp aitu māti un teķi nepārsniedz divus procentus, tad inbrīdīngs koeficients iegūtajam pēctecim nebūs lielāks par 1%.

Pirmo teķi ieteicams pārot ar 14 aitū mātēm, otro teķi ar 13, bet trešajam teķim datorprogramma piemeklēja tikai 7 aitū mātes.

Lai ierobežotu inbrīdīngā pieaugumu un nodrošinātu, ka populācijā saglabājas zems inbrīdīngs (līdz 5%), kas veicina ģenētiskās daudzveidības saglabāšanos, svarīgi precīzi reģistrēt dzīvnieku izcelšanos.

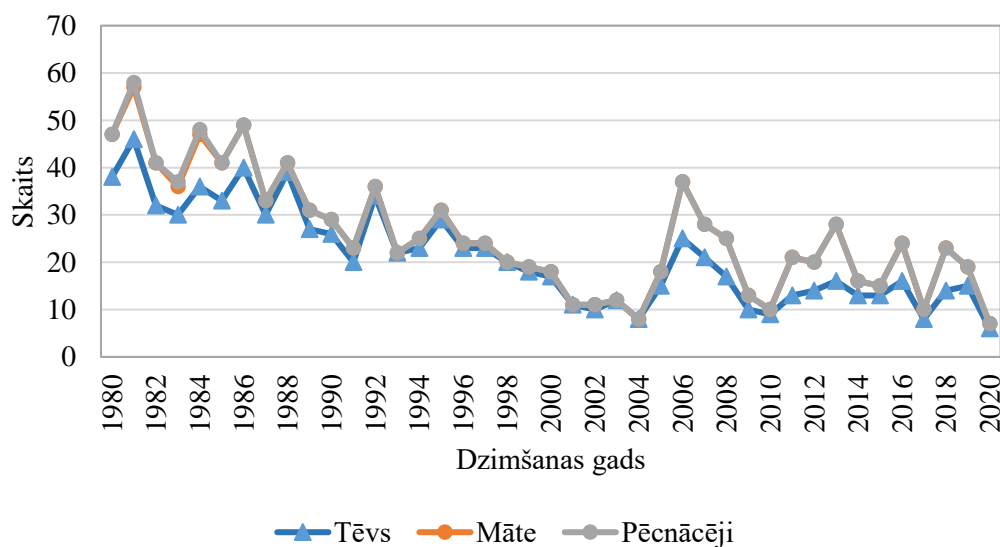
Lai arī faktiskais populācijas lielums Latvijas tumšgalves aitū šķirnē nav sasniedzis kritisko līmeni (50 dzīvnieki), ir nepieciešams rūpīgi veikt atlases darbu, lai Latvijas tumšgalves aitū šķirnes ģenētisko resursu dzīvniekiem saglabātu ģenētisko mainību.

4.2. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa populācijas analīze

Pētījumā tika veikta Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa zirgu populācijas dinamikas analīze, noskaidrojot izmantoto vaislas dzīvnieku skaitu, dažādos gados un šo dzīvnieku izcelšanās informāciju, kuru izmantoja radniecības noskaidrošanai. Pētījuma laikā tika noteikts arī efektīvās populācijas lielums. Analizētajā LSb populācijā dzīvi bija 2811 dzīvnieki, no tiem 1780 bija sievišķie un 1031 vīrišķais dzīvnieks.

4.2.1. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku skaits un vidējais vecums

Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa datu bāzē tika iekļauti visi dzīvnieki, kuru šķirnes apzīmējums ir LSb un kuri ir dzimuši un ir dzīvi uz 2020. gada 1. jūniju, kā arī to priekšteči 5 paaudzēs. Izcelšanās informācija Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem atrodama līdz 1927. gadam. Noslēguma atskaitē izmantoti dati par īsāku periodu, sākot no 1980. gada. Pa gadiem dzimušo pēcnācēju un vecāku skaits dots 4.10. attēlā.

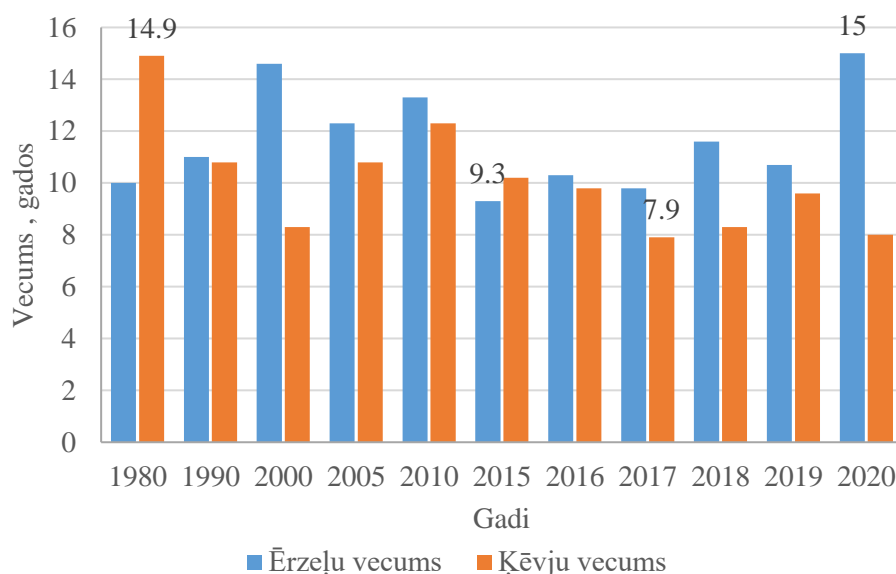


4.10. att. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku sadalījums pēc pēcnācēja dzimšanas gada.

Mazākais dzimušo pēcnācēju skaits bija 2004. gadā, kad 8 mātēm piedzima 8 pēcnācēji, kuru tēvi bija 8 zirgi. Pēdējos desmit gados mazākais iegūto pēcnācēju skaits LSB šķirnē bija 2017. gads, kad piedzima 10 pēcnācēji. Dzimušo pēcnācēju un māšu skaits ir identisks, tādēļ attēlā nav redzama taisne, kas attēlotu māšu skaitu. Takai 7 pēcnācēji ir piedzimuši 2020. gadā, tomēr jāņem vērā, ka tie ir dati par gada pieciem mēnešiem.

Veicot aprēķinus, analizēta arī vecāku vecuma struktūra pēcnācēja dzimšanas laikā. Vidējā vecuma struktūra dota 4.11. attēlā.

Jāsecina, ka ķēves bijušas jaunākas par ērzeļiem. Ķēvju vidējais vecums pēcnācēja dzimšanas laikā bija no 7.9 līdz 14.9 gadiem un ērzeļu vidējais vecums no 9.3 līdz 15 gadiem.



4.11. att. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa vaislas dzīvnieku vidējais vecums pēcnācēja dzimšanas laikā.

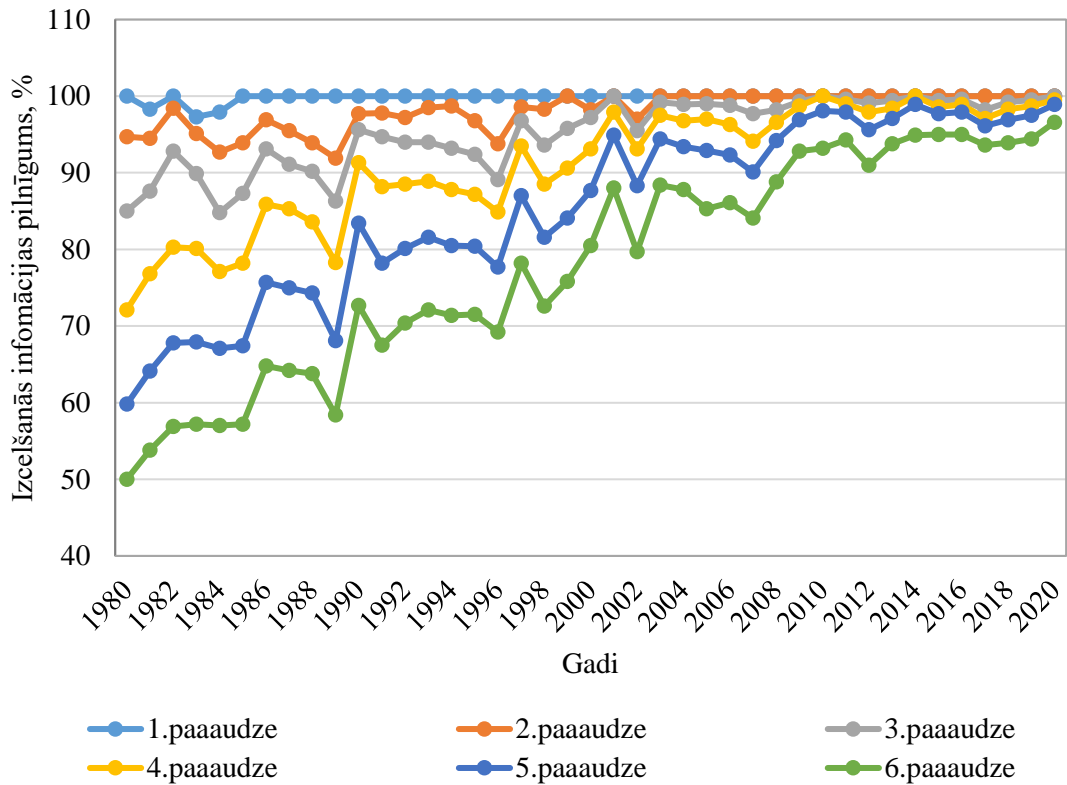
No datu bāzes var secināt, ka vairākos pētījuma gados jaunzirgi par tēviem kļuvuši jau divu gadu vecumā, bet par mātēm 3 gadu vecumā. Vecākie tēvi un mātes bija vecāki par 16 gadiem.

4.2.2. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa izcelšanās kvalitātes analīze

Aprēķini par dzīvnieku inbrīdēšanas (iekšaudzēšanas) pakāpi lielā mērā atkarīgi no tā, cik pilnīga un precīza ir informācija par priekšteču paaudzēm.

Latvijas siltasiņu zirgu braucamā tipa dzīvnieku izcelšanās dati atrodami sākot no 1927. gada. Attēlā 4.12. apkopota informācija par ciltsrakstu pilnīguma komplektējumu sākot ar 1980. gadu.

Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku 1. paaudzes izcelšanās informācija, sākot ar 1985. gadu, ir 100% un arī otrai paaudzei ir zināma 100% informācija sākot no 2003. gada. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes izcelšanās informācija arī 3., 4. un pat 5. paaudzē pārsniedz 90%.



4.12.att. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku vidējais ciltsrakstu pilnīgums (*pedigree completeness, %*) pēc dzimšanas gada no 1. līdz 6. paaudzei.

Līdz ar to var secināt, ka izcelšanās informācija ir pilnīga, kas nodrošina precīzāku radniecības noskaidrošanu starp pārojamiem dzīvniekiem un precīzāku pēcnācēju inbrīdīngā jeb iekšaudzēšanas koeficienta noteikšanu.

4.2.3. Inbrīdīngs Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem

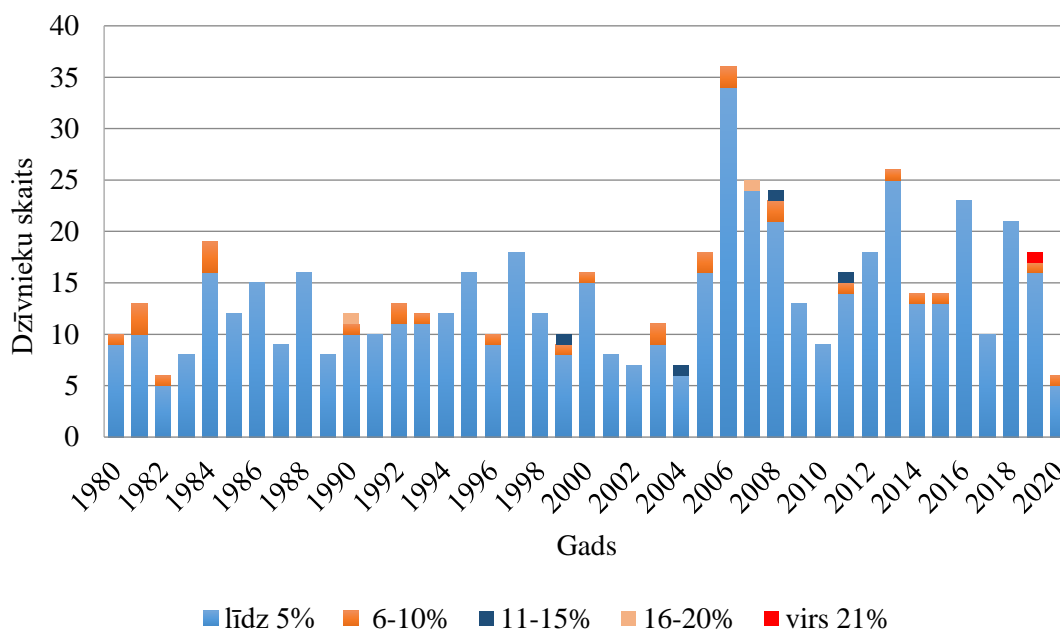
Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipā kopā izmantoti 3098 d dzīvnieki, kuriem noteikts inbrīdīngā jeb iekšaudzēšanas koeficients. Noskaidrots, ka 79.8% no visiem analizētajiem dzīvniekiem inbrīdīngs nav novērots, tātad tie nav bijuši radniecīgi (4.5. tabula).

Inbrīdīngs līdz 5% novērots 573 jeb 18.5% no visiem analizētajiem dzīvniekiem. Lielāks inbrīdīngs novērots tikai nelielam skaitam dzīvnieku, tā 6 līdz 10% inbrīdīngs bija tikai 1.26%, bet koeficients lielāks par 10% bija kopā 15 dzīvniekiem, kas sastāda tikai 0.5% no visiem analizētajiem šīs šķirnes dzīvniekiem.

Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku sadalījuma pēc inbrīdīga koeficienta

F, %	Skaitis	% no visiem dzīvniekiem
0	2471	79.76
līdz 5	573	18.50
6 -10	39	1.26
11 – 15	9	0.29
16 – 20	4	0.13
21 – 25	1	0.03
26 – 30	1	0.03
Kopā	3098	100

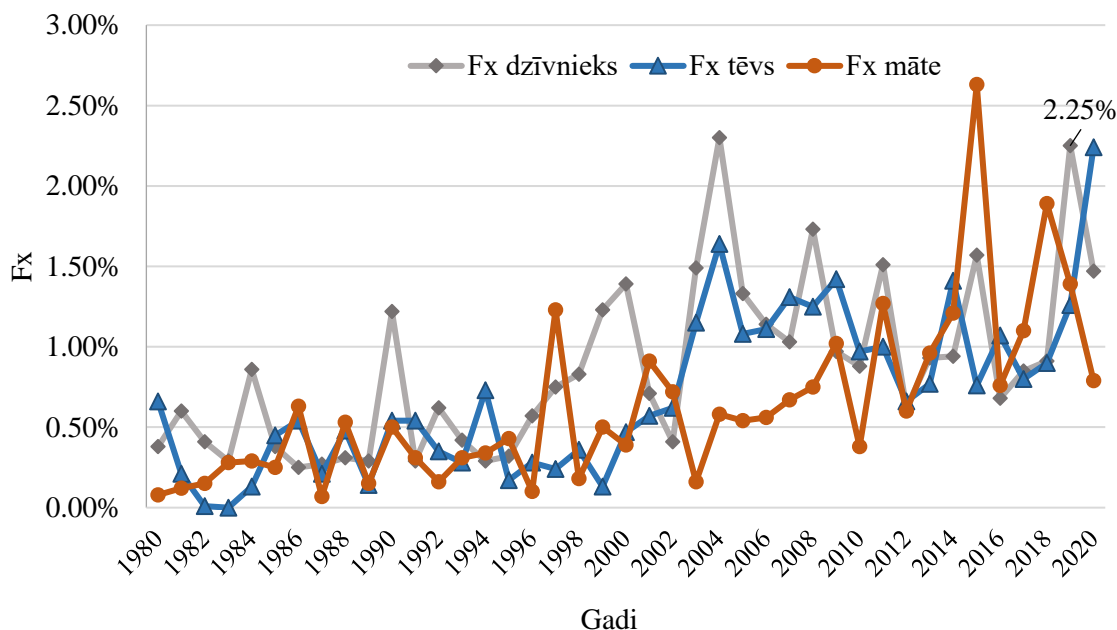
Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa inbrīdēto dzīvnieku skaits pēc inbrīdīga koeficienta vērtības dots 4.13 attēlā.



4.13.att. Inbrīdēto dzīvnieku sadalījums pēc dzimšanas gada (1980-2020) un inbrīdīga koeficienta.

Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipā lielākai daļai dzīvnieku inbrīdīga koeficients bija līdz 5%. Tikai atsevišķiem dzīvniekiem novēroti augstāki inbrīdīga koeficienti. Pēdējo desmit gadu laikā ir vairāki gadi (2009., 2010., 2012., 2016., 2017. un 2018.) kad dzimušajiem pēcnācējiem inbrīdīngs bijis zems - līdz 5%.

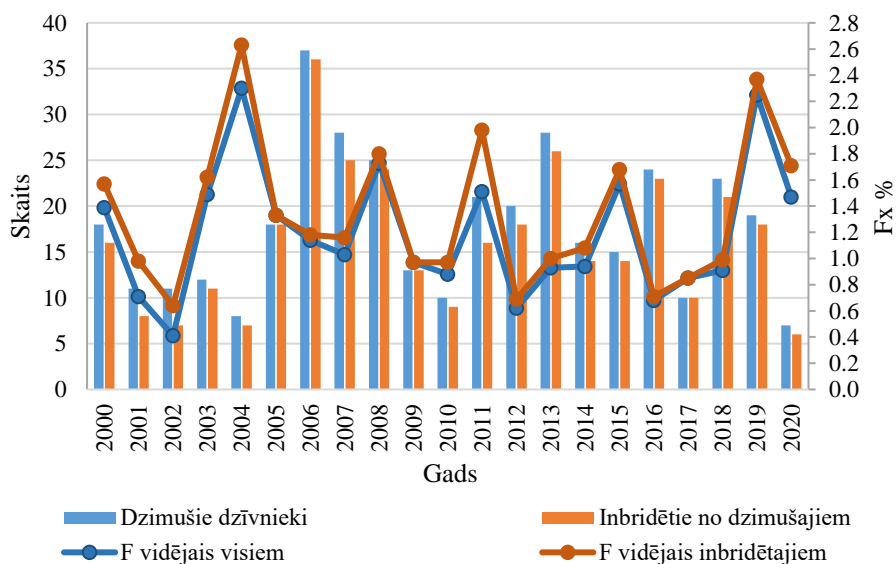
Vidējais inbrīdīga koeficients populācijā atkarīgs no veiktās pāru atlasē. Vidējie inbrīdīga koeficienti pa gadiem vaislā izmantojamām ķēvēm, ērzeļiem un dzimušajiem kumeļiem redzami 4.14. attēlā.



4.14. att. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes dzīvnieku un to priekšteču vidējais inbrīdīga koeficients pa gadiem.

Inbrīdīga koeficienti pa gadiem ir bijuši mainīgi, tomēr ar tendenci nedaudz palielināties pēdējo desmit gadu laikā.

Salīdzināts, Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes visu un inbrīdēto dzīvnieku skaits un vidējais inbrīdīga koeficients sākot no 2000. gada (4.15. att.).

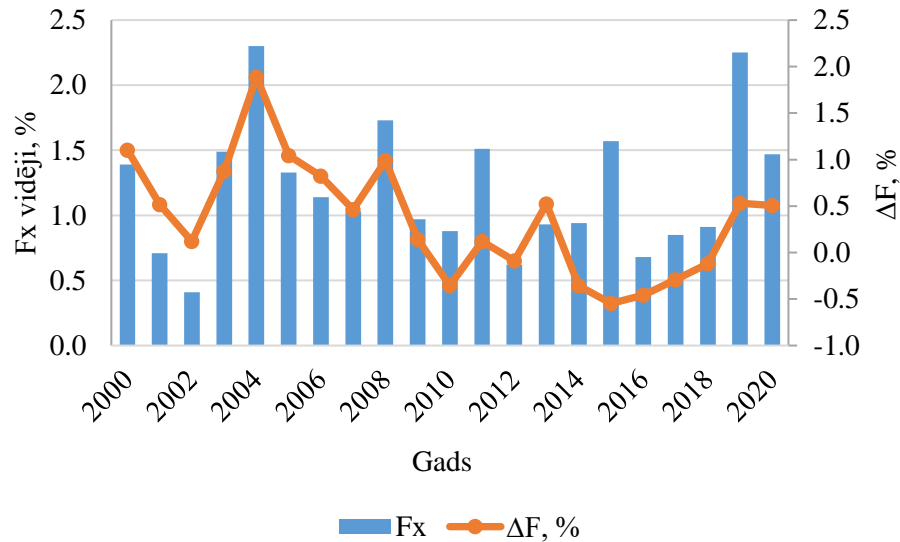


4.15. att. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa visu dzimušo un inbrīdēto dzīvnieku skaits un vidējie inbrīdīga koeficienti.

Attēlā redzams, ka dažādos gados dzimušo un tajā skaitā inbrīdēto dzīvnieku skaits maz atšķiras, līdz ar to maz atšķiras vidējie inbrīdīga koeficienti. Maz dzimušo

un līdz ar to arī maz inbridēto dzīvnieku (8 un 7 dzīvnieki) bija 2004. gadā. Tomēr šajā gadā novēroti lielākie inbrīdīngā koeficienti 2.30 un 2.63%. Arī 2019. gadā no 19 dzimušajiem pēcnācējiem 18 bija inbridēti, un vidējais Fx bija 2.25 un 2.37%, kas kopumā nav augsts inbrīdīngā koeficients vidēji populācijā.

Noskaidrots, kāds inbrīdīngā pieaugums (ΔF) bijis paaudzes laikā no 2000. gada (4.16. att.).



4.16. att. Vidējais inbrīdīngs (Fx) un inbrīdīngā pieaugums (ΔF , %) Latvijas siltasiņu zirgi šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem paaudzes laikā.

Lielākais inbrīdīngā pieaugums paaudzes laikā bija 2004. gadā – 1.9%. Pēdējo gadu laikā vairākus gadus inbrīdīngā pieauguma vispār nav bijis, attēlā var redzēt, ka, piemēram, no 2014. līdz 2018. gadam inbrīdīngā pieauguma ātrums bijis negatīvs, tātad inbrīdīngs nepalielinājās. Iespējams, ka šajos gados braucamajā tipā ieskaitīti pēcnācēji, kuru vecāki piederēja kādai no pieļaujamās šķirnes, līdz ar to tie nav radniecīgi. Pēdējos desmit gados, paažu maiņas intervāls Latvijas zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem bijis no 11 līdz 13 gadiem, kas ir liels intervāls, tādēļ var secināt, ka gada laikā ΔF pieaugums bijis niecīgs.

Pētījumā noteikti inbrīdīngā koeficienti arī atsevišķiem zirgiem. Tabulā (4.6. tab.) atspoguļoti dzīvnieki ar inbrīdīngā koeficientu 6.0% un vairāk, kuri dzimuši, sākot ar 2000. gadu.

Lielākais inbrīdīngā koeficients novērots 2019. gada dzimūšai sieviešu kārtas pēcnācējai – 25.52%. Šī dzīvnieka tēvs un mātes tēvs bija viens un tas pats ērzelis. Šajā tabulā redzams, ka, vairāk inbridēti ir sieviešu kārtas dzīvnieki, tas nozīmē, ka būs jāveic rūpīga pāru atlase un jāizvēlas ērzēļi, kuri nav iekšaudzēti.

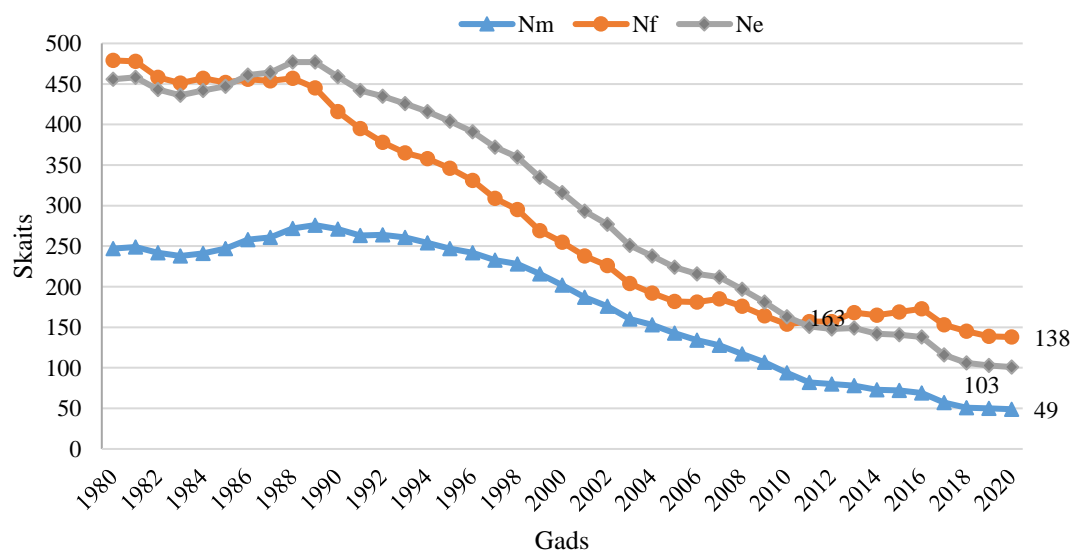
**Latvijas siltasiņu zirgi šķirnes braucamā tipa inbridētākie dzīvnieki
no 2000. gada**

Dzīvnieka datu bāzes kods	Dzīvnieka ID. Nr.	Dzimšanas gads	Dzimums	F _x ,%
32636	LV048006050008	2003	V	7.12
30097	LV008500750018	2005	S	6.64
35735	LV014098250013	2007	S	19.40
38016	LV030018250009	2008	S	9.97
37462	LV060790850001	2008	S	12.74
43391	LV001000001069	2011	S	14.45
43252	LV001000001323	2011	S	6.35
62453	LV001900003317	2019	S	25.56
61517	LV001900003175	2019	S	7.03
63331	LV001900003465	2020	V	5.53

Neradniecīgu ērzeļu atlase ir reāli sasniedzams uzdevums, ņemot vērā, ka par radniecīgām Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa audzēšanas programmā tiek definētas vairākas siltasiņu zirgu šķirnes.

4.2.4. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamās tipa dzīvnieku efektīvās populācijas lielums

Efektīvās populācijas lielums ir atkarīgs no pāru atlasē izmantojamo vīrišķo un sievišķo īpatņu skaita konkrētā gadā (4.17.att.).

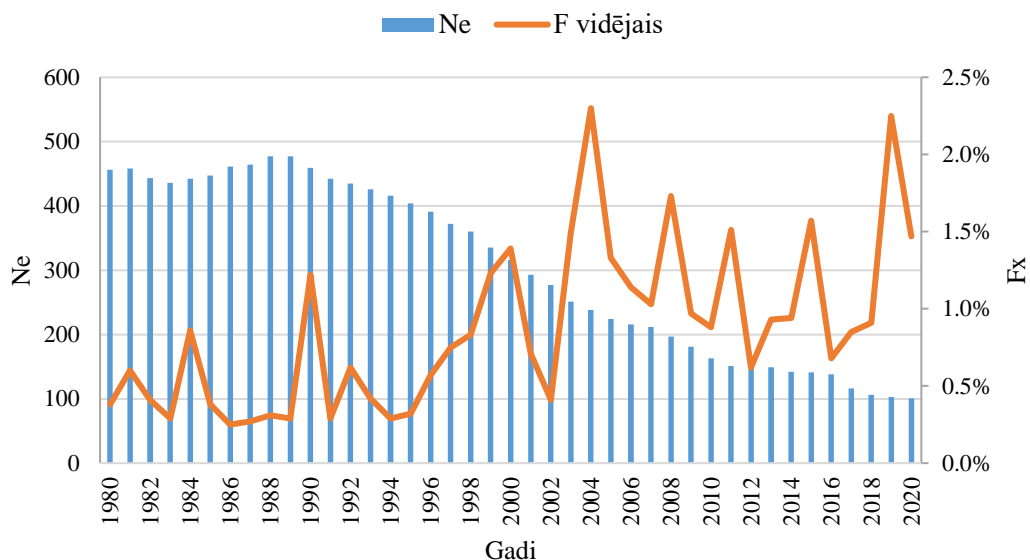


4.17. Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku efektīvās populācijas lielums (N_e), atkarībā no sievišķo (N_f) un vīrišķo (N_m) īpatņu skaita.

Sākot ar 1980. gadu, efektīvās populācijas lielums Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipā samazinās. Pēdējo desmit gadu laikā Ne ir samazinājies no 163 uz 103 dzīvniekiem 2019. gadā, kad ir informācija par dzimušajiem dzīvniekiem visa gada laikā.

Efektīvās populācijas lieluma samazināšanos var skaidrot ar nelielo vīrišķo īpatņu skaitu (50 un mazāk ēzeļu), kuri pēdējos gados piedalās pēcnācēju radīšanā.

Efektīvās populācijas lielums un vidējais inbrīdīga koeficients redzams 4.18. attēlā.



4.18. att. Efektīvās populācijas lielums (N_e) un populācijas vidējais inbrīdīga koeficients (F_x) pa gadiem Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem.

Lai arī efektīvās populācijas lielums pēdējos gados samazinās, vidējais inbrīdīga koeficients kopumā visiem dzīvniekiem ir zems, izņēmums ir 2019. gads, kad efektīvās populācijas lielums pakāpeniski samazinājās, tomēr vidējais inbrīdīgs palielinājās. Skaidrojums ir – viena 2019. gadā dzimušā pēcnācēja inbrīdīga koeficients bija 25.56%, kas pie nelielā vaislas dzīvnieku skaita ietekmēja vidējo inbrīdīga koeficientu.

Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku efektīvās populācijas lielums lai arī samazinās tomēr tas ievērojami pārsniedz skaitu 50, ko FAO (1998) ir definējusi kā minimālo efektīvās populācijas lielumu, populācijām, kuras apsaimnieko saskaņā ar saglabāšanas programmu.

4.3. Latvijas baltās cūku šķirnes populācijas analīze

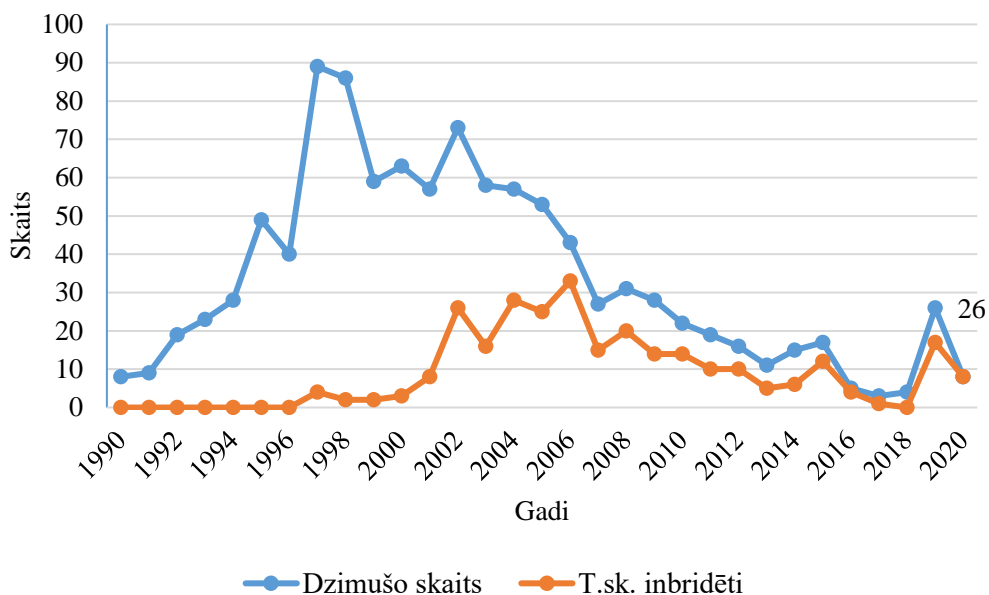
Latvijas baltās cūku šķirnes audzēšanas programma nosaka, ka ģenētisko resursu saglabāšanai reģistrē tās saimniecības, kurās ir dzīvnieki ar 50% Latvijas baltās šķirnes cūku asinību (pārējie procenti pieļaujami Jorkšīras cūku asinība).

Ņemot vērā Latvijas balto cūku nelielo skaitu, inbrīdīga koeficients un efektīvās populācijas lielums bija jāaprēķina ar citu brīvi pieejamo programmu, kas gan nesniedza tik plašu informāciju, kā iepriekš izmantotā programma pārējo šķirņu N_e un F_x noteikšanai, tomēr galvenos secinājumus ir iespējams izdarīt.

3.3.1. Latvijas baltās cūku šķirnes dzīvnieku skaits

Latvijas baltās šķirnes cūku populācijā uz 2020. gada 1. septembri dzīvas bija 52 cūkas, tajā skaitā 35 sievietu kārtas un 17 vīriešu kārtas dzīvnieki. Kopā datu bāzē tika iekļauti dzīvo cūku priekšteči līdz 1980. gadam, kopā 1202 dzīvnieki.

Turpmākajā analizē tiks apskatīts dzīvnieku skaits, no 1990. gada, kad ir informācija, cik dzīvnieki ir dzimuši katru gadu, jo iepriekšējos gados nav pilnīgas informācijas par visiem dzimušajiem dzīvniekiem (4.19. att.).



4.18. Pa gadiem dzimušie un tajā skaitā inbridētie Latvijas baltās šķirnes dzīvnieki.

Latvijas baltās šķirnes cūku skaits pa gadiem mainās. No 1990. līdz 1996. gadam katru gadu piedzima mazāk par 50 dzīvniekiem. Šajā laikā dzimušie dzīvnieki nebija inbridēti.

Lielākais dzīvnieku skaits dzimis laikā no 1997. līdz 2005. gadam, kad katru gadu piedzima vairāk par 50 Latvijas baltās šķirnes cūkām. Turpmākajos gados dzimušo dzīvnieku skaits samazinās un no 2016. līdz 2018. gadam vaislai atstāja no 3-5 LB šķirnes dzīvniekiem. Turpretī 2019. gadā bija salīdzinoši liels skaits (26) dzimušo cūku, ja salīdzina ar pēdējiem desmit gadiem.

Sākot ar 1997. gadu, daži dzīvnieki no dzimušajiem kļuva savstarpēji radniecīgi. Turpmākajos gados, sākot ar 2002. gadu inbridēto dzīvnieku skaits palielinās, un no 2010. gada apmēram 75% no dzimušajiem ir vairāk vai mazāk savstarpēji radniecīgi.

3.3.2. Inbrīdīngs un efektīvās populācijas lielums Latvijas baltās cūku šķirnes populācijā

Turpmākajā apakšnodaļā analizēti visi datu bāzē iekļautie dzīvnieki, ņemot vērā inbrīdīngs koeficienta vērtību. Atsevišķi apskatīts arī tikai dzīvo dzīvnieku sadalījums pēc inbrīdīngs koeficienta vērtības (4.7.tab.).

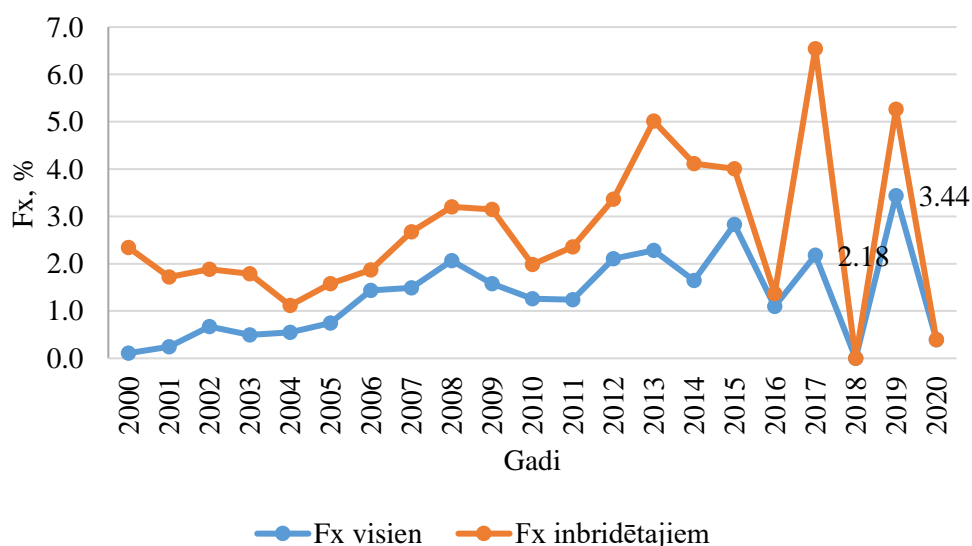
Latvijas baltās cūku šķirnes dzīvnieku sadalījuma pēc inbrīdīga koeficienta

F, %	Visā periodā		Dzīviem dzīvniekiem	
	skaits	% no visiem dzīvniekiem	skaits	% no dzīvjiem
0	919	76.46	-	-
līdz 5	240	19.97	31	59.61
5 - 10	35	2.91	18	34.62
10 - 15	7	0.58	3	5.77
15 - 20	1	0.08	0	0
Kopā	1202	100	52	100

Noskaidrots, ka no visiem analizētajiem 1202 dzīvniekiem 919, jeb 76.46% dzīvnieku nebija inbrīdēti. Neliels inbrīdings līdz 5% novērots 240 dzīvniekiem, kas ir 19.97% no analizētajiem. Augstāki inbrīdīga koeficienti (< 5%) novēroti 43 dzīvniekiem, turklāt Fx lielāks par 10% bija tikai 8 dzīvniekiem, kas bija mazāk nekā 1% no visiem analizētajiem.

Uz pētījuma sākumu 52 dzīvnieki bija dzīvi. Šiem dzīvniekiem inbrīdings līdz 5% novērots 31 dzīvniekam jeb 60%, bet lielāks par 5% bija 21 dzīvniekam, tajā skaitā 3 dzīvnieku inbrīdīga koeficienta vērtība bija no 10 līdz 15%.

Attēlā (4.19.) dotas inbrīdīga koeficienta vērtības pa gadiem, gan visiem analizētajiem, gan inbrīdētajiem.



4.19. att. Vidējais inbrīdīga koeficients visiem un inbrīdētajiem Latvijas baltās šķirnes dzīvniekiem.

Vidējais inbrīdīga koeficients gan visiem, gan inbrīdētajiem dzīvniekiem ir ar lielu mainību dažādos gados dzimušajiem dzīvniekiem. Šo mainību izraisa neliels

dzīvnieku skaits, kas pa gadiem iekļauti Latvijas baltās šķirnes saglabāšanas populācijā. Piemēram, 2017. gadā viens dzīvnieks no dzimušajiem bija inbrīdēts, līdz ar to 6.54% ir viena dzīvnieka inbrīdīngs. Vidējais inbrīdīngs 2019. gadā, kad piedzima 26 dzīvnieki, bija 3.44%.

Pie tik neliela dzīvo dzīvnieku skaita, veicot atlasī, svarīgi zināt katra dzīvnieka inbrīdīngs koeficienta vērtību (4.8.tab.).

4.8. tabula

Inbrīdīngs koeficienti dzīvājiem abu dzimumu dzīvniekiem

Dzimums S		Dzimums V	
dzīvnieka datu bāzes kods	Fx, %	dzīvnieka datu bāzes kods	Fx, %
4792875	0.39	2129995	0.09
4792876	0.39	4878788	0.39
4830058	0.39	4780854	0.39
4830059	0.39	4780855	0.39
4830061	0.39	4830060	0.39
4830062	0.39	2794502	1.01
4830063	0.39	3872158	1.01
3872146	1.01	1277837	2.29
3872151	1.01	4532935	2.73
3872157	1.01	4468312	5.08
3872159	1.01	4468328	5.08
3497089	2.34	4331875	5.30
4468314	2.73	4331874	5.30
4468315	2.73	4238549	6.54
4468318	2.73	4600506	9.38
4532928	2.73	3872167	12.50
4532929	2.73	4013266	12.50
4532930	2.73		
4532931	2.73		
4532932	2.73		
4532933	2.73		
4532934	2.73		
4468330	5.08		
4468331	5.08		
4490784	5.08		
4490785	5.08		
4490787	5.08		
4295743	5.30		
4295744	5.30		
4600504	9.38		
4600505	9.38		
4600507	9.38		
4681671	9.38		
4681673	9.38		
3872161	12.50		

Tabulā 4.8. apkopotas dzīvo sievišķo un vīrišķo dzīvnieku inbrīdīngs koeficientu vērtības, kas selekcionāram būtu jāzina un jāņem vērā, veidojot saderīgus pārojumus.

Aprēķināts arī Latvijas baltās cūku šķirnes efektīvās populācijas lielums, ņemot vērā dzīvo sievišķo un vīrišķo īpatņu skaitu. Noskaidrots, ka Latvijas baltās šķirnes cūkas ir uzskatāmas par apdraudētu populāciju, jo $N_e=32$. Šādā populācijā samazinās ģenētiskā daudzveidība, un pamatojoties uz FAO (1998) ieteikumiem, lai varētu saglabāt populāciju, efektīvās populācijas lielums nevarētu būt mazāks par 50 dzīvniekiem.

SECINĀJUMI

Veiktajā pētījuma noskaidrots, ka **Latvijas tumšgalves aitu šķirnē** kopējais pēcnācēju skaits pārsniedz 500 dzīvniekus, kas ir pietiekams, lai ar šīs šķirnes ģenētisko resursu dzīvniekiem būtu iespējams veikt, gan šķirnes saglabāšanu, gan arī selekcijas darbu.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnē pēdējo desmit gadu laikā vaislai izmantoja no 20 līdz 35 teļus un 59 līdz 127 aitu mātes. Iegūto pēcnācēju skaits ir palielinājies no 53 līdz 155 dzīvniekiem.

Latvijas tumšgalves aitu šķirnē vaislai izmantoto vīrišķo īpatņu vidējais vecums bijis no 2.4 gadiem (2008. gadā) līdz 3.6 gadiem 2015. gadā. Aitu mātes bijušas vecākas par teļiem, attiecīgi no 3.0 līdz 3.9 gadiem.

Latvijas tumšgalves šķirnes dzīvnieku izcelšanās informācija ar katru gadu kļuvusi pilnīgāka, un pēdējos piecos gados dzimušo dzīvnieku ciltsrakstos izcelšanās informācija ir no 94 līdz 100%.

Vidējais inbrīdīngs (iekšaudzēšanas) koeficients (F_x) analizētajiem Latvijas tumšgalves ģenētisko resursu dzīvniekiem pa gadiem bija mainīgs, tomēr pēdējos piecos gados tam ir tendence palielināties un 2018. gadā bija 2.98%. Lielākajai daļai (46.10%) analizēto dzīvnieku inbrīdīngs koeficients bija līdz 5.0%. un tikai 5.2% no analizētajiem F_x bija lielāks par 6.0%.

Efektīvās populācijas lielums (N_e) analizētajā Latvijas tumšgalves aitu šķirnē, ņemot vērā vecāku skaitu pa gadiem, bija mainīgs no 110 līdz 159 dzīvniekiem.

Inbrīdīngs pieaugums (ΔF) paaudzē, kuras paaudžu maiņas intervāls bija no 3 līdz 3.8 gadiem, novērots no 0.36 līdz 1.21%.

Latvijas siltasiņu šķirnes braucamā tipa zirgu populācijā dzīvi bija 2811 dzīvnieki, no tiem 1780 bija sievišķie un 1031 vīrišķais dzīvnieks.

Ķēves bijušas jaunākas par ērzeļiem. Ķēvju vidējais vecums pēcnācēja dzimšanas laikā bija no 7.9 līdz 14.9 gadiem, un ērzeļu vidējais vecums no 9.3 līdz 15 gadiem.

Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvnieku 1. paaudzes izcelšanās informācija sākot ar 1985. gadu ir 100% un arī otrai paaudzei ir zināma 100% izcelšanās informācija sākot no 2003. gada.

Vidējais inbrīdīngs koeficients Latvijas siltasiņu zirgu braucamā tipa dzīvniekiem pēdējo 10 gadu laikā bija no 0.62 līdz 2.25%. Lielākai daļai 79.8% inbrīdīngs netika novērots, bet 18.5% inbrīdīngs koeficients nepārsniedza 5%.

Efektīvās populācijas lielums (N_e) analizētajiem Latvijas siltasiņu zirgu šķirnes braucamā tipa dzīvniekiem samazinās, un 2019. gadā bija 103 dzīvnieki.

Inbrīdīngs pieaugums (ΔF) paaudzē, kuras paaudžu maiņas intervāls bija no 11 līdz 13 gadiem, bija no 1 līdz 0.5% pēdējo gadu laikā.

Latvijas baltās šķirnes cūku populācijā uz 2020. gada 1. septembri dzīvas bija 52 cūkas, tajā skaitā, 35 sieviešu un 17 vīriešu kārtas dzīvnieki. Kopā datu bāzē tika iekļauti dzīvo cūku priekšteči līdz 1980. gadam, kopā 1202 dzīvnieki.

Vidējais inbrīdīngs koeficients pēdējo 10 gadu laikā Latvijas baltās šķirnes cūku populācijā bijis no 0.10 līdz 3.44%, ar tendenci palielināties pēdējos gados.

Efektīvās populācijas lielums Latvijas baltās šķirnes dzīvniekiem 2020. gadā bija 32, pamatojoties uz FAO (1998) ieteikumiem, efektīvās populācijas lielums nevarētu būt mazāks par 50 dzīvniekiem.

PĒTĪJUMA REZUMĒJUMS

Divu gadu pētījums deva iespēju pārliecināties par Vietējo apdraudēto lauksaimniecības dzīvnieku efektīvās populācijas lielumu un inbrīdingu tajās.

Var secināt, ka apdraudētākā ir Latvijas baltās šķirnes cūku populācija, kurā efektīvās populācijas lielums bija 32 dzīvnieki. Otrā apdraudētākā ir Latvijas zilās šķirnes govju populācija, kur $N_e=54$ dzīvnieki. Arī Latvijas vietējās šķirnes kazu populācija ir neliela un apdraudēta.

Parējās analizētajās populācijās N_e bija nedaudz lielāks par 100, kas nodrošina iespēju izvairīties no tuvu radnieku pārošanas un strauju inbrīdinga pieaugumu.

Populācijās pāru atlasī datorprogramma veica ar mērķi, samazināt inbrīdinga koeficientu pēcnācējam (lai nepārsniedz 1%), zinot potenciālo vecāku radniecības koeficientu, līdz ar to selekcijas darba veicēji var izmantot šo informāciju, izvērtējot pārojamo dzīvnieku līnijas un šķirņu saglabāšanas stratēģiju.

Visās pētītajās populācijās, samazinoties efektīvās populācijas lielumam, palielinās inbrīdings un inbrīdinga pieauguma ātrums paaudzes laikā. Efektīvās populācijas lieluma samazināšanos galvenokārt veicina neliels vaislinieku skaits, kuri piedalās pēcnācēju radīšanā.

Lai vietējo apdraudēto šķirņu saglabāšana būtu veiksmīga, liela atbildība ir Šķirnes dzīvnieku audzētāju organizācijām, kas precīzi fiksē izcelšanās informāciju un veic pāru atlasī. Speciālistiem būtu jāņem vērā FAO ieteikumi – periodiski (vismaz vienu reizi paaudzes laikā) veikt šķirnes populāciju struktūras, inbrīdinga un efektīvās populācijas lieluma analīzi, lai varētu ierobežot ģenētiskās daudzveidības samazināšanos populācijās, kuras apsaimnieko saskaņā ar saglabāšanas programmu.

PĒTĪJUMA REZULTĀTU PUBLICĒŠANA

Otrajā pētījumu gadā par pētījuma rezultātiem ziņots 2 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs Igaunijā un Itālijā (attālinātas, un 1 zinātniski praktiskajā konferencē Latvijā. Ziņojuma tēma:

- Jonkus D., Paura L., Cielava Longevity and milk production efficiency of Latvian local breeds during last decades. 11 International conference Biosystems Engineering. Tartu Estonia 6-8 may 2020.
- Paura L., Jonkus D. Inbreeding evaluation in Latvian local cattle breeds. 28th International Symposium “Animal Science Days” Padova, Italy, 23-25 September 2020.
- Jonkus D., Paura L., Blumberga I., Grauziņš I. Latvijas zilās šķirnes govju populācijas analīze. Zinātniski praktiskā conference “Līdzsvarota lauksaimniecība”. Jelgava, Latvija 2020. 20.02.

Izstrādāts un aizstāvēts Ievas Blumbergas maģistra darbs “Latvijas vietējo apdraudēto govju populāciju struktūras, iekšaudzēšanas un produktivitātes analīze”

Uzrakstītas un publicētas trīs publikācijas:

- Jonkus D., Paura L., Cielava L. (2020). Longevity and milk production efficiency of Latvian local breeds during last decades. *Agronomy Research*, Vol. 18 (S2), p. 1316-1322. (ind. Scopus)
- Paura L., Jonkus D. (2020). Inbreeding evaluation in Latvian local cattle breeds. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*. Vol. 23 (2020), p. 52-57. . (ind. Scopus)
- Jonkus D., Paura L., Blumberga I., Grauziņš I (2020). Latvijas zilās šķirnes govju populācijas analīze. Zinātniski praktiskā conference “Līdzsvarota lauksaimniecība”. Tēzes 52. lpp.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Falconer, D.S., Mackay, T., F., C (1996). Introduction to Quantitative Genetics. 4th Edition. Longman London and New York, NY. P. 438.
2. FAO: Secondary guidelines for development of national farm animal genetic resources management plans, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1998.
3. Ferenčakovič M., Solkner J., Kapš M. et al. (2017). Genome-wide mapping and estimation of inbreeding depression of semen quality traits in a cattle population. *Journal of Dairy Science*, No. 100, p. 4721–4730.
4. Furst, C., Furst- Waltl, B. (2009): Inzucht & Co- Aktuelle Auswertungen zur genetischen Vielfalt. Seminarunterlagen der Zentralen Arbeitsgemeinschaft osterreichischer Rinderzuechter (ZAR), Wien.
5. Goszczynski D., Molina A., Teran E. et al. (2018). Runs of homozygosity in a selected cattle population with extremely inbred bulls: descriptive and functional analyses revealed highly variable patterns. *Open Access Journal*. 24 p.
6. Frankham R., Ballou J.D., Briscoe D.A. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press; Cambridge, UK: 2002.
7. Gulisija D., Gianola D., Weigel K. A. (2007). Nonparametric Analysis of the Impact of Inbreeding on Production in Jersey Cows. *Journal of Dairy Science*, Vol. 90, Issue 1, p. 493–500.
8. Leory G. (2014). Inbreeding depression in livestock species: Review and meta-analysis. *Animal Genetic*, Vol. 45, p. 618–628.
9. Mackowski M., Mucha S., Cholewinski G., Cieslak J. Genetic diversity in Hucul and Polish primitive horse breeds. *Arch. Anim. Breed.* 2015; 58:23–31. doi: 10.5194/aab-58-23-2015.
10. Margulis S. W., Walsh A. (2002). The effects of inbreeding on testicular sperm concentration in *Peromyscus polionotus*. *Reproduction, Fertility and Development*, Vol. 14, p. 63–67.
11. Martikainen K., Sironen A., Uimari P. (2018). Estimation of intrachromosomal inbreeding depression on female fertility using runs of homozygosity in Finnish Ayrshire cattle. *Journal of Dairy Science*, Vol. 101, Issue 12, p. 11097–11107.
12. Meuwissen, T.H.E., 1999. Operation of conservation schemes, in Genebanks and the Conservation of Farm Animal Genetic Resources. Ed. Oldenbroek, K.K., DLO Institute for Animal Science and Health, Lelystad, The Netherlands. pp. 9-112.
13. Sargolzaei M., Iwaisaki H., Colleau J.J. (2006), “CFC: a tool for monitoring genetic diversity”, Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, CD-Rom Comm. N 27-28.
14. Sorensen, A.C., Sorensen, M.K. & Berg, P., 2005. Inbreeding in Danish Dairy cattle breeds. *J. Dairy Sci.* 88, 1865-1872.
15. Swartz A. Massey J. (2007). Inbreeding: Its Meaning, Uses and Effects on Farm Animals. *Extension University of Missouri*. 7 p.