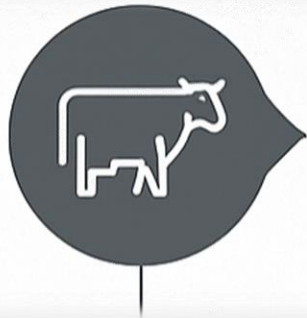


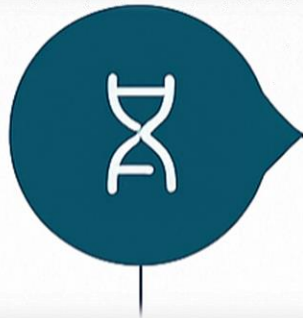
Pomen genotipizacije in genomske selekcije za slovensko govedorejo



Barbara Luštrek
4.11.2025, KGZ Ptuj



**IZHODIŠČA
IN KLJUČNI
POJMI**



**KLASIČNO IN
GENOMSKO – V
ČEM JE RAZLIKA
IN DODANA
VREDNOST**



**GENOTIPIZACIJA
IN GENOMSKA
SELEKCIJA –
KORISTI V
PRAKSI**



**KAJ
POTREBUJEMO
ZA USPEH –
DOMA IN PO
SVETU**



**SLOVENIJA –
STANJE IN
PRIHODNJI
POTENCIAL**



**KROGOTOK
SODELOVANJA
V SODOBNI
SELEKCIJI**

Izhodišča in ključni pojmi

Selekcija – osnova genetskega napredka

- Učinkovito orodje za genetsko izboljševanje domačih živali (govedo, drobnica, prašiči,...) in kulturnih rastlin (pšenica, oljna ogrščica, grozdje, ...)
- Uporaba se širi na manj komercialne vrste (npr. losos, kamele, divjad)
- Najhitrejša širitev v govedoreji, prašičereji in mlečnih pasmah drobnice
- Odločitveni kriterij v selekciji = skupni selekcijski indeks = vsota plemenskih vrednosti (PV) za posamezne lastnosti * ekonomske uteži lastnosti
- PV = ocena genetskega prispevka živali k določeni lastnosti potomcev, izražena glede na populacijo, v kateri se vrednoti
- Viri za oceno PV: fenotipi + rodovniške povezave
 - Kakovost + količina podatkov vplivata na oceno PV

Doba genomike – nov podatkovni vir

- Genotip je nov, digitaliziran vir podatkov v živinoreji - digitalni zapis alelov posameznika na številnih genetskih označevalcih (SNP)
- Prva uvedba pri mlečnih pasmah govedi ~2008; danes standard
- Genotip dopolnjuje fenotip in rodovnik
- Sorodne metode se uporabljajo tudi v medicini pri človeku (npr. prenatalno genetsko testiranje, farmakogenomika, onkologija, forenzika)
- Primer podatkov:
 - Rodovnik: ID_žival ID_oče ID_mati
 - Fenotip: mlečnost na dan kontrole = 19 kg
 - Genotip: (~50.000 SNP): A/G – C/C – T/C – G/T – A/A – C/T – G/G – A/G – C/C – T/C – A/A – C/T – G/G – ...
- **Genomska selekcija (GS)** pomeni, da pri izbiri najboljših živali uporabimo njihov genotip
 - Na podlagi več tisoč genetskih označevalcev po celotnem genomu lahko zelo zgodaj napovemo, katere živali bodo verjetno imele boljše potomce
 - Tako se lahko odločamo hitreje in natančneje, še preden se pri živalih pokažejo njihove dejanske lastnosti
 - GS je najbolj učinkovita, če selekcijsko shemo prilagodimo zgodnji izbiri mladih živali

Klasično in genomsko – v čem je razlika in dodana vrednost

Klasična vs. genomska selekcija – ključne razlike

- **Klasična selekcija**

- Čakanje na fenotipske rezultate (mlečnost, rast) → ocena genetske vrednosti šele po več letih
- Dolg generacijski interval, počasnejši napredek

- **Genomska selekcija (GS)**

- Genotipizacija ob rojstvu
- Zgodnja selekcija najboljših, izločanje živali z nižjo genetsko vrednostjo
- Krajši generacijski interval
- Višja zanesljivost ocen pri mladih živalih
- Večja intenzivnost selekcije
- Zmanjšanje tveganj in stroškov pri odbiri
- Prilagodljiva za različne vrste, tudi avtohtone pasme



hitrejši genetski napredek

(= obseg želenih genetskih sprememb, ki jih dosežemo med zaporednimi generacijami v populaciji, tako da se vsaka nova generacija rodi z boljšimi lastnostmi od prejšnje)

Klasična vs. genomska selekcija in različni izračuni PV

	Klasična selekcija	Genomska selekcija (GS)
Ocena PV	Šele ko je izmerjen/ocenjen fenotip	Z genotipizacijo; lahko že ob rojstvu
Zanesljivost PV pri mladih živalih	Nižja zanesljivost; običajno povprečje staršev (~ 35 %)	Višja zanesljivost ob prisotnosti genotipa (do ~ 80 %)
Dolžina generacijskega intervala	Dolg (~ 5-6 let)	Krajši (~ 2-3 leta)
Stroški vzreje	Večji stroški zaradi pozne izločitve živali z nižjo genetsko vrednostjo	Manj stroškov zaradi zgodnjega izločanje živali
Učinkovitost selekcije za lastnosti, ki se izrazijo pozno/redko/težko merljive	Manj učinkovita	Bolj učinkovita (~ 2-3x)

Nacionalni izračun PV ocenjuje žival na podlagi podatkov in razmer v domači populaciji.

Izračun PV v tuji državi ocenjuje isto žival glede na (prevladajoče) tamkajšnje podatke in razmere. Tak PV ne pove zanesljivo, kako se bo žival ali njeni potomci obnesli v domačih razmerah.

Mednarodni izračun PV omogoča primerjavo, saj uporablja enotno lestvico in skupno genetsko osnovo, zato so živali iz različnih držav neposredno primerljive.

*rezultati niso
neposredno
primerljivi*

Druge koristi genotipizacije poleg GS

Preverjanje starševstva	odprava napak v rodovnikih, večja zanesljivost podatkov
Odkrivanje nosilcev genetskih bolezni	preprečevanje parjenja nosilcev (npr. SDM, CVM, HH1–HH6, ...)
Prepoznavanje koristnih alelov	brezročnost, β - in κ -kazein za predelavo mleka, ...
Upravljanje sorodstva in inbridginga	spremljanje na genomskem nivoju za boljše paritvene odločitve
Podpora ohranjanju avtohtonih pasem	genetska opredelitev, ohranjanje genetske raznolikosti
Sledenje in identifikacija živali	zanesljiva genetska prepoznavna posameznika
Razvoj in nadgradnja selekcijskih programov	odkrivanje novih področij na genomu, povezanih z gospodarsko pomembnimi lastnostmi, prenos izboljšav v prakso

Genotipizacija in genomska selekcija – koristi v praksi

Za rejce – praktične in ekonomske koristi



- Zgodnja, zanesljivejša odločitev
 - Zanesljiv PV že pri teletu, brez čakanja na fenotip



- Manj napačnih izbir
 - Manj vzreje živali z nižjo genetsko vrednostjo



- Ciljno parjenje
 - Manj inbridinga, izboljšanje izbranih lastnosti



- Napredne reprodukcijske tehnologije
 - Zanesljivejši izbor najboljših mladih živali za elitne potomce in boljši izkoristek vložka v napredne reprodukcijske tehnologije



- Dodana tržna vrednost
 - Genotipizirane telice z visokimi PV imajo večjo tržno vrednost in lažje najdejo kupce

Za selekcijske in strokovne službe – učinkovitejši rejski programi, hitreje doseženi cilji



- Hitrejši genetski napredek
 - Hitrejše doseganje želenih sprememb v populaciji



- Možnost (učinkovitejše) vključitve širšega nabora lastnosti
 - Zdravje, primernost za ekološko rejo, okoljski odtis, odpornost na vročinski stres, ...



- Nacionalna zbirka genomskih podatkov
 - Več podatkov pomeni zanesljivejšo ceno PV ter natančnejše usmerjene in učinkovitejše rejske programe



- Manj dragi in časovno zahtevni progeni testi
 - Hitrejša in zanesljivejša izbira bikov ter hitrejše prilagajanje paritvenih načrtov, brez večletnega čakanja na rezultate



- Reorganizacija stroškov
 - Prihranek pri testih omogoča preusmeritev sredstev v genotipizacijo več živali ali fenotipizacijo zahtevnih lastnosti (npr. odpornost na bolezni, emisije TGP, dobrobit, ...)

Za državo in javni sektor – strateški pomen



- Usklajenost z EU in svetom

- Večina konkurenčnih držav že uporablja GS; brez GS počasnejši genetski napredek in večje tveganje za izgubo konkurenčnosti



- Trajnost

- Genomika omogoča zanesljivejšo selekcijo na lastnosti, povezanih z zdravjem, dobrobitjo in emisijami TGP, ko so podatki sistematično zbrani



- Digitalizacija kmetijstva

- Genomika kot temelj precizne, podatkovno podprte reje



- Merljivi učinki vlaganj

- Hitrejši vpogled v rezultate, natančnejši kazalniki za težko merljive lastnosti in jasnejša povezava učinkov z ukrepi



- Genetska varnost

- Pravočasno izločanje nosilcev dednih bolezni ter zmanjšanje genetskih in zdravstvenih tveganj v populaciji

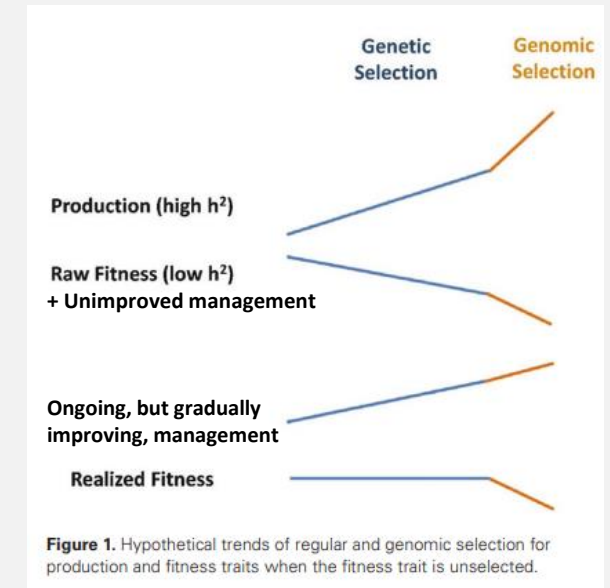
Kaj potrebujemo za uspeh – doma in po svetu

Pogoji za učinkovito uvedbo genomske selekcije

- Velika referenčna populacija
 - Čim več genotipiziranih živali z znanimi fenotipi za visoko zanesljivost ocen celotne populacije
- Kakovostni fenotipi
 - Natančne in obsežne meritve ključnih lastnosti
- Redno posodabljanje
 - Stalno dodajanje novih genotipov in fenotipov v podatkovne zbirke
- Zanesljiva infrastruktura
 - Kapacitete za zbiranje, obdelavo in shranjevanje podatkov
- Jasna strategija
 - Dolgoročni cilji rejskega programa, usklajeni med vsemi deležniki
- Vzdržna ekonomika
 - Finančni model, ki omogoča trajnostno izvajanje GS

Izzivi in tveganja genomske selekcije

- Antagonizem lastnosti
 - Genetske povezave lastnosti lahko vodijo v neželene spremembe (več mleka, slabša plodnost, slabša odpornost na vročino)
- Prehiter napredek na eni lastnosti z visoko dednostjo
 - Hitro poslabšanje drugih povezanih lastnosti
- Počasna zaznava negativnih učinkov
 - Pri lastnostih, ki se izrazijo pozno
- Zastareli selekcijski indeksi
 - Genetika se spreminja hitreje kot se usklajujejo odločitveni kriteriji
- Prakse reje ne sledijo genetskemu napredku
 - Povečano tveganje za težave na nivoju črede



<https://doi.org/10.1093/jas/skae155>

Primer tuje prakse: Irski nacionalni program genotipizacije (NGP)

- 2015 – začetek sistematične genotipizacije v okviru Beef Data & Genomics Programme, kasneje razširjeno tudi na mlečne pasme. Cilj: 1 mio genotipov (v praksi že do 2017 zbranih >1 mio)
- 2015 – 2022 – genotipizacija preko različnih subvencijskih programov
- 2023 – zagnan National Genotyping Programme (NGP) kot prvi popolnoma nacionalni, javno-zasebni program s ciljem genotipizirati celotno nacionalno populacijo govedi v 5 letih
 - **Partnerji:** javno-zasebno partnerstvo – država, industrija, rejci
 - **Proračun:** 43 mio €; leto 1 iz Brexit Adjustment Reserve (23 mio €), nato 1/3 država – 1/3 industrija – 1/3 rejci
 - **Izvajalec:** Irish Cattle Breeding Federation (ICBF)
 - **Cilji:**
 - Pospešitev genetskega napredka
 - 100 % DNK-sledljivost kot tržna prednost
 - Povezovanje mlečne in mesne reje
 - Uskladitev ciljev reje & selekcije, prepoznavna in povečanje tržne vrednosti telet iz mlečnih čred za pitanje
 - Prispevek k zmanjšanju emisij TGP

Irski nacionalni program genotipizacije (NGP) – ključni učinki in dosežki

- Hitro povečanje genotipizacije
 - Mlečno usmerek reje: 6,5 % (2022) → 35 % (2024)
 - Vključenih 4.300 čred, genotipiziranih > 520.000 telet
- Natančnejši rodovniki
 - Popravljenih 17 % napačnih očetov, 9 % mater
 - Identifikacija (identičnih/heteropaternalnih) dvojčkov že ob rojstvu
- Učinkovit proces
 - Namenske ušesne znamke → genotipizacija ob rojstvu, brez dodatnega lovljenja živali
 - Nižja cena genotipizacije telet zaradi optimizirane, centralizirane, masovne izvedbe (6 €/tele namesto 18 €)
 - +20 % zanesljivosti ocen PV za mlade živali
 - Manj administracije - odprava napak pred registracijo

(<https://www.icbf.com/wp-content/uploads/2025/01/NGP-Info.-Booklet-17.12.24-2.pdf>; <https://www.gov.ie/en/department-of-agriculture-food-and-the-marine/press-releases/minister-mcconalogue-announces-world-first-cattle-genotyping-programme/>)

Primer tuje prakse: Nemčija, Norveška

- **Nemčija** (projekt KuhVision, Holstein, od 2016)

- Zadružni model vodenja genomskih podatkov in upravljanja čred (rejci prek partnerskih rejskih organizacij)
- Cilj: referenčna populacija 120.000 krav z genotipizacijo celotnih čred do 2019
- Leta 2023 > 1 mio genotipiziranih živali; > 2.150 genotipiziranih čred v Nemčiji in > 400 tujih čred
- Nadaljnja genotipizacija vseh novorojenih telic
- Cilji: hitrejši genetski napredek, manj nadomestnih telic, zgodnje PV, nadzor inbridinga, spremljanje nosilcev genetskih bolezni, nižji stroški reje

(<https://richtigzuechten.de/common/herd-genotyping.html>; <https://www.ggi-spermex.de/en/service/kuhvision:-more-than-1-million-genotyped-female-holsteins-1227.html>)

- **Norveška**

- Nacionalni akcijski načrt (2024–2028) za trajnostno rabo in ohranjanje genskih virov
- Sistematična evidenca in DNK analize ogroženih pasem

(<https://www.euforgen.org/about-us/news/news-detail/norway-launches-national-plan-to-serve-and-sustainably-use-genetic-resources-for-food-and-agriculture>)

Skupne točke uspešnih praks v tujini

- Genotipizacija kot strateško orodje
 - Podpora selekciji, ohranjanju virov in krepitvi konkurenčnosti
 - Učinki: gospodarski, tržni/izvozni, okoljski/trajnostni
- Partnerstvo in sodelovanje
 - Povezovanje države, rejcev in industrije
 - Javno-zasebni ali zadružni modeli financiranja
- Pametna uporaba podatkov
 - Zgodnja selekcija in boljše paritvene odločitve
 - Znižanje stroškov reje in zmanjšanje števila nadomestnih živali
 - Ohranjanje in dokumentiranje pasem
- Različni poudarki po državah
 - Irska: komercialna selekcija + trajnostni cilji
 - Nemčija: zadružni modeli + optimizacija reje
 - Norveška: ohranjanje genskih virov + izpolnjevanje mednarodnih zavez

Tuje prakse – priložnosti za Slovenijo

- Javno-zasebno partnerstvo
 - Delitev stroškov, usklajena dolgoročna strategija vseh deležnikov
- Integracija v obstoječe procese
 - Povezava z že obstoječimi genetskimi testi in registracijskimi postopki za nižje stroške in večjo vključenost rejcev
- Tržna prednost
 - DNK-sledljivost kot dokaz kakovosti in izvirne varnosti na izvoznem trgu
 - Prepoznavnost Slovenije kot trajnostnega in odgovornega proizvajalca hrane
- Genetsko podprto odločanje
 - Zanesljivejše izbire paritev, boljša optimizacija reje in krepitev dobrobiti živali
- Gospodarska korist
 - Višja genetska vrednost črede prinaša večjo donosnost in manjše stroške na enoto prireje
- Podpora trajnostnim ciljem
 - Možnost vključevanja lastnosti, povezanih z emisijami TGP, zdravjem in dobrobitjo, ko bodo podatki na voljo

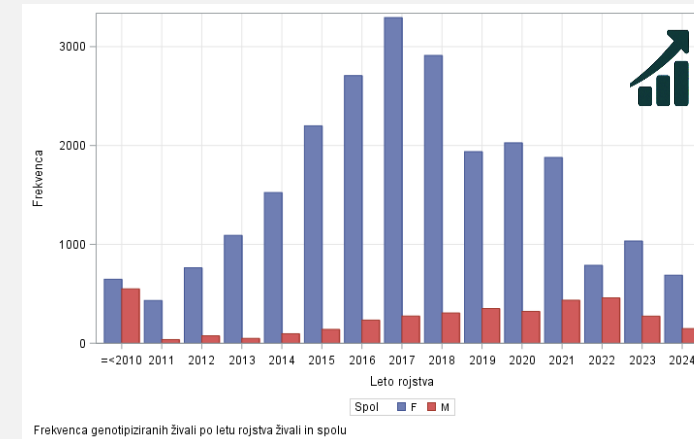
Slovenija – stanje in prihodnji potencial

Stanje v Sloveniji

- **Genotipi**

Pasma	M	Ž	Skupaj
Črno-bela	751	13.714	14.465
Rjava	1000	8.551	9.551
Lisasta	1.587	2.547	4.134
Mesne	548	810	1.358
Cika	339	308	647
Skupaj	4.225	25.930	30.155

Genotipiziranih le
~ 5 %
celotne populacije
mladih živali
(RJ > ČB > LI)



- **Fenotipi**

- Zunanost: ocene in meritve krav
- Prireja: dnevne kontrole, masa, prirast, field test (klavnice), iztok mleka
- Plodnost: doba med telitvama, starost ob prvi telitvi, potek telitve
- Fitnes: somatske celice, persistenca
- Dolgoživost
- Senzorne lastnosti mesa
- Seleksijski indeks: prireja mleka, kombinirana reja

Ovire in izzivi v Sloveniji



- Počasno širjenje genotipizacije



- Zajetih malo mladih živali, zlasti telic
- Napredek omejen brez obsežne genotipizacije in zbiranja fenotipov, zlasti za trajnostne cilje



- Majhen trg s telicami, omejena selekcija krav
- Neravnovesje stroškov in koristi za rejce



- Pomanjkanje razumevanja vpliva selekcije ter pomena genomike in podatkov pri deležnikih

Kako lahko genomska selekcija postane tržna prednost tudi v Sloveniji?

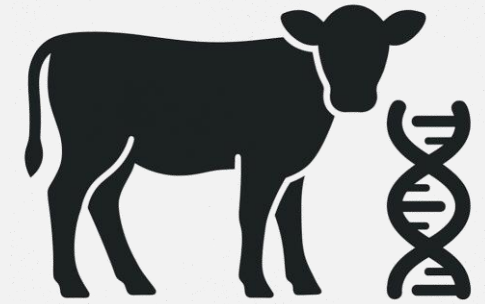
- V državah z razvitim trgom in sistemom genomske selekcije imajo genotipizirane mlade živali obeh spolov z visokimi PV ***dodano tržno vrednost***

- Kako lahko to dosežemo tudi v Sloveniji?

-  Razvoj trga mladih genotipiziranih živali
 - Spodbude in promocija prodaje z jasno prikazano genetsko vrednostjo
-  Vidnejša in uporabniku prijazna predstavitev PV
 - Uporabniku prijazen dostop, pregledne primerjave in uporaba pri trženju genotipiziranih živali
-  Izobraževanje kupcev in svetovalcev o povezavi med genomiko in ekonomsko vrednostjo živali
-  Povezava genomike z dodano vrednostjo in nišnimi proizvodi
 - Npr. A2 mleko, genetska odpornost na bolezni, lastnosti povezane s trajnostjo
-  Povezava z označevanjem in sledljivostjo
 - Npr. oznaka »genomsko preverjeno« za genomsko testirane živali
-  Finančne spodbude
 - Npr. delitev stroškov genotipizacije med deležnike

Krogotok sodelovanja v sodobni selekciji

Rejec



- **Kaj prispeva:**
 - Odloči se za genotipizacijo novorojenih živali
 - Uporabi PV za zgodnjo selekcijo in ciljno parjenje
- **Strošek:** ~20 € / žival
- **Kaj pridobi:**
 - Hitrejše odločitve (pri 1-2 mesecih starosti živali)
 - Nižji stroški reje živali z nižjo genetsko vrednostjo
 - Možnost višje prodajne cene elitnih živali (s potrdilom o genotipizaciji in PV)
 - Uporaba naprednih reprodukcijskih tehnologij in drugih naprednih rejskih praks
- **Naslednji korak:**
 - Zadrži najboljše živali in omogoči zbiranje fenotipov za prihodnji genetski napredek

Selekcijske in strokovne službe



- **Kaj naredijo:**
 - Prevzem in preverjanje vzorcev (identiteta živali, kakovost vzorca)
 - Vnos genotipov v nacionalno podatkovno zbirko in povezava z rodovniki ter fenotipi
 - Izračun PV in priprava rezultatov za rejce
 - Svetovanje rejcem glede uporabe rezultatov
 - Vzdrževanje in razvoj informacijskih sistemov
- **Strošek:** vzdrževanje baz in programske opreme, analize podatkov in interpretacija
- **Kaj pridobijo:**
 - Boljši vpogled v populacijo, spremljanje genetskega napredka, nadzor inbridinga in identifikacija nosilcev nezaželenih alelov
 - Višja zanesljivost PV za celotno populacijo
 - Možnost usmerjanja reje na nacionalnem nivoju (zdravje, napredek, trajnostni cilji)
- **Naslednji korak:**
 - Redna posodobitev PV in preglednost podatkov
 - Priprava kataloga živali in orodij za odločanje
 - Podpora razvoju rejških programov in strateškemu načrtovanju

Raziskovalne institucije



- **Kaj naredijo:**
 - Analizirajo vpliv genomike na populacijo
 - Razvijajo in nadgrajujejo napovedne modele in sestavo odločitvenih kriterijev
 - Povezujejo se z mednarodnimi bazami in organizacijami
 - Uvajajo nove lastnosti v selekcijo (zdravje, dobrobit, trajnost, okoljski kazalniki)
- **Strošek:** analize, objave, kotizacije, članarine, računalniki in programska oprema
- **Kaj pridobijo:**
 - Krepitev nacionalnega znanja in strokovne podpore rejskemu programu
 - Mednarodno sodelovanje, vidnost in znanstvene objave
- **Naslednji korak:**
 - Prenos novih znanj v prakso in podpora pri oblikovanju nacionalnih politik

Resorno ministrstvo



- **Kaj naredi:**
 - Spremlja konkurenčnost, produktivnost in trajnost govedoreje
 - Oblikuje politike in podpore
 - Vključuje genomiko v nacionalne strategije in digitalno preobrazbo kmetijstva
- **Strošek:**
 - Podpora raziskavam, podatkovnim sistemom in rejski infrastrukturi
- **Kaj pridobi:**
 - Konkurenčnejša in trajnostna nacionalna govedoreja
 - Večja samooskrba, potencialno manjši okoljski odtis
- **Naslednji korak:**
 - Dolgoročna strateška podpora in povezava z mednarodnimi programi za večjo primerljivost in konkurenčnost

Sodelovanje za dolgoročen napredek



Skupni cilj

Sodobna in konkurenčna slovenska govedoreja, ki z uporabo genomskih orodij:

- krepi prehransko varnost
- povečuje gospodarsko učinkovitost
- prispeva k zahtevam sodobne prireje in varovanju okolja

Genotipizacija in genomska selekcija – skupna priložnost

- Genotipizacija ni luksuz, temveč ključno orodje, ki povezuje interese rejcev, stroke in države
- Genomika omogoča hitrejšo in natančnejšo odločitve ter širšo, učinkovitejšo selekcijo
- S sodelovanjem prinaša koristi vsem deležnikom
- Genomika ni oddaljena prihodnost – že danes je temelj sodobne, učinkovite in konkurenčne govedoreje
- Smo pripravljeni ta potencial izkoristiti tudi v Sloveniji?

Hvala za pozornost!

