

**Strokovne podlage za ohranitveno
upravljanje alpskega kozoroga (*Capra ibex*)
v Sloveniji**



Zavod za gozdove
Slovenije



Nosilec: Zavod za gozdove Slovenije, Večna pot 2, Ljubljana

Naslov naloge: Strokovne podlage za ohranitveno upravljanje alpskega kozoroga (*Capra ibex*) v Sloveniji

Avtorji: Tilen Hvala, mag. inž. gozd.
Maruša Prostor, univ. dipl. inž. agr.
Rok Černe, univ. dipl. inž. gozd.
dr. Andreja Nève Repe
dr. Matija Stergar
Miha Marenče, univ. dipl. inž. gozd
dr. Aleš Poljanec

Povzetek: Status alpskega kozoroga (*Capra ibex*; nadalje kozorog) v Sloveniji do nedavnega ni bil razjasnjen, saj ni bilo neposrednih dokazov o njegovi prisotnosti po zadnji poledenitvi, kar je onemogočalo izvajanje ohranitvenih ukrepov. Zadnje raziskave podajajo dovolj trdnih dokazov o prisotnosti kozoroga na območju Slovenije po ledenih dobah, kar potrjuje njegovo avtohtonost. Trenutno stanje populacije kozoroga ni v ugodnem stanju, saj večina kolonij tako prostorsko kot tudi številčno stagnira ali nazaduje. Zato je za dolgoročno ohranitev kozoroga v Sloveniji treba izboljšati njegovo upravljanje. Namen strokovnih podlag je zato prepoznati grožnje, ki ogrožajo populacijo kozoroga pri nas in predstaviti ukrepe za izboljšanje upravljanje, ki bodo zagotovili dolgoročen obstoj kozoroga v Sloveniji.

Ključne besede: *Capra ibex*, alpski kozorog, izvornost vrste, ohranitveno upravljanje, varstvo vrste, grožnje, upravljavski ukrepi, strokovne podlage

Predlog citiranja: Hvala T., Prostor M., Černe R., Neve Repe A., Stergar M., Marenče M., Poljanec A., Strokovne podlage za ohranitveno upravljanje alpskega kozoroga (*Capra ibex*) v Sloveniji. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.

Datum: 20.6.2025



KAZALO:

1. UVOD	8
2. PREDPISI, KI UREJAJO VARSTVO IN UPRAVLJANJE KOZOROGA	9
2.1 Mednarodni predpisi.....	9
2.2 Nacionalni predpisi.....	10
3. ZGODOVINA KOZOROGA V ALPAH IN V SLOVENIJI	11
3.1 Alpe.....	11
3.2 Slovenija	12
4. PONOVLNE NASELITVE, RAZVOJ IN UPRAVLJANJE KOLONIJ KOZOROGA	13
4.1 Ponovne naselitve in doselitve.....	13
4.2 Kolonija v Karavankah	14
4.3 Kolonija v Kamniško-Savinjskih Alpah	15
4.4 Kolonija v Julijskih Alpah (Triglavski narodni park in okoliške lovske družine)	15
4.5 Kolonija na območju LD Bovec	15
4.6 Odvzem.....	16
5. DANAŠNJE STANJE POPULACIJE	17
6. VZROKI OGROŽENOSTI ALPSKEGA KOZOROGA V SLOVENIJI.....	19
6.1 V preteklosti neurejen status vrste	19
6.2 Parjenje v sorodstvu	19
6.3 Pomanjkanje habitata in ekološke povezljivosti prostora	20
6.4 Pomanjkljivo usklajeno čezmejno upravljanje	23
6.5 Odsotnost enotnega spremljanja kolonij	23
6.6 Pomanjkanje mirnih con	24
6.7 Bolezni	24
6.8 Ostali vzroki	27
6.8.1. Človekov pritisk na gorski prostor	27
6.8.2 Gorska paša drobnice	28
7. OPREDELITEV OHRANITVENIH CILJEV	29



8. OPREDELITEV UPRAVLJAVSKIH UKREPOV, KI SO POTREBNI ZA OHRANITEV ALPSKEGA KOZOROGA.....	29
8.1 Utemeljitev upravljaljske odgovornosti	29
8.2 Doselitev osebkov v slovenske Alpe in nadaljevanje genetskih raziskav.....	31
8.3 Spremljanje populacije.....	31
8.3.1 Štetje kozorogov na linijskih transektih	32
8.3.2. Spremljanje genetskega stanja kolonij.....	32
8.3.3. Spremljanje zdravstvenega stanja.....	33
8.3.4. Spremljanje prek GPS telemetrije	33
8.3.5. Ostale metode spremljanja populacij kozoroga.....	34
8.4. Krepitev povezanosti kolonij	34
8.5 Odvzem.....	35
8.6 Čezmejno sodelovanje.....	35
8.7 Komunikacija z deležniki.....	37
8.8 Vzpostavitev mirnih con in omejitev polaganja soli/solnih kamnov.....	37
9. RAZVOJNO IN RAZISKOVALNO DELO	38
10. ZAKLJUČKI.....	40
11. VIRI IN LITERATURA.....	41
12. PRILOGE	47



KAZALO PREGLEDIC

Preglednica 1: Pregled vseh ponovnih naselitev in kasnejših doselitev kozoroga v Sloveniji.....	13
Preglednica 2: Trenutna številčnost kolonij kozorogov s populacijskim trendom.	17
Preglednica 3: Habitatne krpe in njihova velikost primernega habitata za kozoroga.....	21
Preglednica 4: Pregled možnih koridorjev in njihove funkcionalnosti.	23
Preglednica 5: Skupni odvzem kozoroga v obdobju 1996-2023 v Sloveniji glede na vzrok odvzema.....	25
Preglednica 6: Pregled nekaterih bolezni, ki so se v preteklosti pojavile pri kozorogu	26
Preglednica 7: Glavni in posebni cilji upravljanja kozoroga ter kazalniki le-teh za čezmejno območje Slovenija - Italija.	36



KAZALO SLIK

Slika 1: Odvzem kozoroga v Sloveniji med leti 1996 in 2023 glede na vzrok odvzema.....	16
Slika 2: Karta trenutne prostorske razširjenosti kozoroga (<i>Capra ibex</i> L.) v Julijskih (zgoraj) in Kamniško-Savinjskih Alpah (spodaj).. ..	18
Slika 3: Pregled potencialnih koridorjev.	22
Slika 4: Kozorog na paši z domačimi kozami pod vrhom Krasjega vrha nad Drežnico.	29

OKRAJŠAVE:

IUCN - Mednarodna zveza za ohranjanje narave

LD - Lovska družina

LPN - Lovišče s posebnim namenom

LUN - Lovsko upravljavski načrt

LZS - Lovska zveza Slovenije

TNP - Triglavski narodni park

WISO - Platforma Velike zveri in prostoživeče parkljarje ter družba

ZDLov-1 - Zakon o divjadi in lovstvu

ZGS - Zavod za gozdove Slovenije

ZON - Zakon o ohranjanju narave

1. UVOD

Alpski kozorog (*Capra ibex*; dalje: kozorog) v Sloveniji velja za ikonično vrsto z močnim ekološkim ter kulturo-zgodovinskim pomenom. Zaradi svoje karizmatičnosti ter poseljevanja habitatov, v katerih vladajo ekstremne razmere, predstavlja simbol neokrnjene narave in moči. Je endemit, ki biva samo na območju alpskega loka. Čeprav je kot domorodna vrsta opredeljen v vseh alpskih državah, vključujoč Italijo, s katero si neposredno delimo eno izmed kolonij, pa status kozoroga (domoroden ali tujeroden) v Sloveniji do nedavnega ni bil povsem razjasnjen. V nedavni študiji leta 2023 smo zbrali dovolj trdnih dokazov o prisotnosti kozoroga po ledenih dobah na območju Slovenije, kar je potrdilo njegovo avtohtonost (Nève Repe in sod., 2023). Vrsta je bila zaradi človekovega vpliva najverjetneje v 17. stoletju na območju Slovenije iztrebljena (Marenče, 1997). S ponovnimi naselitvami smo to vrsto vrnili v naravo. Kolonije na območju Slovenije so danes prisotne na območju Julijskih in Kamniško Savinjskih Alp, a so zaradi nizke številčnosti in njihove stagnacije oziroma upadanja, dolgotrajne izoliranosti in posledičnega parjenja v sorodstvu genetsko osiromašene (Bužan in sod., 2023). To, v primeru neukrepanja, vodi v postopen kolaps kolonij in lokalnega izumrtja. Genetsko sorodni osebki so bolj dovzetni za bolezni, manj reproduktivno sposobni in nevitelni. Pričujoč dokument temelji na podlagi projektov ALPBIONET2030, DINALPCONNECT in CIBioGO ter na izkušnjah pri upravljanju kozoroga v Sloveniji in načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanja divjadi. Namen Strokovnih podlag za ohranitveno upravljanje alpskega kozoroga (*Capra ibex*) v Sloveniji je prepoznati glavne grožnje za dolgoročno ohranjanje vrste, ter sistemsko in večplastno uvesti nujno potrebne ukrepe, ki bodo dolgoročno ohranili številčno in genetsko stabilne kolonije kozoroga, ki poseljujejo primeren habitat ter s tem preprečili ponovno izumrtje kozoroga na slovenskih tleh.

2. PREDPISI, KI UREJAJO VARSTVO IN UPRAVLJANJE KOZOROGA

2.1 Mednarodni predpisi

- Konvencija o varstvu prostoživečega evropskega rastlinstva in živalstva ter nujnih naravnih življenjskih prostorov (Bernska konvencija)

Slovenija jo je ratificirala leta 1999 (Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 17/99). Konvencija opredeljuje vse ukrepe, ki jih morajo evropske države izvajati za ohranjanje rastlinskih in živalskih vrst, navedenih v dodatkih. Zagotavljati morajo tudi ohranjanje ustreznih habitatov za te vrste. Kozorog je v Dodatku III Bernske konvencije naveden kot zavarovana vrsta, ki jo je dovoljeno upravljati ob nadzoru in predpisanih varstvenih ukrepih.

V dokumentu se vsaka članica zavezuje, da bo spodbujala ponovno naseljevanje domorodnih prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst, kadar bi to prispevalo k varstvu določene ogrožene vrste, pod pogojem, da se naredi študija glede na izkušnje drugih pogodbenic in ugotovi, da bi bilo tako ponovno naseljevanje učinkovito in sprejemljivo.

- Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst (v nadaljnjem besedilu: Direktiva o habitatih)

Direktiva o habitatih je eden izmed temeljnih predpisov s področja varstva narave na področju Evropske unije, ki so ga države članice dolžne vgraditi v svojo zakonodajo. Direktiva obvezuje države članice, da vzdržujejo ugodno stanje določenih habitatnih tipov in vrst na izbranih območjih, dogovorjenih s Komisijo. Kozorog je uvrščen v Prilogo V Direktive o habitatih, kar pomeni, da gre za živalsko vrsto v interesu skupnosti, pri kateri veljajo ukrepi upravljanja, ki vključujejo odvzem iz narave in izkoriščanje.

Države članice morajo v skladu z Direktivo o habitatih storiti vse, da na posebnih ohranitvenih območjih preprečijo slabšanje stanja naravnih habitatov in habitatov vrst ter vznemirjanje vrst, za katere so bila območja določena, če bi tako vznemirjanje lahko pomembno vplivalo na cilje te direktive. Direktiva je zato prenesena tudi v slovensko zakonodajo (podrobneje v poglavju 2.2).

- Konvencija o varstvu Alp (Alpska konvencija)

Konvencija ureja ohranjanje in trajnostno gospodarjenje na območju Alp, pogodbenice pa so vse alpske države. Slovenija jo je ratificirala leta 1995 (Uradni list RS – Mednarodne pogodbe, št. 5/95). Področje varstva narave posebej ureja Protokol o izvajanju Alpske konvencije iz leta 1991 na področju varstva narave in urejanja krajine, sestavljen leta 1994 in ratificiran leta 2003 (Uradni

list RS – Mednarodne pogodbe, št. 28/03), ki vsako pogodbenico zavezuje, da bo sprejela vse potrebne ukrepe za varstvo, urejanje in po potrebi tudi obnovo alpske narave in krajine kot tudi prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst, njihove raznovrstnosti in življenjskega prostora ob upoštevanju ekološko sprejemljive rabe. Za izvajanje konvencije je ustanovljenih več različnih delovnih skupin in platform. Problematiki velikih zveri in parkljarjev je posvečena platforma »Velike zveri in prostoživeči parkljarji ter družba« (WISO), ki je bila ustanovljena na deseti Alpski konferenci (2009), katere poslanstvo je poiskati rešitve za upravljanje velikih zveri in prostoživečih parkljarjev z upoštevanjem ekoloških, gospodarskih in družbenih vidikov.

2.2 Nacionalni predpisi

- Zakon o ohranjanju narave ((Uradni list RS, št. 96/04 - uradno prečiščeno besedilo, 61/06 - ZDru-1, 8/10 - ZSKZ-B, 46/14, 21/18 – ZNOrg, 31/18, 82/20, 3/22 – ZDeb, 105/22 – ZZNŠPP; v nadaljnjem besedilu: ZON)

ZON v okviru ohranjanja biotske raznovrstnosti določa splošno varstvo vseh prostoživečih rastlinskih in živalskih vrst, in sicer prepoveduje zniževati število rastlin ali živali posameznih populacij, ogrožati njihove habitate ali slabšati njihove življenjske razmere do take mere, da je vrsta ogrožena. Pri tem zahteva določitev ogroženih rastlinskih in živalskih vrst in njihovo uvrstitev na rdeče sezname s predpisom, v katerem se določi tudi stanju ogroženosti vrste ustrezen ukrep za izboljšanje stanja vrste. Med ukrepi sta tudi doseljevanje in ponovno naseljevanje. ZON tudi določa, da nadzor nad izvrševanjem določb ZON in predpisov, konkretnih upravnih aktov oziroma ukrepov, izdanih na njegovi podlagi, izvajajo inšpektorji, pristojni za ohranjanje narave, poleg teh inšpektorjev pa tudi lovski inšpektorji, če se določbe nanašajo na živalske vrste. ZON predpisuje tudi kazenske določbe za prekrške po tem zakonu.

- Zakon o divjadi in lovstvu (Uradni list RS, št. 16/04, 120/06 – odl. US, 17/08 in 46/14 – ZON-C, 31/18, 65/20, 97/20-popr., 44/22; v nadaljnjem besedilu: ZDLov-1)

Kozorog je v Direktivi o habitatih uvrščen v prilogo V, torej je z njim dovoljeno trajnostno upravljati z lovom. ZDLov-1 ureja upravljanje z divjadjo, ki obsega načrtovanje, ohranjanje, trajnostno gospodarjenje in spremljanje stanja divjadi ter načine njihovega izvajanja. Zakon Zavodu za gozdove nalaga pripravo desetletnih in dvoletnih lovskoupravljaljskih načrtov, ki obsegajo cilje, usmeritve in ukrepe za ohranitev populacij divjadi in njihovega življenjskega okolja, zagotovitev naravnega ravnovesja med divjadjo in okoljem ter zagotovitev trajnostne rabe divjadi z lovom. V okviru zakona je ponovno naseljevanje ter doseljevanje domorodnih vrst divjadi dovoljeno na osnovi načrtov lovsko upravljaljskih območij ter v skladu s predpisi s področja veterinarstva in ohranjanja narave.

- Uredbo o določitvi divjadi in lovni dob (Uradni list RS, št. 101/04 z dne 17. 9. 2004)

Uredba določa vrste prostoživečih sesalcev in ptic, ki so divjad, njihove lovne dobe ter vrste divjadi, ki se lahko lovijo s pastmi. Te vrste je dovoljeno loviti skladno z določili ZDLov-1. V 3. členu Uredbe so določene vrste prostoživečih sesalcev in ptic, ki so opredeljene kot divjad. Mednje spada tudi kozorog.

- Območni gozdnogospodarski in lovsko upravljavski načrti za obdobje 2021 - 2030 - (Uradni list RS, št. 116/2023 z dne 17. 11. 2023)

Območni gozdnogospodarski in lovsko upravljavski načrti so strateški dokumenti, ki usmerjajo razvoj slovenskih gozdov do leta 2030 (Poljanec in sod., 2023). Posebnost območnih načrtov je hkratna obravnava gozdnogospodarskih vsebin in vsebin upravljanja s prostoživečimi živalskimi vrstami, zato so načrti pomemben instrument gozdarske politike, zagotavljanja lovsko upravljalnih ciljev, pomembno pa prispevajo tudi k interesom drugih področij (varstvo narave, kmetijstvo in razvoj podeželja). Lovsko upravljavski načrti sledijo naslednjim strateškim ciljem: (1) trajnostno ohranjanje vitalnih populacij vseh avtohtonih vrst divjadi in drugih prostoživečih živali ter njihovih habitatov, (2) sooblikovanje življenjskega prostora divjadi in drugih prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst, (3) optimalna trajnostna raba vrst divjadi z lovom, (4) zmanjševanje ali preprečevanje nastajanja neželenih vplivov v okolju in (5) omejevanje prostorske razširjenosti in številčnosti invazivnih ter drugih tujerodnih vrst.

3. ZGODOVINA KOZOROGA V ALPAH IN V SLOVENIJI

3.1 Alpe

Kozorog je bil v obdobju Würma (poledenitveno obdobje v pleistocenu) razširjen po celotnih Alpah, kot tudi na nekaterih območjih visokega Krasa (npr. slovenski Kras in Velebit). Po zadnjih poledenitvah se je zaradi podnebnih sprememb areal kozoroga močno skrčil na visokogorske alpske habitate. Vrsta je bila na ozemlju celotnih Alp med 16. in 18. stoletjem skoraj povsem iztrebljena (Stüve in Nievergelt, 1991). Temu je botroval prelov, ki ga je napajalo ljudsko zdravilstvo (mnogim delom kozoroga so pripisovali magično moč - križ v srcu, kamen v želodcu) pa tudi splošna ne plašnost, ki je ena izmed vedenjskih značilnosti vrste. Kasneje se je tudi trofejno uveljavil, kar je privedlo do močnega upada populacije. V Avstriji poročajo, da so bili zadnji kozorogi iztrebljeni konec 18. stoletja, medtem ko je bil v Švici in Franciji iztrebljen v začetku 19. stoletja (Stüve in Nievergelt, 1991). Tako kot v preostalih Alpah je bil tudi v Sloveniji zaradi prelova in človekovega poseganja v gorska območja kozorog, po navedbah nekaterih avtorjev, iztrebljen okoli 17. stoletja (Umek, 1970; Galjot, 1997; Marenče, 1997).

Kozorogi so preživelii zgolj na območju sedanjega nacionalnega parka Grand Paradiso v Italiji, ker je kralj Emanuel II. Leta 1856 Gran Paradiso razglasil za kraljevi lovski rezervat, ter s tem prepovedal lov na kozoroga (Cousquer, 2013).

Konec 19. in v začetku 20. stoletja so nato sledile številne ponovne naselitve v vse Alpske države, vključno s Slovenijo. Naselitve in aktivni programi varstva so omogočili, da je vrsta danes v ločenih populacijah razširjena v celotnem alpskem loku, kjer so nekoč živeli njihovi predniki. Zadnje ocene kažejo, da celotna alpska populacija šteje okoli 53.000 osebkov, njeno stanje ogroženosti pa spada v kategorijo vrste zunaj nevarnosti, (IUCN Red list: Least concern) (Brambilla in sod., 2020; Toigo in sod., 2020) kar pomeni, da kozorog sedaj ni v nevarnosti izumrtja, vendar to velja za vrsto kot celoto upošteva je njeno globalno stanje.

Vse populacije na območju alpskega prostora izvirajo iz ponovnih naselitev razen dveh na območjih narodnega parka Vanoise v Franciji in narodnega parka Gran Paradiso. Ponovne naselitve so v preteklosti okrepile populacije kozoroga na območju celotnih Alp.

3.2 Slovenija

Do nedavnega ni bilo zanesljivih dokazov o prisotnosti kozoroga na območju Slovenije pred naselitvami. Prva verjetna omemba vrste je bila v knjigi Slava vojvodine Kranjske Janeza Vajkarda Valvasorja (1689), kjer omenja '*douije kosen*', vendar je težko z zagotovostjo trditi, da je v svojem zapisu opisoval kozoroga, namreč lahko je opisan tudi gams (Nève Repe in sod., 2023).

Raziskave pa so na podlagi arheoloških najdb kosti, ki po morfologiji pripadajo kozorogu, vrsto umestile v slovenski prostor v času pleistocena in holocena (Pohar, 1993). Med najstarejše ostanke tistega obdobja na območju Slovenije sodi odlomek koželjnice s koliščarskega naselja na Starih Gmajnah pri Verdu iz druge polovice 4. tisočletja pr. n. št. (Toškan, 2022). O prisotnosti kozoroga v času starejše železne dobe pričajo tudi najdišča z območja Mosta na Soči, Kranja in Stične (Toškan in Bartosiewicz, 2018; Toškan, 2022; Bökönyi, 1994). Na območju Kranja so bile najdene kosti kozoroga tudi iz časa pozne antike (Toškan, 2022). V isto obdobje spada tudi 14 kostnih ostankov kozoroga, najdenih na Tonovcovem gradu nad Kobaridom (Toškan in Dirjec, 2011). Iz obdobja zgodnjega srednjega veka so arheologi našli kozorogovo okostje na ruševinah gradišča nad Pivko pri Naklem (Valič, 1968; Rakovec, 1973).

Na osnovi najdb pri Tonovcovem gradu nad Kobaridom so genetske raziskave prek analiz 4 kostnih ostankov s pomočjo analize starodavne DNK potrdile, da ostanki z gotovostjo pripadajo kozorogu in datirajo v obdobje pozne antike oziroma zgodnjega srednjega veka (Nève Repe in sod., 2023).



Na podlagi zgoraj omenjenih raziskav lahko trdimo, da je bil kozorog od pozne antike do iztrebitve v 17. stoletju, v okolju, podobnem današnjemu, prisoten tudi v Sloveniji, kar potrjuje njegovo domorodnost tudi v Sloveniji.

4. PONOVDNE NASELITVE, RAZVOJ IN UPRAVLJANJE KOLONIJ KOZOROGA

4.1 Ponovne naselitve in doselitve

Prve ponovne naselitve kozorogov so potekale konec 19. stoletja na območje Ljubelja (Karavanke). Sledila je ponovna naselitev na območje Kamniško-Savinjskih Alp v začetku petdesetih let 20. stoletja, zadnje območje naselitev pa so bile Julijske Alpe. Slednje območje je do danes v več intervalih prejelo največ osebkov kozoroga iz različnih alpskih donorskih populacij (preglednica 1).

Preglednica 1: Pregled vseh ponovnih naselitev in kasnejših doselitev kozoroga v Sloveniji. Povzeto po: Adamič in Marenče, 1997; Komac, 1997; Šašel, 1997; Galjot, 1997; Favalli in sod., 2001; Favalli, 2007; Genero, 1998; Genero, 1997.

LETO	ŠT. OSEBKOV	IZVOR ŽIVALI	SPOL	
			SAMCI	SAMICE
Ljubelj				
1897	5	Nižja Avstrija	5 križancev*	
1952-1962	NA	Švica, Nemčija in Italija	NA	
1970	5	Granbunden, Švica	2	3
Triglavski narodni park				
1964/65	16	Gran Paradiso, Italija	8	8
1971	12	Graubunden, Švica	6	6
1973	6	Graubunden, Švica	2	4
1974	6	Gran Paradiso, Italija	3	3
1975	12	4 Gran Paradiso, Italija; 8 Graubunden, Švica	12	
1979	15	Graubunden, Švica	12	3
LD Bovec				
1975	2	Gran Paradiso, Italija	1	1
1978	6	Graubunden, Švica	3	3
LPN Kozorog Kamnik				
1951	4	Graubunden, Švica	1	3



1961	4	Graubunden, Švica	2	2
1964	4	neznano	2	2
1965	2	neznano	1	1
1967	7	Gran Paradiso, Italija	3	4
Kanin (ITA)				
2002	6	Parco Alpi Marittime, Italija	3	3
2003	6	Zoo Salisburgo-Wildpark Langenberg, Švica	3	3
2004	7	Zoo Salisburgo-Wildpark Langenberg, Švica	3	4
2006	5	Zoo Salisburgo-Wildpark Langenberg, Švica	2	3

*Križanci so osebki, ki so križani med kozorogom in domačo kozo. V času Julija Borna je veljalo biološko povsem zmotno prepričanje, da je kozoroge mogoče uspešno križati z domačo kozo, nato pa z dodajanjem čistokrvnih samcev in odstrelom križancev (samcev) najkasneje v treh do petih rodovih vzgojiti spet genetsko čiste živali enake vrste (Galjot, 1997).

4.2 Kolonija v Karavankah

Kozoroge so pričeli naseljevati na območje Karavank s prihodom Julija Borna v Tržič, ki je želel popestriti svoja lovišča. S tem namenom je leta 1897 v oboro zagrejeno na pobočju Košute pripeljal prvih 5 živali, to so bili križanci med kozorogom in domačo kozo. Kasneje, ko je gospodarjenje z loviščem na Ljubelju prevzel sin Frederik Born, je kozoroge spustil v naravo in nenehno dodajal nove živali. Do leta 1906 v kolonijo niso posegali, razen z ilegalnim odstrelom, saj so bili kozorogi zaščiteni. Po letu 1906 pa so pričeli z odstrelom, odstranjevali so le živali, ki so kazale znake križanja in trofejno močne samce. Po ponovnih naselitvah ob koncu 19. stoletja je do prve svetovne vojne kolonija štela okoli 50-60 živali. Obdobje vojne je kolonijo zdesetkalo in ob koncu vojne so na tem področju beležili samo še 8 živali. Po vojni si je kolonija številčno opomogla in do druge svetovne vojne štela približno 70 do 80 osebkov. Pojav druge svetovne vojne je ponovno negativno vplival na številčnost kolonije, ki je ob koncu štela le še 10 živali. Leta 1949, ko so se ustanovila gojitvena lovišča, je upravljanje z divjadjo (in s tem tudi s kozorogom) prevzelo gojitveno lovišče Karavanke, ki je v letih 1953, 1956 in 1970 doselilo 14 živali. Številčnost kolonije se je po doselitvah povečala; izbruh gamsjih garij leta 1979 pa je ponovno povzročil hiter upad. V želji po ohranitvi vrste na tem območju so v tem obdobju zgradili oboro (8 ha), v kateri so preostale kozoroge zdravili z razkuževalno kopeljo, kar pa se je v kombinaciji s ponovnim izbruhom gamsjih garij izkazalo kot neučinkovito. Kasneje leta 1981 pa se je zaradi snežnega plazu podrl del karantenske obore, kar je kozorogom omogočilo pobeg v prosto naravo. Od tedaj se je beležil postopen upad številčnosti kolonije. Leta 1992 je bil uplenjen zadnji osebek na območju, ki je bil okužen z gamsjimi garjami. Od takrat v Karavankah ni več prisotnosti kozoroga, kar je

povzročilo lokalno izumrtje kolonije na tem območju (Galjot, 1995; Galjot, 1997; Galjot, 1998; Veternik, 2022).

4.3 Kolonija v Kamniško-Savinjskih Alpah

Po ponovnih naselitvah kozorogov v Kamniško-Savinjskih Alpah (Slivnica pod Brano, Bobnarjev plaz in Jermanica) med leti 1951 in 1967 se je kolonija uspešno povečevala in leta 1991, ko so zabeležili prvi večji izbruh gamsjih garij, je kolonija štela več kot 80 živali. Po izbruhu garij se je številčnost spustila na okoli 20 živali. Sledila je revitalizacija kolonije, ki je povzročila ponoven vzpon številčnosti na okoli 60 osebkov. Zadnji močnejši izbruh garij beležimo v letu 2011, le-ta je ponovno zdesetkal kolonijo na okoli 30-35 živali. Od tedaj kolonija številčno stagnira (Šašelj, 1997; Galjot 1998; Veternik, 2022).

4.4 Kolonija v Julijskih Alpah (Triglavski narodni park in okoliške lovske družine)

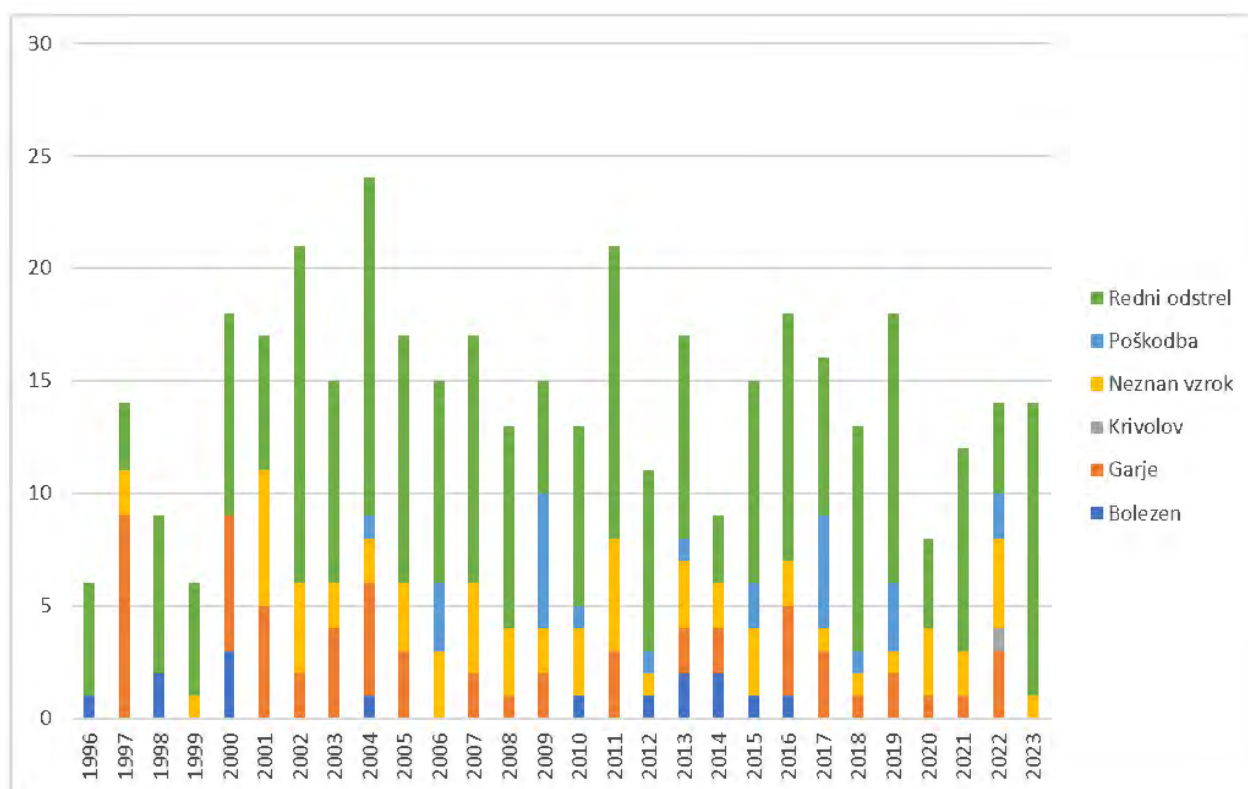
Kolonija v Julijskih Alpah je najpomembnejša kolonija kozoroga pri nas, saj poseljuje največje habitatne krpe razpoložljivega primernehabitata. Prva ponovna naselitev je bila izvedena na območju Triglavskega narodnega parka (dalje TNP) leta 1965 (Nève Repe, 2024), sledilo je več doselitev do leta 1979. Po zadnji doselitvi je sledil prvi pojav gamsjih garij, ki je negativno vplival na trend številčnosti. Nekaj let po pojavu garij se je kolonija ponovno pričela povečevati in leta 1996 štela že več kot 300 živali. Leta 2000 se je ponovno pojavil močnejši izbruh gamsjih garij, ki so številčnost kozorogov zmanjšale na okoli 130 živali. Od tedaj ne beležimo več izrazite rasti številčnosti kozoroga na tem območju in kolonija bolj ali manj stagnira (Adamič in Marenče, 1997; Galjot, 1998; Razpet, 2022).

4.5 Kolonija na območju LD Bovec

Leta 1968 sta na območje LD Bovec migrirala dva kozoroga iz novonastale kolonije v Julijskih Alpah, kar je sprožilo napore za doselitve kozorogov tudi na desnem bregu reke Soče, med leti 1975 in 1978. Tako kot v koloniji v TNP so tudi v LD Bovec v začetku 80. let prejšnjega stoletja zabeležili močan izbruh gamsjih garij, ki je zdesetkal kolonijo. Po tem se je številčnost ponovno povečala in konec prejšnjega stoletja štela okoli 80 živali. Naselitvi v LD Bovec je leta 2000 sledila tudi ponovna naselitev 9 kozorogov na italijanski strani Kaninskega pogorja, ki je funkcionalno povezana s slovensko kolonijo. Po naselitvi je bil z LD Bovec podpisan sporazum, da se na slovenski strani Kaninskega pogorja kozorogov ne lovi vsaj 5 let od naselitve (Komac, 1997; Galjot 1998; Razpet, 2022).

4.6 Odvzem

Kozorog je v Sloveniji lovna vrsta (ZdLov-1). Način upravljanja s kozorogom z vidika lova ostaja že desetletja enak. Z odstrelom praviloma posegamo samo med stare oziroma prestarele koze, med bolne osebke ter telesno in trofejno podpovprečne osebke vseh starostnih razredov. Srednji starostni razred v največji meri varujemo. S tem varujemo reproduktivni del populacije (Lovsko upravljavski načrt II. Gorenjskega..., 2023, Lovsko upravljavski načrt XI. Triglavskega..., 2023). Velik del odvzema na ravni Slovenije predstavljajo izgube zaradi bolezni, katere v veliki večini predstavljajo gamsje garje (slika 1). Poleg garij in ostalih bolezni so kozorogi podvrženi raznim poškodbam in drugim naravnim izgubam (snežni plazovi ipd.). V obdobju 1996-2023 so naravne izgube v realiziranem odvzemu kozoroga predstavljale približno 40% realiziranega odvzema (preglednica 6), pri čemer se je treba zavedati, da zaznava vseh poginulih osebkov v praksi ni mogoča. V obdobju med leti 2011 in 2023 je bil v povprečju realiziran odvzem znatno nižji od načrtovanega odvzema - realiziran odvzem je znašal 69,1 % načrtovanega odvzema. Upravljanje s kozorogom v smislu načrtovane spolne in starostne strukture odvzema se vrši samo na območju LD Bovec in LD Log pod Mangrtom.



Slika 1: Odvzem kozoroga v Sloveniji med leti 1996 in 2023 glede na vzrok odvzema.

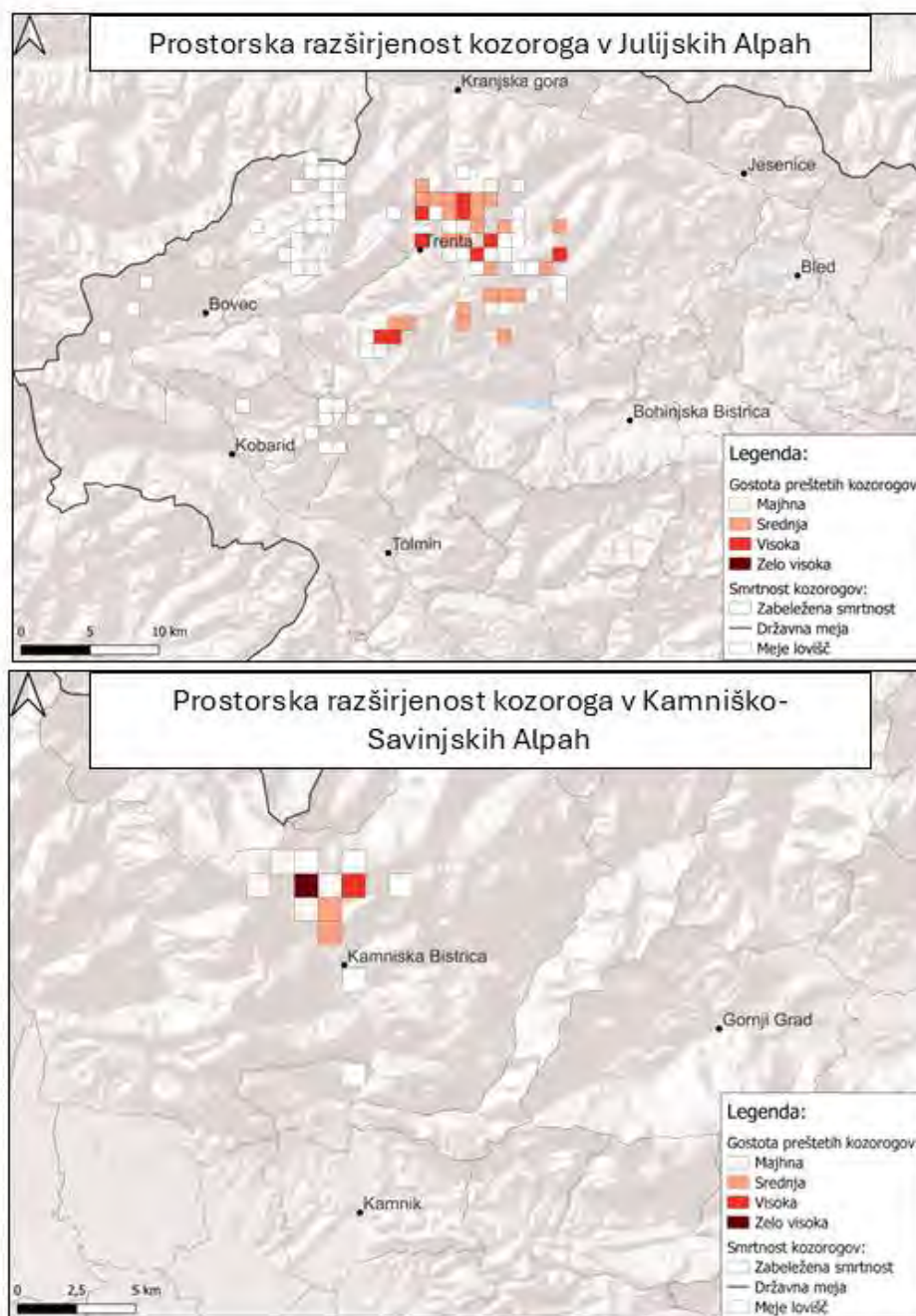


5. DANAŠNJE STANJE POPULACIJE

V Sloveniji nimamo sistemsko urejenega rednega in enotnega načina monitoringa (spremljanja) številčnosti in prostorske razširjenosti za to vrsto, zato se za pridobitev tovrstnih podatkov opiramo na štetja kozorogov, ki jih redno izvajata Triglavski narodni park (TNP) v Julijskih Alpah in lovišče s posebnim namenom (LPN) Kozorog Kamnik v Kamniško-Savinjskih Alpah ter na lokalne ocene ostalih upravljavcev lovišč, ki pretežno temeljijo na naključnih (nesistematičnih) opažanjih. Trenutno ocenjeno številčnost posameznih kolonij kozorogov in njihove trende prikazujemo v spodnji preglednici.

Preglednica 2: Trenutna številčnost kolonij kozorogov s populacijskim trendom (povzeto po: Nève Repe in sod., 2023).

Kolonija	Številčnost kozorogov v koloniji	Trend
Julijske Alpe (TNP in sosednja lovišča)	150	Padajoč
Kamniško-Savinjske Alpe	30-35	Padajoč
Kanin (ITA)	170-190	Naraščajoč
LD Bovec	70-80	Naraščajoč



Slika 2: Karta trenutne prostorske razširjenosti kozoroga (*Capra ibex* L.) v Julijskih (zgoraj) in Kamniško-Savinjskih Alpah (spodaj). Z belo barvo so označeni kvadranti, v katerih je v zadnjih 10 letih bil zabeležen odvzem kozorogov. Z rdečo barvo so označeni kvadranti z različno gostoto preštetihih osebkov, ki izhaja iz povprečja preštetihih osebkov med leti 2014 in 2021 (Vir štetja kozorogov: TNP in LPN Kozorog Kamnik, vir odvzema: Osrednji slovenski lovski informacijski sistem - OSLIS). *Opomba: na območju Kaninskega pogorja je številčnost, prisotnost in prostorska razširjenost kozoroga bistveno večja kot prikazuje zgornja karta, a zaradi pomanjkanja podatkov o štetju kozorogov in ker LD Bovec na območju ne izvaja odvzema kozoroga, ni bilo mogoče pripraviti podrobnejše karte prisotnosti.

6. VZROKI OGROŽENOSTI ALPSKEGA KOZOROGA V SLOVENIJI

V nadaljevanju prepoznani vzroki ogroženosti za dolgoročen obstoj kozoroga na območju Slovenije so grožnje, ki so bile identificirane in opredeljene na delavnici 'Alpski kozorog včeraj, danes, jutri' z dne 19. 10. 2022 na Bledu s strani raziskovalcev, upravljavcev prostora ter gozdarske in veterinarske stroke. Na delavnici dne 12. 1. 2024 smo s participacijo strokovnjakov s področja ekologije, arheologije, genetike, gozdarstva ter upravljanja gorskih ekosistemov prepoznane grožnje podrobneje opredelili ter določili potrebne upravljalvske ukrepe za njihovo naslavljanje.

6.1 V preteklosti neurejen status vrste

V preteklosti ni bilo neizpodbitnih dokazov o avtohtonosti kozoroga v Sloveniji, saj so dokazi večinoma izhajali iz drugih delov Alp (Stüve in Nievergelt, 1991). Posredni znaki, kot na primer omemba v Slavi vojvodine Kranjske Janeza Vajkarda Valvasorja (1689), ter nekateri morfološki dokazi (Valič, 1938; Rakovec, 1973), nakazujejo prisotnost kozoroga na območju Slovenije, vendar niso zadostovali za potrditev avtohtonosti.

Zaradi pomanjkanja neizpodbitnih dokazov je Kryštufek leta 1991 zapisal, da ni trdnih dokazov o avtohtonosti kozoroga v Sloveniji. V poročilu projekta Neobiota Sloveniae iz leta 2013 pa so brez navajanja virov ali dokazov zapisali, da je kozorog alohton (Kos in Potočnik, 2012).

Novejši morfološki dokazi (Toškan in Drejec, 2011; Toškan in Bartosiewicz, 2018; Toškan, 2022) potrjujejo prisotnost kozoroga na območju Slovenije. Ključno potrditev pa je prinesla genetska analiza starodavnih vzorcev DNK (Neve in sod., 2023), ki je potrdila prisotnost kozorogov na območju Slovenije v obdobju pozne antike.

Na podlagi vseh navedenih dokazov lahko zaključimo, da je kozorog avtohtona vrsta v Sloveniji, ki je bila najverjetneje v 17. stoletju iztrebljena (Umek, 1970; Galjot, 1997; Marenče, 1997). Potrditev avtohtonosti kozoroga zavezuje Slovenijo k ohranjanju vrste v ugodnem stanju skladno z mednarodno zakonodajo, kot so Bernska konvencija, Direktiva o habitatih in Alpska konvencija.

6.2 Parjenje v sorodstvu

Vsak organizem, ki se spolno razmnožuje, nosi določene škodljive dedne lastnosti (recesivni ali pol-recesivni aleli). V velikih populacijah ti škodljivi geni ne povzročajo večje škode, saj je verjetnost, da bi jih posameznik podedoval od obeh staršev, nizka. V majhnih populacijah (kolonijah) pa je ta verjetnost večja, kar lahko povzroči izražanje škodljivih lastnosti, slabšo prilagoditev na okolje, nižje preživetje in manjši uspeh pri razmnoževanju (Crnokrak in Roff, 1999;

Hendrick in sod., 2000; Allendorf in Luikart 2009; Johnson in sod., 2010; Weeks in sod., 2015). Ta pojav imenujemo parjenje v sorodstvu, ki lahko pomembno prispeva k izumiranju majhnih populacij (Crnokrak in Roff, 1999).

Da se parjenje v sorodstvu prepreči, moramo v naravi ohranjati ustrezne efektivne velikosti populacij prostoživečih živali, ki znašajo 0,1 - 0,11 dejanske številčnosti populacije (Frankham, 2009). Že raziskave iz leta 1980 (Franklin, 1980) kažejo, da je efektivna populacija 50 osebkov premajhna, da bi preprečila škodljive učinke parjenja v sorodstvu. Danes velja, da je v izogib kratkoročnemu izumrtju populacije potrebna efektivna velikost populacij vsaj 100 osebkov. Za dolgoročno ohranitev evolucijskega potenciala vrst pa je ocenjeno, da je potrebna efektivna velikost populacije vsaj 1000 živali (Frankham in sod., 2014).

Nekatere genetske raziskave so bile opravljene tudi na kozorogu. Negativen vpliv majhnih velikosti in izoliranosti populacij na kozoroga so raziskovali v sosednji Avstriji, kjer so Unterköfler in sodelavci (2023) ugotovili, da parjenje v sorodstvu dolgoročno zmanjšuje populacijsko rast, kar posledično privede do izumiranja na ravni kolonij.

V Sloveniji so Bužan in sodelavci (2023) analizirali genetsko raznolikost kolonij kozorogov na območju Julijskih Alp in Kamniško Savinjskih Alp. Ugotovljeno je bilo, da sta obe populaciji genetsko zelo osiromašeni, kar pomeni, da je stopnja parjenja v sorodstvu visoka. Parjenje v sorodstvu v kombinaciji z genetskim zdrsom dolgoročno zmanjšuje preživetje osebkov ter vodi v upad številčnosti populacij (Crnokrak in Roff, 1999).

Učinkovit ukrep za preprečitev parjenja v sorodstvu v majhnih kolonijah oziroma populacijah in posledično preprečitev njihovega izumrtja, je doselitev osebkov iz drugih genetsko bolj stabilnih populacij (Weeks in sod., 2015), kar je nuno potrebno izvesti tudi v Sloveniji. Dolgoročno je treba omogočati povečevanje številčnosti kolonij in njihovo medsebojno povezovanje znotraj Slovenije in z ostalim alpskim prostorom.

6.3 Pomanjkanje habitata in ekološke povezljivosti prostora

Primeren habitat za kozoroga v Sloveniji predstavljajo gorski masivi Julijskih Alp, Kamniško Savinjskih Alp ter Karavank. Na teh območjih prevladujejo odprti vegetacijski tipi ob in nad zgornjo gozdno mejo. V Kamniško Savinjskih Alpah, kjer je velikost habitatne krpe 42 km² so to območja Grintovca, Jezerske Kočne, Kalškega grebena, Skute in Brane. V Karavankah so najbolj primerna območja v okolici Košute, Velikega vrha, Ljubelja in Stola, ki skupaj zavzemajo habitatno krpo v velikosti 27 km². V Julijskih Alpah, se nahaja največja habitatna krpa (167 km²) in zajema območje Krna, Črne prsti, Velikega Špičja, Triglava, Škrlatice, Razorja, Kriških podov, Jalovca, Mangarta. Območje primernosti prostora za kozoroga v obmejnem območju prav tako zavzema

habitatne krpe na italijanski strani, ki so veliko manjše kot v Sloveniji (Kanin 19 km² in Montaž 21 km²), ki pa imajo trenutno veliko višje gostote kozorogov (Kanin 170-190 osebkov in Montaž 700-750 osebkov) (Neve Repe in sod., 2023).

Suboptimalen habitat oz. življenjski prostor pod gozdno mejo, ne zagotavlja vseh potrebnih pogojev za optimalno preživetje in razmnoževanje vrste. To lahko vključuje pomanjkanje hrane in neprimerne podnebne razmere. Posledično vrste v takem habitatu doživljajo nižjo stopnjo preživetja in manjši reproduktivni uspeh.

Preglednica 3: Habitatne krpe in njihova velikost primerne habitatna za kozoroga.

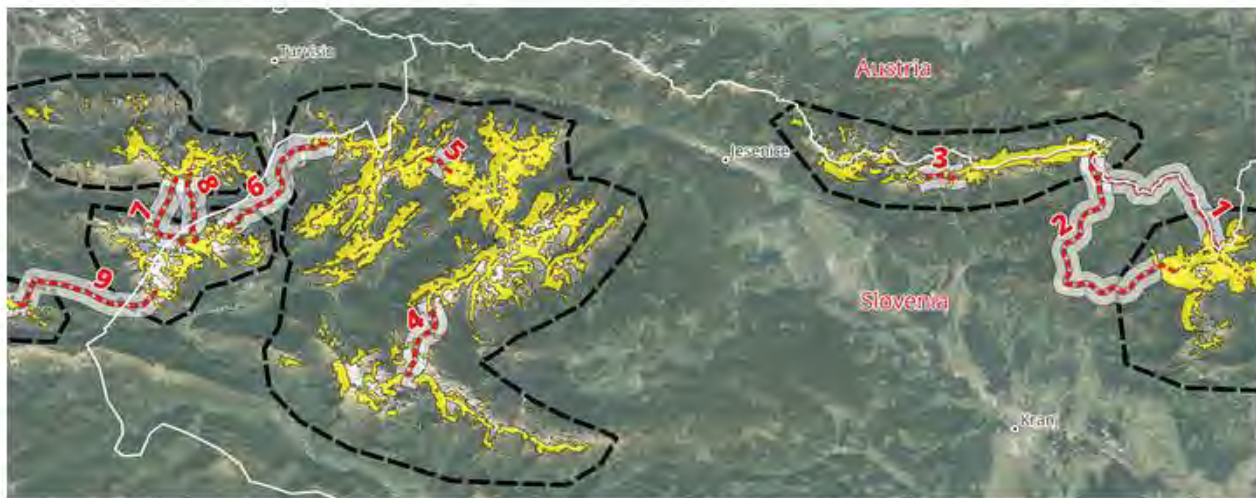
Habitatna krpa	Velikost (km ²)
Julijske Alpe (TNP in lovišče Bovec)	167
Karavanke	27
Kamniško-Savinjske Alpe	42
Kanin (Slovenija - Italija)	19
Montaž (Italija)	21

Na habitat kozoroga imajo velik vpliv tudi podnebni dejavniki, predvsem temperatura zraka in debelina snežne odeje, zato je izbira življenjskega prostora kozoroga odvisna od vremenskih razmer (Grinolio in sod., 2002). Podnebni dejavniki se z dvigom temperatur spreminjajo, kar vpliva tudi na habitat kozoroga, saj se območja primerne življenjskega prostora krčijo na višje nadmorske višine. V vročih dneh kozorogi povečajo svojo aktivnost ponoči, da bi se izognili vročini in vročinskemu stresu (Grinolio in sod., 2004) Podnebne razmere vplivajo tudi na zdravstveno stanje živali, saj se ob neugodnih podnebnih razmerah in ob pomanjkanju kakovostne krme pojavljajo večji izbruhi garij (Vengušt in sod., 2020). Bonaglia in sodelavci (2024) so v študiji ugotovili, da se zaradi podnebnih sprememb in vedno bolj frekventnih podnebnih ekstremov (suše, visoke temperature) kozorogi na te dejavnike odzivajo s premikanjem v višje lege in izbiro bolj osenčenih leg. Analiza habitata kaže, da je kljub globalnemu segrevanju v slovenskih Alpah dovolj primerne habitatna za ohranjanje kozoroga.

Ekološka povezljivost življenjskega prostora populacij prostoživečih živali je eden izmed najpomembnejših dejavnikov, ki dolgoročno vplivajo na vitalnost populacij. Povezan življenjski prostor omogoča prost prehod osebkov med habitatnimi krpami in je osnova za prenos dednine,

kar je temelj genetske raznovrstnosti. Slaba ali prekinjena ekološka povezljivost vodi v fragmentacijo življenjskega prostora in izoliranost populacij ter posledično višje stopnje parjenja v sorodstvu.

Kozorog je vezan na gorsko-skalnate habitate, kar se kaže tudi v povezljivosti habitata, saj območja pomembna za povezljivost potekajo po gorskih grebenih in strmih pobočjih. Z analizo povezljivosti prostora so Neve Repe in sodelavci (2023) opredelili 9 koridorjev, njihove dožine pa se gibljejo med 2.123 m in 23.457 m. Koridorji so krajši na območju Julijskih Alp, izrazito dolgi pa so na skrajnem vzhodu med Kamniško-Savinjskimi Alpami in Karavankami (greben Košute). Najdaljši koridorji za prehajanje kozorogov ne omogočajo povezljivosti med habitatnimi krpami. Pomembno je dejstvo, da zgolj dva koridorja nista prekinjena z antropogenimi strukturami (cestna ali druga infrastruktura). Cestna infrastruktura, ki seka koridorje za živali, na splošno ni neprehodna, saj ceste na tem območju niso ograjene, vendar ni jasno v kolikšni meri predstavljajo oviro prehajanju kozorogov, saj podatkov o tem nimamo. Kar dva koridorja potekata preko pomembnih cestnih prelazov – Vršič in Predel. Oba sta pogosto prometno zelo obremenjena, kar lahko predstavlja dodatno težavo za njihovo prepustnost. Prometna obremenjenost na teh območjih je sicer največja v poletnih mesecih, ne pa v času prska (december-januar), ko je mobilnost kozorogov največja.



Slika 3: Pregled potencialnih koridorjev.

Preglednica 4: Pregled možnih koridorjev in njihove funkcionalnosti.

	Koridor	Dolžina (km)	Problem
1	Karavanke 1	17,5	Dolžina koridorja, regionalna cesta
2	Karavanke 2	23,5	Dolžina koridorja, regionalna cesta
3	Ljubelj	2,1	/
4	Krn	5,9	/
5	Vršič	2,2	Regionalna cesta
6	Kanin	12	Suboptimalen habitat, regionalna cesta
7	Montaž 1	7	Suboptimalen habitat, možne ovire pri gibanju
8	Montaž 2	5,8	Suboptimalen habitat, možne ovire pri gibanju
9	Lopič	13,3	Dolžina koridorja, suboptimalni habitat

6.4 Pomanjkljivo usklajeno čezmejno upravljanje

Območje prisotnosti kozoroga meji na sosednje države, saj si habitat v Julijskih Alpah delimo z Italijo, v Kamniško Savinjskih Alpah pa z Avstrijo. Način upravljanja z vrsto je med navedenimi državami zelo različen. Medtem, ko je kozorog v Italiji in Avstriji že od nekdaj prepoznan kot domorodna vrsta, je bilo to v Sloveniji dokončno potrjeno šele z novjšimi raziskavami (Neve Repe in sod., 2023). Dodatno je na obmejnih območjih s Slovenijo v Italiji kakršnokoli upravljanje vrste z lovom prepovedano, v Sloveniji in Avstriji pa kozorog spada med lovne vrste in je zato odvzem v omejenem obsegu dovoljen. Prepoznati je tudi pomanjkanje čezmejnega sodelovanja v smislu ekoloških raziskav, izmenjave podatkov, znanja in splošne komunikacije med odločevalci (Poljanec in sod., 2019).

6.5 Odsotnost enotnega spremljanja kolonij

Območja prisotnosti kolonij kozorogov imajo različne upravljavce (LPN Triglav, LPN Kozorog Kamnik in več lovskih družen); metode spremljanja (beleženja prisotnosti in številčnosti) kolonij med upravljavci niso usklajene. Na območju lovskih družen pa v večini primerov sistematičnega spremljanja kolonij oziroma skupin osebkov ne izvajajo in informacije o stanju kolonij (skupin)



temeljijo zgolj na naključnih opažanjih s terena s strani lovcev (t. i. mehke informacije). Pomanjkanje enotne metodologije spremljanja populacij lahko vodi v pomanjkljive informacije o stanju določene vrste oziroma podcenjevanja/precenjevanja zastopanosti vrste (kozoroga) na nekem območju in posledično do suboptimalnega upravljanja populacije.

6.6 Pomanjkanje mirnih con

V Sloveniji še nimamo vzpostavljenih mirnih con na območju prisotnosti kozoroga, ki bi zagotavljale ugodne pogoje za obstoj kozorogov predvsem v najbolj kritičnem času v letu (tj. pozimi, ko primanjkuje hrane in morajo kozorogi varčevati z energijo ter v času visoke brejosti samic in pleganja mladičev). Kozorogi si vsako leto izbirajo specifične letne in zimske domače okoliše, ki se praviloma ne spreminjajo in ostajajo enaki. V spomladanskem in poletnem času je obseg domačega okoliša praviloma večji kot v zimskem času (Parrini in sod., 2003). Na višjih nadmorskih višinah, kjer se kozorogi zadržujejo poleti, je smiselno vzpostaviti večja območja mirnih con v primerjavi z nižjimi nadmorskimi višinami, ki predstavljajo njihova zimska zatočišča (Grignolio in sod., 2002).

6.7 Bolezni

Kozorog se lahko okuži z boleznimi, ki jih prenašajo prežvekovalci; tako domači kot prostoživeči (predvsem gamsi in drobnica). Populacija kozorogov v Sloveniji je na bolezni najverjetneje bolj dovzetna, saj je v populacijah prostoživečih živali, kjer je prisotna visoka stopnja parjenja v sorodstvu, stopnja odpornosti na bolezeni nižja (Benoton in sod., 2018; Pérez-González in sod., 2021).

Od bolezeni, ki lahko vplivajo na številčnost in vitalnost populacij (kolonij) kozoroga, najbolj izstopajo gamsje garje (*Sarcoptes scabiei*), ki so skozi zgodovino po ponovnih naselitvah na območju Slovenije bile pomemben vzrok smrtnosti (Galjot, 1995). V LPN Kozorog Kamnik so na nekaj odstreljenih osebkov med letoma 2011-2012 izvedli parazitološke preiskave, ki so pokazale, da so imeli oboleli kozorogi hudo invadiranost z malimi pljučnimi zajedalci in črevesno želodčnimi zajedalci (Veterinik, ustni vir). Pomembno je izpostaviti, da so gamsje garje v naravi stalno prisotne in s tem tudi del naravnega procesa. Večji izbruhi okuženosti z gamsjimi garjami (tako pri gamsu kot pri kozorogu) se ponavadi pojavljajo ciklično, kar je najverjetneje povezano z porušenjem vitalnosti gostiteljske vrste, kar jo oslabi in se dovzetnost za močnejšo okužbo z gamsjimi garjami poveča (Bidovec, 1976). Sklepamo, da je visoka smrtnost kozorogov zaradi okuženosti z gamsjimi garjami tudi posledica visoke stopnje parjenja v sorodstvu ter s tem zmanjšani vitalnosti osebkov in višji dovzetnosti za okužbo.

V Sloveniji se je v preteklosti ponavljal infekcijski keratokonjunktivitis, vendar že več kot 30 let ni bilo zaznane njegove prisotnosti (Vengušt, ustni vir) (preglednica 6). Od leta 1996 se odvzem kozoroga v Sloveniji tudi sistematično spremlja, kar nam omogoča vpogled v trende in vzroke smrtnosti kozoroga. Več kot 40 odstotkov vsega odvzema kozoroga predstavljajo naravne izgube (bolezni, poškodbe, neznani vzroki) (preglednica 5).

Preglednica 5: Skupni odvzem kozoroga v obdobju 1996-2023 v Sloveniji glede na vzrok odvzema.

Vzrok odvzema	Število (1996-2023)	Delež (%)
Bolezni (garje vključene)	76	18,7
Redni odstrel	239	58,9
Ostalo (poškodbe, neznani vzroki)	91	22,4
Skupaj	406	100

Med kozorogi so razširjene tudi druge bolezni, vendar do sedaj niso bile zaznane v Sloveniji. V populaciji kozoroga v masivu Bargy (francoske Alpe) samice prenašajo okužbo z brucelozo (*Brucella melitensis*), ki se prenaša tudi na druge živalske vrste in ljudi (Lambert in sod., 2021). V Švicarskih populacijah se iz domačih ovc na kozoroge prenaša gniloba kopit oz. infekcijski pododermatitis (Moore-Jones in sod., 2021).

Gamsje garje so prisotne tudi v populaciji iberskega kozoroga (*Capra pyrenaica*), kjer so raziskave pokazale, da so kozorogi zaradi dolgotrajne izpostavljenosti bolezni razvili odpornost na tega parazita. V skoraj dvajsetletnem obdobju raziskave se je razširjenost garij zmanjšala za približno 50 %, število kozorogov, ki so spontano okrevali brez kakršnegakoli zdravljenja, pa se še naprej povečuje. Dolgotrajna izpostavljenost bolezni je verjetno pripomogla k razvoju visoke stopnje odpornosti v populaciji. Avtorji študije ocenjujejo, da populacija iberskega kozoroga trenutno potrebuje le minimalno upravljanje, ki vključuje selektivni odstrel ali zdravljenje le nekaj prizadetih posameznikov. Poudarjajo, da bi intenzivnejše zdravljenje z določenimi insekticidi, kot je ivermektin, ki učinkujejo proti pršicam, lahko bilo celo kontraproduktivno, saj bi to lahko spodbudilo razvoj odpornosti parazitov na uporabljene kemikalije (Perez in sod., 2022; Ráez-Bravo in sod., 2024).

V Španiji so z opremljanjem 25 z garjami okuženih iberskih kozorogov z GPS ovratnicami ugotovili, da je od 25 živali (sicer majhen vzorec), 20 le-teh preživelu okužbo in ponovno razvilo dlako na mestih, kjer je so bila mesta okužbe. Samo 5 osebkov ni preživelu (Alasaad in sod., 2013). To je tudi konsistentno z drugo študijo, ki navaja, da je smrtnost živali po okužbi z garjami v populacijah, kjer so se že pred tem pojavile garje, približno 25 % (Rossi in sod., 1995). V narodnem parku Sierra



Nevada se je kot dobra upravljalvska praksa izkazal odvzem samo tistih kozorogov, ki imajo več kot 50 % površine kože vidno okužene z garjami (Alasaad in sod., 2013).

Preglednica 6: Pregled nekaterih bolezni, ki so se v preteklosti pojavile pri kozorogu (Vengušt in sod., 2020).

Bolezen	Opis bolezni	Potencialen vpliv na populacijo
Gamsje garje	Nalezljiva kožna bolezen, ki jo povzročajo zajedalski srbci, ki povzročajo močne poškodbe na koži.	Močan vpliv
Infekcijski/kužni keratokonjunktivitis (IKC)	Bakterijska okužba, ki prizadane oko, ter povzroča enostransko ali obojestransko slepoto. Okužba je vezana na slabe življenjske razmere in slab imunski sistem živali.	V preteklosti se je pojavljala v Sloveniji, že dlje časa ni prisotna. Lahko zelo usodna.
Bruceloza (<i>Brucella melitensis</i>)	Zoonoza, ki je po vsem svetu pomembna za javno zdravje in gospodarstvo.	Nikoli se ni pojavilo pri nas, lahko se prenaša na druge domače živali ali ljudi. Po Evropi večino izkoreninjena pri domačih živalih.
Črevesni paraziti	Črevesni paraziti se lahko pojavijo povsod, predvsem napadejo živali s slabšo imunsko odpornostjo.	Odvisto od odpornosti živali, lahko so povod za druge hujše bolezni, za žival so lahko tudi usodni.
Pljučni paraziti	Pljučni paraziti se lahko pojavijo povsod, predvsem napadejo živali s slabšo imunsko odpornostjo.	Povzročajo različne pljučne bolezni, za žival so lahko usodni.

V Sloveniji je bila do sedaj sekcija opravljena na manjšem številu osebkov zato dobrega pregleda nad boleznimi kozoroga v Sloveniji nimamo (Vengušt 2024, ustni vir). Ugotavljamo, da so pomemben vzrok za naravno smrtnost pri kozorogu gamsje garje, kar je razvidno iz baz o odvzemu. Garje se med osebki prenašajo prek direktnega kontakta med okuženimi in neokuženimi živalmi ali na mestih lokalne zgostitve živali (npr. solnice) (Perez in sod., 2020).

6.8 Ostali vzroki

V nadaljevanju navajamo ostale dejavnike, ki na podlagi izvedenih študij v tujini lahko negativno vplivajo na ugodno stanje kozorogov:

6.8.1. Človekov pritisk na gorski prostor

V Sloveniji doslej še ni bilo izvedenih študij potencialnega negativnega vpliva človeka (rekreacije, turizma, ipd.) na vedenje in s tem vitalnost kolonij kozorogov. Iz drugih študij pa je znano, da se človekov pritisk na gorski prostor z leti povečuje, kar lahko negativno vpliva na floro in favno že tako ranljivih gorskih ekosistemov. Mrak s sodelavci (2017) je analizirala najpogostejše razloge za obisk Triglavskega narodnega parka (kjer imamo tudi največjo kolonijo kozorogov) in ugotovila, da so prevladujoče rekreacijske dejavnosti in s tem tudi motivi za obisk parka naslednji: alpinizem, doživljanje naravne in kulturne dediščine, plavanje in kolesarjenje. Vzpon na Triglav (2864 m), najvišji vrh Slovenije ter nacionalni in kulturni simbol, je prav tako med šestimi najpogostejšimi razlogi za obisk parka. Vzponi so najpogostejši v poletnih mesecih. Avtorji kot enega možnih blažilnih ukrepov za zmanjšanje pritiska ljudi na gorski prostor uvedbo dnevni kvot za planinske vzpone in vzpostavitev rezervacijskega sistema za vzpone.

Obstaja pa veliko tujih študij, ki so opredelile turizem, rekreacijo in druge človeške dejavnosti v habitatu kozoroga kot negativne učinke na vitalnost populacij. Tako so Brambilla s sodelavci (2021) ugotovili, da porast pohodništva in alpinizma negativno vpliva na kozoroga.

Marchant in sodelavci (2024) so v Franciji merili učinek dveh velikih športno-rekreacijskih dogodkov (tekmovalj), ki so organizirane v francoskih Alpah. Prek spremljanja odzivov živali, ki so nosile GPS ovratnice v času dogodkov, so ugotovili, da so dogodki sprožili prostorsko prerazporeditev kozorogov dlje od markiranih poti (tj. > 500 m), s spremembami gibanja in stopnje aktivnosti podnevi in ponoči pri osebkih, ki so se prejšnjo noč nahajali znotraj 500 m oddaljenosti od poti.

Podatki iz tujine tudi nakazujejo, da prihaja do segregacije osebkov oziroma skupin osebkov kozorogov in izogibanja pohodniških poti ter splošne prisotnosti človeka v odvisnosti od spola in starosti kot odziv na možnost plenjenja s strani človeka. Samice z mladiči in odrasle samice se v splošnem zadržujejo dlje od pohodnih poti in bližje zatočiščem (npr. strmi skalni predeli). Nasprotno pa se oddaljenost od pohodniških poti zmanjšuje s povečevanjem starosti samcev (Grignolio in sod., 2007).

6.8.2 Gorska paša drobnice

Paša drobnice v optimalnem habitatu kozoroga ima številne negativne učinke (Bizjak, 1997); kompeticija z domačimi živalmi za prehranske vire, možnost prenosa bolezni in parjenja z domačimi živalmi (kozami), kar poruši genetsko integriteto lokalne populacije (kolonije) kozorogov. Dodatno so domače živali pogosto varovane s strani človeka in psov, kar pri kozorogih lahko sproži protiplenilski odziv, ki vodi v povečan stres. Nedavna študija je pokazala, da se ob toplejših dnevih drobnica pomika v višje lege, kar povzroči, da se kozorogi pomaknejo še višje in imajo tako dostop do slabše kakovostne hrane (Sganzerla in sod., 2024).

Z večih alpskih držav tudi prihajajo dokazi o parjenju kozoroga z domačimi kozami. Čeprav je to področje še slabo raziskano pa s terena prihajajo primeri (fotografije), ki po fenologiji nakazujejo na potencialno parjenje kozoroga z domačo kozo. Rezultati nakazujejo, da so hibridi trenutno razširjeni v več državah in da njihova prisotnost ni redek pojav, saj je v nekaterih skupinah 4-20 osebkov, ki so verjetni hibridi (Moroni in sod., 2022).

V Sloveniji s terena pridobivamo informacije o združevanju kozorogov in domačih koz na posameznih področjih prisotnosti kozoroga. Tako naj bi se kozorogi združevali z domačimi kozami na območju Krasjega Vrha nad Drežnico in na območju Vogla v Bohinjskem hribovju. Na Rombonu na Bovškem naj bi tudi prišlo do uspešnega parjenja med kozorogom in domačo kozo (Koren, 2023, ustni vir). Ne glede na zgornje navedbe je kozorog v Sloveniji glede na genetske raziskave zaenkrat še čista vrsta, saj v genotipih vzorčenih osebkov niso našli prisotnosti pretekle hibridizacije z domačo kozo (Bužan in sod, 2023). Nedavna študija na območju Slovenije je uspela genetsko zaznati potomca prve generacije križancev med kozorogom in domačo kozo, ki se je nadalje uspešno paril in ustvaril potomce druge generacije (Pogorevc, 2024). Parjenje z domačo kozo je za kozoroga lahko resen ohranitveni izziv, saj živalske vrste iz rodu *Capra* v večini primerov hibridizacije tvorijo plodne potomce (Pogorevc, 2024).



Slika 4: Kozorog na paši z domačimi kozami pod vrhom Krasjega vrha nad Drežnico. Foto: Davorin Koren

7. OPREDELITEV OHRANITVENIH CILJEV

V Sloveniji je status kozoroga razjasnen, saj imamo številne morfološke dokaze o njegovi prisotnosti po zadnji poledenitvi, njegovo avtohtonost pa se je dodatno dokazalo tudi s pomočjo genetskih raziskav (Nève Repe in sod., 2023). Skladno z Bernsko konvencijo in Direktivo o Habitatih smo zato dolžni ohranjati populacijo v ugodnem stanju.

Cilj upravljanja s kozorogom v Sloveniji je postopno povečati številčnost in dolgoročno ohraniti genetsko stabilne kolonije kozoroga, ki poseljujejo primeren habitat.

8. OPREDELITEV UPRAVLJAVSKIH UKREPOV, KI SO POTREBNI ZA OHRANITEV ALPSKEGA KOZOROGA

8.1 Utemeljitev upravljaljske odgovornosti

B. Kryštufek v knjigi *Sesalci Slovenije* (1991) navaja, da za kozoroga ni nobenih trdnih dokazov, ki bi govorili o njegovi prisotnosti na območju Slovenije **po zadnji ledeni dobi**. Od tukaj izhaja dilema o domorodnosti. Glede na to, da smo z nedavno strokovno študijo (Neve Repe in sod., 2023) s pomočjo genetskih in arheoloških metod potrdili prisotnost alpskega kozoroga pri nas iz časa

pozne antike, zaključujemo, da gre za domorodno vrsto, ki je bila pri nas prisotna tudi po ledeni dobi. Na podlagi te ugotovitve ni več nikakršnih zadržkov o domorodnosti te vrste in obveznosti ohranjanja le-te.

Zakon o ohranjanju narave v 17. členu določa, da je naseljevanje tujerodnih vrst živali prepovedano, zato doselitve do sedaj niso bile mogoče. S potrditvijo domorodnosti se s kozorogom upravlja na podlagi **Zakona o divjadi in lovstvu (ZDLov-1)**.

Kozorog je z Uredbo o določitvi divjadi in lovnih dob kot vrsta uvrščen med divjad in ima lovno dobo, njegovo upravljanje tako ureja ZDLov-1. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) oziroma minister sprejme Lovsko upravljavski načrt (LUN), v okviru katerega se opredelijo potencialne doselitve.

40. člen ZDLov-1 opredeljuje pogoje za ponovno naseljevanje in doseljevanje divjadi in sicer: »Ponovno naseljevanje domorodnih vrst divjadi ter naseljevanje in doseljevanje domorodnih ali tujerodnih vrst divjadi se izvaja na osnovi načrtov lovsko upravljavskih območij ter v skladu s predpisi s področja veterinarstva in ohranjanja narave.«

Skladno z **Bernsko konvencijo** morajo države članice EU (podpisnice) izvajati ukrepe za ohranjanje rastlinskih in živalskih vrst. V dokumentu se vsaka članica zavezuje, da bo spodbujala ponovno naseljevanje domorodnih prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst, kadar bi to prispevalo k varstvu določene ogrožene vrste, pod pogojem, da se naredi študija glede na izkušnje drugih pogodbenic in ugotovi, da bi bilo tako ponovno naseljevanje učinkovito in sprejemljivo.

Direktiva o habitatih obvezuje države članice, da vzdržujejo ugodno stanje določenih habitatnih tipov in vrst na izbranih območjih, dogovorjenih s Komisijo. Kozorog je uvrščen v Prilogo V Direktive o habitatih, kar pomeni, da gre za živalsko vrsto v interesu skupnosti, pri kateri veljajo ukrepi upravljanja, ki vključujejo odvzem iz narave in izkoriščanje.

Alpska konvencija vsako pogodbenico (državo) zavezuje, da bo sprejela vse potrebne ukrepe za varstvo, urejanje in po potrebi tudi obnovo alpske narave in krajine kot tudi prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst, njihove raznovrstnosti in življenjskega prostora ob upoštevanju ekološko sprejemljive rabe.

Na podlagi podpisanih mednarodnih dogovorov je Slovenija dolžna vzdrževati populacijo kozoroga v ugodnem ohranitvenem stanju, ki je danes zaradi parjenja v sorodstvu ogrožena (Bužan in sod., 2023).

ZGS v svojih nalogah javne službe, ki mu jih podeljuje 20. člen ZDLov-1, med drugim **izdeluje načrte lovsko upravljavskih območij** ter druge strokovne podlage za ohranjanje in varstvo divjadi in njenega življenjskega okolja. V okviru teh pristojnosti lahko na podlagi utemeljitve statusa

kozoroga kot domorodne vrste izvaja ohranitveno upravljanje alpskega kozoroga ter doselitev živali skladno z LUN.

8.2 Doselitev osebkov v slovenske Alpe in nadaljevanje genetskih raziskav

Namen: Izboljšati genetsko pestrost, zmanjšati možnost parjenja v sorodu in ohraniti lokalne kolonije kozoroga v Sloveniji.

Nizka genetska pestrost populacije kozoroga v Alpah in s tem povezano parjenje v sorodstvu predstavljata eno najpomembnejših groženj obstoju te vrste. Ta grožnja je v Sloveniji še posebej izrazita, saj nobena od kolonij, ki živijo na našem območju, ne presega 200 osebkov. To je bistveno pod pragom, ki bi – na podlagi mednarodnih raziskav – lahko preprečil izgubo fitnesa ter ohranil evolucijski potencial vrste in s tem dolgoročno preživetje kozoroga v Sloveniji. Izvedbo tega ukrepa je v preteklosti omejeval nerazjasnjen status vrste v Sloveniji. Sedaj je aktivno upravljanje genetskega stanja populacije eden ključnih ukrepov, ki jih je treba izvesti čim prej.

Za zagotavljanje viabilne populacije je nujna izvedba doselitev iz zdravih in nesorodnih populacij v Alpah. Cilj je da se v čim krajšem času doseli vsaj 50 živali. Pri tem je treba upoštevati, da niso vse populacije enako primerne za izvajanje doselitev in izbrati tiste, ki bodo v kolonije prinesle največjo genetsko pestrost. Doselitve je treba izvajati skladno s priporočili (Priloga 1, Bužan in sod., 2025), ki določajo primernost donorskih populacij glede na genetsko raznolikost in 'nesorodnost' med našimi kolonijami kozorogov in donorsko populacijo. Po izvedenih doselitvah je nujno spremljanje uspeha doselitev, ki bo ovrednotila uspeh doselitev tako z vidika genetike (zmanjšanje stopnje parjenja v sorodstvu) kot številčnosti in prostorske razširjenosti kolonij. Ob tem se pripravi izhodišča in smernice, ki bodo opredelile nadaljnje postopanje v smislu spremljanja genetskega stanja populacij in morebitnih potrebnih dodatnih doselitvah v prihodnjih desetletjih.

Doselitve se izvede v okviru projektov oziroma akcij doselitev, pri čemer se lahko poslužujemo vseh razpoložljivih virov financiranja. Osnova za doseljevanje so dvoletni lovsko upravljavski načrti Triglavskega in Gorenjskega lovsko upravljavskega območja v skladu s predpisi s področja veterinarstva.

8.3 Spremljanje populacije

Dobro poznavanje stanja populacij kozoroga in njegovega življenjskega okolja je temelj za ustrezno ohranitveno upravljanje kozoroga. Zato so v nadaljevanju opredeljene aktivnosti potrebne za celosten monitoring populacij kozoroga in njegovega življenjskega okolja, ki bo podlaga za načrtovanje ustreznih ohranitvenih ukrepov in presojo njihove uspešnosti.

8.3.1 Štetje kozorogov na linijskih transektih

Namen: Ugotavljanje trendov številčnosti in prostorske razširjenosti kolonij.

Kozorog je vrsta, ki poseljuje razmeroma odprto krajino (tj. območja nad zgornjo gozdno mejo), česar se lahko poslužimo za zanesljivo ugotavljanje populacijskih trendov in prostorske razširjenosti te vrste. Cilj je povečati številčnost kozoroga v Sloveniji.

Pripravi je treba standardiziran protokol izvedbe monitoringa s pomočjo linijskih transektov, ki bo enoten za vse kolonije v Sloveniji in ki mu bodo upravljavci lovišč sledili ob izvedbi štetja na transektih. V protokolu se opredeli časovna izvedba, frekvenca izvedbe, uporabljena oprema ter natančno definiran način beleženja vseh opaženih kozorogov. Štetje se izvede na že vnaprej določenih lovskih ali planinskih poteh (transektih), na katerih se prešteje in zabeleži vse opažene kozoroge. Rezultat štetja nam na dolgem časovnem obdobju podajo pomembne informacije o populacijskih trendih ki bodo služili kot osnova za upravljanje kolonij.

Protokol za spremljanje številčnosti in prostorske razširjenosti kolonij kozorogov je potrebno uskladiti na čezmejni ravni ter ga konsistentno in dosledno izvajati na obeh straneh meje. Koordinacijo priprave protokola in izvedbe monitoringa na nivoju Slovenije izvaja ZGS, izvajajo pa ga LD upravljavke lovišč oziroma LPN.

8.3.2. Spremljanje genetskega stanja kolonij

Namen: Ugotavljanje genetskega stanja kolonij v smislu spremljanja sprememb stopnje parjenja v sorodstvu med kolonijami.

Zbiranje tako invazivnih kot neinvazivnih genetskih vzorcev je predpogoj za izvedbo analiz parjenja v sorodstvu, kar služi spremljanju genetskega stanja kolonij. Nadaljevati je treba z genetskim vzorčenjem, ter s tem pridobiti poglobljen vpogled v trenutno genetsko stanje naših kolonij.

Po izvedenih doselitvah je potrebno nadaljevati z vzorčenjem ter beležiti spreminjanje stopnje parjenja v sorodstvu. Cilj upravljanja je, da se koeficient parjenja v sorodstvu v posameznih kolonijah ohranja pod vrednostjo 0,15. Ta koeficient je najboljši kazalnik za spremljanje stopnje parjenja v sorodstvu. Podrobnejši načrt genetskega vzorčenja z namenom spremljanja genetskega stanja kolonij se določi v študiji, ki bo opredelila uspeh doselitev in je predvidena v poglavju 8.1.

V okviru analiz genetskih vzorcev se spremlja tudi potencialen pojav križanja kozoroga z domačo kozo. To nam bo omogočilo zaznavo morebitnega križanja ter ažurno ukrepanje.

Z namenom izvedbe genetskih analiz je treba vsakemu odstreljenemu ali najdenemu poginjenemu kozorogu odvzeti vzorec mišičnine. Vzorec odvzame pristojna LD ali LPN zbiranje pa koordinira ZGS, ki poskrbi za potreben material za vzorčenje in posreduje vzorce v ustrezne analize.

8.3.3. Spremljanje zdravstvenega stanja

Namen: Spremljanje zdravstvenega stanja za zagotavljanje sprotnega vpogleda v vitalnost populacij in ustrezne ter čim hitrejša upravljalvske prilagoditve. Sprotno spremljanje zdravstvenega stanja populacije nam omogoča prepoznavo drugih bolezni v populaciji, ki jih do sedaj zaradi majhnega števila oddanih živali na sekcijo ni bilo možno zaznati in preučiti.

Redno je potrebno beležiti vse znake pojavljanja bolezni tako z opazovanjem osebkov v naravi kot beleženjem znakov obolenj pri uplenjenih živalih. Če razmere to dovoljujejo, je žival, ki je bila uplenjena zaradi izkazovanja bolezenskih znakov, treba predati na Univerzo v Ljubljani, Veterinarsko Fakulteto (Inštitut za patologijo, divjad, ribe in čebele) na sekcijo in pregled zdravstvenega stanja ter vzroka smrtnosti. V primeru, da razmere ne dovoljujejo transporta celotnega kadavra uplenjene divjadi, je potreben odvzem vzorcev delov živali, ki kažejo znake obolelosti. Pri tem je na Veterinarsko Fakulteto nujno potrebno dostaviti kožo, prebavila s siriščnikom brez vampove vreče in za pest velik kos mišičnine (srce, jezik ipd.).

Transport kadavrov oziroma odvzem vzorcev izvede LD ali LPN in jih dostavi na Veterinarsko Fakulteto (Inštitut za patologijo, divjad, ribe in čebele). Rezultate veterinarskih pregledov Veterinarska Fakulteta posreduje pristojni LD oziroma LPN in na ZGS.

8.3.4. Spremljanje prek GPS telemetrije

Namen: Ugotavljanje uspeha doselitev, preživetja, parjenja, emigracij in imigracij ter funkcionalnosti koridorjev na nivoju osebkov - tako doseljenih kot rezidentnih kozorogov.

GPS telemetrija nam nudi edinstven vpogled v življenje kozorogov, saj omogoča, da za posamezen osebek pridobimo zelo natančno časovno in krajevno informacijo o njegovem gibanju. Telemetrija je zato edina metoda, s katero lahko merimo in pridobivamo informacije na nivoju populacije (kolonije) in posameznih osebkov. To so:

- **Uspeh doselitev:** spremljanje gibanja doseljenih živali in beleženje, ali so se ustalile na območju rezidentnega tropa kozorogov in so na prisotne na območju v času paritve.
- **Emigracije in imigracije:** s povečevanjem populacije kozorogov pričakujemo, da bodo mlajši osebki naravno pričeli iskati nov primeren življenjski prostor. S telemetrijo lahko



spremljamo območja novih naselitev ter posredno tudi verificiramo funkcionalnost le-teh s študijo, v kateri smo identificirali potencialne koridorje.

- **Kompeticija z drugimi živalskimi vrstami:** ugotavljali bomo odzive kozorogov na prisotnost drugih živalskih vrst v njihovem domačem okolišu; v prvi vrsti s tem lahko ovrednotimo tako negativne učinke paše drobnice kot tudi interakcijo z drugimi prostoživečimi živalmi (npr. gamsom in jelenjadjo).
- **Odzivi na človeško prisotnost:** po vzoru tujih študij bomo spremljali odziv kozorogov na povečan človeški obisk gorskega sveta v vseh sezonah in beležili morebitno premeščanje kozorogov stran od s strani človeka visoko obiskanih območij.
- **Odzivi na podnebne spremembe:** spremljali bomo dnevne vedenjske vzorce in migracijske poti kozorogov v času suše in vročine (npr. zadrževanje na višjih nadmorskih višinah ali v bolj osenčenih legah) in v primeru pomanjkanja snežne odeje v zimskih mesecih.
- **Spremljanje smrtnosti:** ovratnice nam bodo omogočale spremljanje razlogov smrtnosti kozorogov in potencialno plenjenje kozorogov s strani velikih zveri.

Z GPS ovratnicami je treba opremiti tako doseljene in rezidentne živali, kot njihove potomce. S tem bomo merili razlike v domačih okoliših in vedenjskih vzorcih živali z različnim 'statusom' (tj. doseljena/rezidentna žival, potomec prve generacije, itd.). Pred odlovi rezidentnih živali in potomstva doseljenih osebkov je treba pripraviti protokol s postopki, ki opisujejo uporabljeno metodologijo ter potek odlova.

S telemetričnimi ovratnicami se opremi doseljene živali, spremljanje rezidentnih živali pa se izvaja v okviru projektov in ostalih raziskav.

8.3.5. Ostale metode spremljanja populacij kozoroga

Namen: Pregled možnosti za optimizacijo obstoječih metod spremljanja kolonij kozoroga.

Za optimizacijo metod spremljanja kozoroga je potrebno preučiti ustreznost uporabe dronov in morebitnih drugih novih tehnologij. V primeru ugotovitve, da so nove metode primerne in učinkovite, se jih smiselno vpelje kot nove metode spremljanja populacije kozoroga v Sloveniji.

Uporabnost spremljanja populacije z droni in drugimi novimi tehnologijami se preizkusi v okviru projektov.

8.4. Krepitev povezanosti kolonij

Namen: Zavarovanje koridorjev in krepitev povezanosti med kolonijami.

Identificirane koridorje je potrebno preučiti in opredeliti glede na njihovo funkcionalnost (tj., verjetnosti, da jih kozorogi uporabljajo za emigracije in imigracije). Koridorje je treba zavarovati in naj bodo poudarjeni kot pomembna območja s poudarjeno biotsko funkcijo ter umeščena v lovsko upravljalvske ter gozdnogospodarske načrte. Funkcionalnost koridorjev je potrebno preveriti tudi preko GPS telemetrije. Za zagotavljanje bolj povezanih kolonij je treba spodbujati povečanje kolonij, ki bodo zagotovile naravne migracije med različnimi populacijami (kolonijami) kozoroga.

ZGS izvede vključitev koridorjev za kozoroga v 10 letne Gozdnogospodarske in Lovskoupravljalvske načrte v okviru njihove prenove.

8.5 Odvzem

Namen: Načrtovanje ohranitveno naravnane odvzema, ki krepi ugodno zdravstveno stanje kolonij kozoroga.

Za zagotavljanje ugodnega zdravstvenega stanja kozoroga je treba zagotoviti aktivno upravljanje populacije z lovom, ki naj bo izrazito ohranitveno. To pomeni, da je odvzem usmerjen v krepitev zdravstvenega stanja kolonij in zasleduje cilj povečanja številčnosti vrste. Z odstrelom zato posegamo samo med stare oziroma prestarele kozle in koze. Srednji starostni razred moramo kar v največji meri varovati. Izjema za poseg v vse starostne razrede so primeri okuženosti z gamsjimi garjami, kjer se prednostno upleni močno okužene osebke oziroma osebke z vidnimi znaki hiranja. Pri osebkih, ki imajo z garjami prizadet majhen delež površine kože in ne kažejo vidnih znakov prizadetosti, se izvaja spremljanje njihovega stanja, saj s potencialnim okrevanjem in nadaljnjim razmnoževanjem povečujejo odpornost bodočih generacij (Perez in sod., 2022; Ráez-Bravo in sod., 2024). Uplenitev opazovanih osebkov se izvede v primeru napredovanja okuženosti in vidnega poslabšanja vitalnosti.

V primeru zaznave osebkov, ki se parijo z domačimi kozami oziroma zaznave potomcev, ki so križanci med kozorogom in domačo kozo, je potrebno te osebke nemudoma odvzeti iz narave.

ZGS je skladno z Zakonom o Divjadi in lovstvu v Sloveniji pristojen za lovskoupravljalvsko načrtovanje, LD in LPN pa za izvedbo. Skladnost izvedbe odvzema z načrti izvaja Inšpekcija za Lovstvo in ribištvo.

8.6 Čezmejno sodelovanje

Namen: Izboljšati čezmejno sodelovanje in harmonizacija upravljanja alpskega kozoroga na čezmejnih regijah.

V okviru projekta AlpBioNet2030 (Interreg Alpine Space) in projekta DINALPCONNECT (Interreg Adrion) so bili razviti cilji upravljanja kozoroga (in gamsa) na čezmejnem območju Slovenije in Italije, ki jih povzemamo v preglednici 7 (Nève Repe s sod., 2023). V kombinaciji s predvidenimi kazalniki predlagani cilji predstavljajo podlago za spodbujanje čezmejnega sodelovanja med različnimi institucijami, deležniki in uporabniki prostora za omogočanje dolgoročne ohranitve kozoroga.

Preglednica 7: Glavni in posebni cilji upravljanja kozoroga ter kazalniki le-teh za čezmejno območje Slovenija - Italija.

Glavni in posebni cilji upravljanja	Kazalniki
Nadaljevati z dolgoročnim ohranjanjem, varstvom in trajnostnim upravljanjem kolonij kozorogov in gamsov ter njihovih habitatov znotraj čezmejnega območja Julijskih Alp.	Stanje populacije kozoroga in gamsa na čezmejnem območju.
Ugotoviti najpomembnejše razlike v sedANJI praksi upravljanja na italijanski in slovenski strani, ki bi lahko vplivale na kolonije gamsov in kozorogov, ter si prizadevati za njihovo uskladitev.	Izvedena analiza in ugotovljene razlike, izboljšano upravljanje.
Izboljšanje kakovosti habitata vrst z zmanjšanjem pritiskov zaradi človekovega delovanja.	Površine (ha) izboljšanih ključnih habitatov z manjšim pritiskom zaradi človekovega delovanja.
Vzpostavitev rednih in učinkovitih inšpekcijskih pregledov in nadzora.	Število vključenih oseb/organizacij.
Izboljšati izmenjavo informacij, sodelovanje in komunikacijo; kazalnik: vzpostavljena učinkovita komunikacija med relevantnimi deležniki.	Vzpostavljena učinkovita komunikacija med relevantnimi deležniki.
Upravljanje prostoživečih živali naj temelji na znanju in kakovostnih informacijah.	Izboljšano zbiranje podatkov na terenu in uporaba skupnih smernic za izvajanje monitoringa in zgrajena skupna podatkovna zbirka.
Izboljšanje poznavanja kolonij gamsov in alpskih kozorogov z razvojem skupne metodologije zbiranja in vzdrževanja ustreznih podatkov.	Razvit protokol spremljanja.
Enotno obravnavanje konfliktov med človekom in prostoživečimi živalmi na čezmejnem območju.	Priprava priporočil za zmanjšanje konfliktov in izobraževalnih delavnic za rejce domačih živali.
Povečati sprejemljivost čezmejnega upravljanja v javnosti.	Vzpostavljena dobra in redna komunikacija s širšo javnostjo.

Cilji čezmejnega upravljanja s kozorogom so vključeni v ta dokument. ZGS, TNP in predstavniki LD skrbijo za sodelovanje s predstavniki upravljalcev predvsem iz Italije po potrebi pa tudi iz Avstrije.

8.7 Komunikacija z deležniki

Namen: Zagotoviti zadostno informiranost javnosti o grožnjah, ki pestijo kozoroga. Opolnomočiti javnost o možnostih za zmanjšanje pritiska na kozoroga s strani človeka.

Predvidene ukrepe je treba izvajati skupaj z lokalnimi deležniki, predvsem TNP, lovci, lokalnim prebivalstvom, prostorskimi načrtovalci in ostalimi uporabniki prostora oziroma jih o aktivnostih ustrezno obveščati. Ključno je ozaveščanje javnosti o težavah in grožnjah, s katerimi se kozorog sooča. To so predvsem parjenje v sorodstvu, pritisk na gorski habitat s strani ljudi, bolezni in parjenje z domačo kozo. V primeru zaznave primera oziroma problematike parjenja med kozorogom in domačo kozo, je nujno še intenzivnejše (krizno) komuniciranje z rejci drobnice o negativnih oziroma nezaželenih vplivih tovrstnega parjenja na kozoroga.

Intenzivira naj se sodelovanje z organizacijami, prek katerih lahko zagotovimo večji domet pri posredovanju ključnih informacij (npr. Planinska zveza Slovenije, Gorska reševalna služba) in problematike, s katero se kozorog sooča. V primeru doselitev kozorogov, se le-to komunicira preko mnogih kanalov. Pri obveščanju se poslužujemo tako tiskanih kot digitalnih medijev. Smiselna je priprava učnih gradiv in vpeljava vsebin o ohranjanju in upravljanju s kozorogom v srednje strokovne programe (in nadalje višješolske ter VSŠ/UNI), ki izobražujejo ključne bodoče deležnike s področja lovstva in naravovarstva, tj. gozdarski in naravovarstveni tehniki/inženirji, ki bodo pri svojem poklicu neposredno ali posredno vpleteni v varstvo in upravljanje z vrsto.

ZGS, TNP in LZS v povezavi z LD so pristojne institucije, ki so aktivno vpete v upravljanje s kozorogom. Zato so odgovorne za ustrezno komuniciranje vsebin povezanih s kozorogom. Komunikacija se izvaja tako v okviru rednega dela kot tudi v okviru projektov.

8.8 Vzpostavitev mirnih con in omejitev polaganja soli/solnih kamnov

Namen: Preprečiti vznemirjanje kozorogov v času brejosti in pleganja mladičev. Omiliti širjenje prenosljivih bolezni.

Za zagotavljanje optimalnih pogojev za kozoroga je treba vzpostaviti mirne cone na območjih, kjer se kolonije zadržujejo v zimskem času, v obdobju visoke brejosti samic in pleganja mladičev ter med vročimi poletnimi dnevi. V teh obdobjih kozorogi izbirajo območja, ki jim omogočajo čim večje izogibanje stresnim vplivom podnebnih dejavnikov. Prisotnost človeka na takšnih območjih

bi lahko povzročila dodaten stres, kar bi pri živalih vodilo do povečane izgube maščobnih zalog in posledično do večje dovzetnosti za bolezni.

Območja mirnih con se najprej definira na podlagi rabe prostora s strani kozorogov s pomočjo GPS telemetrije. Opredeljena območja mirnih con se umesti v dolgoročne (10-letne) lovskoupravljaljske načrte in predvidi ukrepe za blaženje negativnih vplivov človeške aktivnosti. Mirne cone je smiselno umestiti tudi v Načrt upravljanja TNP.

Na območjih, kjer se beleži frekventno pojavljanje gamsjih garij, se prepove polaganje soli/solnih kamnov kot dodaten mineralni vir za kozoroge, saj so ta mesta vektor za prenos bolezni (Martin in sod., 2011).

ZGS opredeli mirne cone v okviru prenove 10 letnih LUN. Pri tem se usklajuje z ostalimi uporabniki prostora.

9. RAZVOJNO IN RAZISKOVALNO DELO

V Sloveniji je bilo na področju upravljanja s kozorogom ter preučevanja te vrste doslej izvedenih razmeroma malo strokovnih raziskav, kar omejuje nadaljnje delo in napredek. Za boljše razumevanje te alpske vrste je treba okrepiti raziskovalne aktivnosti, oziroma nadaljevati ključne raziskave, ki bodo zagotovile nova dognanja o kozorogu ter prispevale k učinkovitejšemu upravljanju in varovanju te vrste.

Predloge raziskav navajamo spodaj:

- Nadalnje genetskih raziskav parjenja v sorodstvu.
- Raziskave na področju bolezni kozoroga in razlogi ki vplivajo na odpornost populacij.
- Razvoj alternativnih načinov monitoringa populacije.
- Raziskave na področju razumevanja prenosa bolezni in parazitov od drobnice in drugih domačih živali, ki se pasejo na območju kozorogov.
- Raziskava rabe prostora in vpliva motenj s strani človeka in domačih živali: opremljanje kozorogov z GPS telemetričnimi ovratnicami (tako živali iz obstoječe populacije, kot doseljenih živali, morda tudi drobnice, ki se pojavlja na istem prostoru).
- Analiza rabe prostora kozorogov v različnih sezonah glede na habitatne tipe, nadmorsko višino, mikoreliefne značilnosti površja, človeške motnje (npr. prisotnost planinskih koč, planinskih poti, območji z drugimi rekreativnimi aktivnostmi, predvsem padalstvo).
- Analiza znotrajvrstnih interakcij, predvsem s poudarkom na interakcijah med kozorogi iz obstoječe populacije in doseljenimi kozorogi.



- Spremljanje socialne strukture tropov: raziskovanje socialnih mrež in njihove stabilnosti v času, interakcije med samci in tropi koz z mladiči.
- Prehrana kozorogov: spremljanje prehrane med sezonami preko analize iztrebkov z uporabo metabarcoding-a.
- Medvrstne interakcije: raziskovanje vpliva kompeticije z drugimi prostoživečimi parkljarji (predvsem gams in jelenjad) in vpliva plenilcev (volk, ris) s pomočjo neposrednega opazanja, telemetrije in pregledovanjem ostankov plena velikih zveri na območju prisotnosti kozorogov.
- Raba in vpliv solnic: spremljanje uporabe solnice s strani kozorogov (s pomočjo telemetrije in foto-pasti nameščenih ob solnicah) ter vpliv solnic na medvrstne interakcije med kozorogi in drugimi rastlinojedi (tako prostoživečimi kot udomačenimi vrstami), tudi z vidika prenosa parazitov.
- Ekološka vloga kozoroga: raziskovanje pomena kozoroga z vidika prenosa hranil iz mest hranjenja do mest iztrebljanja in vpliv na rodovitnost tal; pomen trupel kozoroga kot vira hrane za mrhovinarje v alpskem ekosistemu.
- Kljub temu, da so že bile izvedene študije o primernosti habitata in prostorski povezljivosti habitata kozoroga v Sloveniji, je dobrodošlo te raziskave dopolniti z večjim obsegom podatkov, dodatnim terenskim delom ter dodatno preučiti vpliv podnebnih sprememb.

Raziskave na področju kozoroga so dobrodošle s strani vseh raziskovalnih in upravljavskih institucij.

10. ZAKLJUČKI

Ohranitveno upravljanje alpskega kozoroga (*Capra ibex*) v Sloveniji predstavlja ključen izziv za trajnostno varstvo te avtohtone vrste. Kljub potrjeni prisotnosti kozoroga na tem območju po zadnji ledeni dobi in izvedenim ponovnim naselitvam, trenutne kolonije stagnirajo ali upadajo. Ključni dejavniki, ki ogrožajo dolgoročni obstoj vrste, vključujejo nizko genetsko pestrost, parjenje v sorodstvu, izgubo habitatov, pomanjkljivo ekološko povezanost, bolezni ter neusklajeno čezmejno upravljanje.

Za zagotavljanje stabilnih in vitalnih kolonij je nujno izvajanje ciljno usmerjenih ukrepov, kot so doselitev genetsko ustreznih osebkov, vzpostavitev sistematičnega monitoringa kolonij in zdravstvenega stanja ter izboljšanje ekološke povezljivosti habitatov. Ključnega pomena je tudi vzpostavitev mirnih območij, ki bodo zmanjšala vpliv antropogenih dejavnosti ter omogočila kozorogu nemoteno bivanje v njegovem naravnem okolju.

Nujno je krepiti sodelovanje med pristojnimi institucijami, lovskimi organizacijami in mednarodnimi partnerji za zagotavljanje celostnega in usklajenega ohranitvenega upravljanja. Varstveni ukrepi morajo temeljiti na znanstvenih raziskavah in prilagodljivem upravljanju, ki bo omogočilo dolgoročno ohranjanje populacije kozoroga v slovenskih Alpah. Le z usklajenimi prizadevanji in trajnostnimi ukrepi bo mogoče zagotoviti obstoj te vrste in njen ekološki pomen za prihodnje generacije.



11. VIRI IN LITERATURA

1. Adamič M., Marenče M., 1997. Trideset let po prvi naselitvi kozoroga (*Capra ibex*) v Triglavskem narodnem parku. V: Alpski kozorog v Triglavskem narodnem parku in drugod po Sloveniji. Marenče M. (ur.). Razprave in raziskave št 5. Triglavski narodni park. Bled: 23-33
2. Alasaad S., Granados J. E., Fandos P., Cano-Manuel F. J., Soriguer R. C., Pérez J. M. 2013. The use of radio-collars for monitoring wildlife diseases: a case study from Iberian ibex affected by *Sarcoptes scabiei* in Sierra Nevada, Spain. *Parasit Vectors*, 22;6(1):242
3. Allendorf F. W., Luikart G. 2009. Conservation and the genetics of populations. John Wiley & Sons
4. Benoton C. H., Delahay R. J., Smith F. A. P., Robertson A., McDonald R. A., Young A. J., Burke T. A., Hodgson D. 2018. Inbreeding intensifies sex- and age-dependent disease in a wild mammal. *Journal of Animal Ecology*, 87, 6: 1500-1511
5. Bidovec A. 1976. The dynamics of the chamois management in the area of the North-Western Karawanken. Ljubljana, Institute for Zoo Hygiene and Wildlife Pathology, Biotechnical Faculty: 4 str
6. Bizjak J., 1997. Varstvo kozoroga v Triglavskem narodnem parku. V: Alpski kozorog v Triglavskem narodnem parku in drugod po Sloveniji. Marenče M. (ur.). Razprave in raziskave št 5. Triglavski narodni park. Bled: 7-9
7. Bökönyi S. 1994. Analiza živalskih kosti. V: Stična I. Naselbinska izkopavanja. - Kat. in monogr, Gabrovec, S. 28: 190-213
8. Bonaglia A., Gehr B., Filli F., Anderwald P. 2024. Ibex in a changing climate: the response of a large ungulate to severe weather conditions. Knjiga povzetkov konferenca
9. Brambilla A., Von Hardenberg A., Nelli L., Bassano B. 2020. Distribution, status, and recent population dynamics of Alpine ibex *Capra ibex* in Europe. *Mammal Review* ISSN 0305-1838
10. Brambilla, A., Bassano, B., Biebach, I., Cavailhes, J., Gressman, G., Grossen, C., Keller, L.F., Toïgo, C. & Von Hardenberg, A. 2021. *Capra ibex* (Green Status assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T42397A4239720242. Accessed on 07 November 2024
11. Bužan E., Duniš L., Bončina A., Horvat S., Pogorevc N., Brambilla A., Sölkner J., Burger P., Medugorac I., Pokorny B. 2023. Prvi vpogled v genetsko raznolikost alpskega kozoroga (*Capra ibex*) v Sloveniji. *Slovenski veterinarski zbornik*, 60(3):1-12
12. Bužan E., Pobega U., Babič A., Pokorny B. 2025. Prenos dobrih praks prepoznanih v projektu, v strokovne usmeritve za upravljanje z alpskim kozorogom in sodelovanje v naslednjih fazah dela na projektu, ter sodelovanje na medsebojni izmenjavi izkušenj med projektnimi partnerji. Projekt Interreg Europe Cibiogo



13. Cousquer G. 2013. A mountain to climb. The new threat facing the ibex. *Veterinary Times*: 4-5
14. Crnokrak P., Roff D. A. 1999. Inbreeding depression in the wild. *Heredity*, 83: 260-270
15. Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst. (The Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora - "The Habitat Directive")
16. Favalli M., Genero F. & Goi G, 2001. Risultati dei censimenti estivi su camoscio e stambecco nel Parco naturale delle Prealpi Giulie, nella zsc Jof di montasio e Jof fuart ed aree transfrontaliere di connettività ecologica con il settore sloveno
17. Favalli M.; 2007. Lo Stambecco dalle Dolomiti Friulane al Triglav
18. Frankham R., Ballou J. D., Briscoe D. A. 2009. *Introduction to Conservation Genetics*, 2nd edn. Cambridge University Press: Cambridge, UK
19. Frankham R., Bradshaw C. J. A., Brook B. W. 2014. Genetics in conservation management: Revised recommendations for the 50/500 rules, Red List criteria and population viability analyses. *Biological Conservation*, 170: 56-63
20. Franklin, I. R. 1980. *Evolutionary Change in Small Populations*. Sinauer Associates. Inc., Sunderland, MA, 135-150
21. Galjot B. 1995. O koloniji alpskih kozorogov na Ljubelju. *Lovec*, LXXVIII. letnik, št.1/1995: 15-19
22. Galjot B., 1997. O kolonijah Alpskih kozorogov na Ljubelju. V: *Alpski kozorog v Triglavskem narodnem parku in drugod po Sloveniji*. Marenče M. (ur.). *Razprave in raziskave št 5*. Triglavski narodni park. Bled: 46-53
23. Galjot B. 1998. Kozorog v Sloveniji. *Lovec*, LXXXI. letnik, št. 7-8/1998: 286-290
24. Genero F., 1997. Indagini faunistiche nel Parco naturale delle Prealpi Giulie, con proposte di progetti e programmi di gestione faunistica. Parco naturale delle Prealpi Giulie
25. Genero F. 1998. Piano Pluriennale di Gestione della Fauna. Triennio 1999-2001. Parco naturale delle Prealpi Giulie
26. Grignolio S., Parrini F., Bassano B., Luccarini S., Apollonio M. 2003. Habitat selection in adult males of Alpine ibex, *Capra ibex ibex*. *Folia Zoologica Praha*, 52.2: 113-120
27. Grignolio S., Rossi I., Bassano B., Parrini F., Apollonio M. 2004. Seasonal variations of spatial behaviour in female Alpine ibex (*Capra ibex ibex*) in relation to climatic conditions and age. *Ethology Ecology & Evolution*, 16:3, 255-264
28. Grignolio S., Rossi I., Bassano B., Apollonio M. 2007. Predation Risk as a Factor Affecting Sexual Segregation in Alpine Ibex, *Journal of Mammalogy*, Volume 88, Issue 6, 1488–1497, <https://doi.org/10.1644/06-MAMM-A-351R.1>
29. Hendrick P. W., Kalinowski S. T. 2000. Inbreeding Depression in Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 31: 139-162

30. Johnson W. E., Onorato D. P., Roelke M. E., Land E. D., Cunningham M., Belden R. C., McBride R., Jansen D., Lotz M., O'Brien S. J. 2010. Genetic Restoration of the Florida Panther. *Science*, 329, 5999: 1641-1645
31. Komac Z., 1997. Kronološki prikaz staleža kozoroga v lovski družini Bovec. V: Alpski kozorog v Triglavskem narodnem parku in drugod po Sloveniji. Marenče M. (ur.). Razprave in raziskave št 5. Triglavski narodni park. Bled: 39-42
32. Konvencija o varstvu Alp (Alpska konvencija) (Uradni list RS, št. 19/95, MP 5)
33. Konvencija o varstvu prosto živečega evropskega rastlinstva in živalstva ter njunih naravnih življenjskih prostorov, Dodatek III – Zaščitene živalske vrste, 1979, (Ur. l. RS 55/99, MP, št. 17)
34. Koren D. 2024. O križanju kozoroga z domačo kozo. Triglavski narodni park, (osebni vir, 14.11.2024)
35. Kos I., Potočnik H. 2012. Tujerodne vrste sesalcev (Mammalia) v Sloveniji. V: CRP Neobiota Slovenije, končno poročilo, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta: 253 – 257
36. Lambert S., Gilot-Fromont E., Freycon P., Thébault A., Game Y., Toigo C., Petit E., Barthe M. N., Reynaud G., Jäy M., Garin-Bastuji, Ponsart C., Hars J., Rossi S. 2018. High Shedding Potential and Significant Individual Heterogeneity in Naturally-Infected Alpine ibex (*Capra ibex*) with *Brucella melitensis*. Original research, Volume 9-2018, doi: 10.3389/fmicb.2018.01065
37. Largo E., Gaillard J.-M., Festa-Bianchet M., Toigo C., Bassano B., Cortot H., Farny G., Lequette B., Gauthier D., Martinot J.-P. 2008, Can ground counts reliably monitor ibex *Capra ibex* populations. *Wildlife Biology*, 14: 489-499. <https://doi.org/10.2981/0909-6396-14.4.489>
38. Lovsko upravljavski načrt II. Gorenjskega lovsko upravljavskega območja (2021-2030). 2023. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kranj. http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/GGN_nacrtovanje/Razgrnitve_2022/Osnutki_LUN/02-LUN_2021-2030_Gorenjsko_LUO.pdf
39. Lovsko upravljavski načrt XI. Triglavskega lovsko upravljavskega območja (2021-2030). 2023. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Tolmin. http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/GGN_nacrtovanje/Razgrnitve_2022/Osnutki_LUN/11-LUN_2021-2030_Triglavsko_LUO.pdf
40. Marenče M., 1997. Kratek zgodovinski pregled. V: Alpski kozorog v Triglavskem narodnem parku in drugod po Sloveniji. Marenče M. (ur.). Razprave in raziskave št 5. Triglavski narodni park. Bled: 13-14
41. Martin C., Pastoret PP., Brochier B., Humblet MF., Saegerman C. 2011. A survey of the transmission of infectious diseases/infections between wild and domestic ungulates in Europe. *Vet Res* 42, 70 (2011). <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-70>



42. Moore-Jones G., Dürr S., Willisch C., Ryser-Degiorgis M. P. 2021. Occurrence of Footrot in free-ranging Alpine ibex (*Capra ibex*) colonies in Switzerland. *J Wildl Dis*, 57 (2): 327–337
43. Moroni B, Brambilla A, Rossi L, Meneguz PG, Bassano B, Tizzani P. 2022. Hybridization between Alpine Ibex and Domestic Goat in the Alps: A Sporadic and Localized Phenomenon? *Animals*, 12(6):751. <https://doi.org/10.3390/ani12060751>
44. Mrak I., Odar M., Marolt M., Krek A., Breznik K., Halvorson S. J. 2017. Aspects of carrying capacities and recreation management: The case of Triglav National Park, Slovenia. 6th Symposium for Research in Protected Areas. Salzburg, 2.-3. november 2017. 437-439
45. Nève Repe A., Arih A., Favalli M., Bertoncej I., Poljanec A. 2023. Upravljanje prostoživečih živali na čezmejnem območju Julijskih Alp na primeru alpskega kozoroga in severnega (alpskega) gamsa. *Gozdarski Vestnik*, 81, 1: 21- 33
46. Nève Repe A., Bužan E., Toškan B., Javornik J., Pokorny B., Arih A., Zver I., Prostor M., Krofel M., Stergar M., Jerina K., Potočnik H., Černe R., Poljanec A. 2023. O domorodnosti alpskega kozoroga v Sloveniji. *Gozdarski Vestnik*, 81, 8-9: 271-285
47. Neve Repe A. 2024. 60 let alpskega kozoroga v Julijskih Alpah – od 1964 do 2024. *Gozdarski Vestnik*, 82, 10: 435-436
48. Parrini F., Grignolio F., Luccarini S., Bassano B., Apollonio. 2003. Spatial behaviour of adult male Alpine ibex *Capra ibex ibex* in the Gran Paradiso National Park, Italy. *Acta Theriologica*, 48(3):411-423
49. Perez J. M., Granados J. E., Espinosa J., Raez-Bravo A., Lopez-Olvera J. R., Rossi L., Meneguz P. G., Angelone S., Fandos P., Soriguer R. C. 2020. Biology and management of sarcoptic mange in wild Caprinae populations. *Mammal Review*, 51: 1
50. Perez J. M., López-Montoya A. J., Cano-Manuel F. J., Soriguer R. C., Fandos P., Granados J. E. 2022. Development of resistance to sarcoptic mange in ibex. *The journal of Wild Managment*, 86: 5
51. Pérez-González J., Carranza J., Martinez R., Benitez-Medina J. M. 2021. Host Genetic Diversity and Infectious Diseases. Focus on Wild Boar, Red Deer and Tuberculosis. *Animals*, 11(6), 1630; <https://doi.org/10.3390/ani11061630>
52. Poljanec A., Arih A., Santi S., Walzer C. 2019. Harmonizing trans-boundary wildlife management to improve ecological connectivity of chamois and alpine ibex. *Albionet2030*
53. Poljanec, A., Guček, M., Simončič, T., Stergar, M., Marenče, M., Pisek, R. 2023. Območni gozdnogospodarski in lovsko upravljavski načrti za obdobje 2021–2030 - Kompendij. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije
54. Pogorevc N. 2024. Genetska pestrost drežniške pasme domače koze *Capra aegagrus hircus* in ugotavljanje introgresivne hibridizacije z alpskim kozorogom *Capra ibex*. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
55. Pohar V., 1993. Fosilni alpski kozorog iz Prodne jame pri Trobnjah blizu Dravograda (Slovenija). *Razprave*, 34: 117-127



56. Ráez-Bravo A., Granados J.E., Espinosa J., Nonell L., Serrano E., Puigecanet E., Bódalo M., Pérez J. M., Soriguer R. C., Fandos P., López-Olvera J. R. 2024. Genomics reveal local skin immune response key to control sarcoptic mange in Iberian ibex (*Capra pyrenaica*). BMC Genomics 25, 1144 <https://doi.org/10.1186/s12864-024-10999-4>
57. Rakovec I. 1973. Razvoj kvartarne sesalske favne v Sloveniji. Arheološki Vestnik, 24: 225-270
58. Razpet P., 2022. Zgodovinska prisotnost alpskega kozoroga v Alpah in Sloveniji. Predavanje na strokovnem posvetu Alpski kozorog včeraj, danes, jutri. Bled, 19. 10. 2022
59. Rossi L., Meneguz P.G., De Martin P., Rodolfi M. 1995. The epizootiology of sarcoptic mange in chamois, *Rupicapra rupicapra*, from the Italian eastern Alps. Parassitologia, 37:233–240
60. Sganzerla F., Ciuti S., Bassano B., Grignolio S. 2024. Alpine ibex resource selection under the pressure of livestock and rising temperatures. Knjiga povzetkov konferenca
61. Stüve M., Nievergelt B., 1991. Recovery of Alpine ibex from near extinction—the result of effective protection, captive breeding, and reintroduction. Appl. Anim. Behav. Sci. 29: 379–387
62. Šašelj Z., 1997. Naselitev kozorogov v Kamniški Bistrici. V: Alpski kozorog v Triglavskem narodnem parku in drugod po Sloveniji. Marenče M. (ur.). Razprave in raziskave št 5. Triglavski narodni park. Bled: 43-45
63. Toïgo C., Brambilla A., Grignolio S., Pedrotti L. 2020. *Capra ibex*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T42397A161916377. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T42397A161916377.en>
64. Toškan B., Dirjec J. 2011. Sesalska makrofavna. V: Poznoantična utrjena naselbina Tonovcov grad pri Kobaridu. Najdbe. Modrijan Z., Milavec T. (ur.). Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC: 303-388
65. Toškan B., Bartosiewicz L. 2018. Živalski ostanki iz naselbine na Mostu na Soči: vpogled v družbeno kompleksnost železnodobne skupnosti v jugovzhodnoalpskem prostoru. V: Železnodobno naselje Most na Soči. J. Dular in S. Tecco Hvala (ur.). Ljubljana: ZRC SAZU, Inštitut za arheologijo, Založba ZRC: 467–510
66. Toškan B. 2022. Zgodovinska prisotnost alpskega kozoroga v Alpah in Sloveniji. Predavanje na strokovnem posvetu Alpski kozorog v Sloveniji včeraj, danes, jutri. Bled, 19. 10. 2022
67. Umek E. 1970. Lov in lovstvo, Ribištvo in ribolov. V: Gospodarska in družbena zgodovina Slovencev I: 469–520
68. Valič A. 1968. Gradišče nad Pivko pri Naklem. Arheološki Vestnik, 19(1)
69. Vengušt G. 2024. O boleznih alpskega kozoroga. Veterinarska fakulteta, Univerza v Ljubljani (osebni vir, 21.11.2024)
70. Veternik D. 2024. O parazitoloških preiskavah odstreljenih kozorogov v LPN Kozorog Kamnik. LPN Kozorog Kamnik, Zavod za gozdove Slovenije, (osebni vir, 20.10.2024)



71. Veternik D., 2022. Alpski kozorog v Kamniško-Savinjskih Alpah. Predavanje na strokovnem posvetu Alpski kozorog včeraj, danes, jutri. Bled, 19. 10. 2022
72. Weeks A. R., Moro D., Thavornkanlapachai R., Taylor H. R., White N. E., Weiser E. L., Heinze d. 2015. Conserving and enhancing genetic diversity in translocation programs. *Advances in Reintroduction Biology*, 127-140
73. Zakon o divjadi in lovstvu (ZDLov; Uradni list RS, št. 16/04, 120/06 – odl. US, 17/08, 46/14 –ZON-C, 31/18, 65/20, 97/20 – popr., 44/22 in 158/22)
74. Zakon o ohranjanju narave (ZON). 1999. Uradni list RS, št. 96/04 – uradno prečiščeno besedilo, 61/06 – ZDru-1, 8/10 – ZSKZ-B, 46/14, 21/18 – ZNOrg, 31/18, 82/20, 3/22 – ZDeb, 105/22 – ZZNŠPP in 18/23 – ZDU-10



12. PRILOGE

DP-318-1/2025

**PRENOS DOBRIH PRAKS, PREPOZNANIH V PROJEKTU, V
STROKOVNE USMERITVE ZA UPRAVLJANJE Z ALPSKIM
KOZOROGOM IN SODELOVANJE V NASLEDNJIH FAZAH DELA
NA PROJEKTU TER SODELOVANJE NA MEDSEBOJNI
IZMENJAVI IZKUŠENJ MED PROJEKTNIMI PARTNERJI**

Fakulteta za varstvo okolja

Januar, 2025

Fakulteta za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si

www.fvo.si



Naročnik: **Zavod za gozdove Slovenije**
Večna pot 2, 1001 Ljubljana

Predstavnika naročnika: Rok Černe, Maruša Prostor

Izvajalec: **Fakulteta za varstvo okolja**
Trg mladosti 7, 3320 Velenje

Naslov projekta: **PRENOS DOBRIH PRAKS, PREPOZNANIH V PROJEKTU, V STROKOVNE USMERITVE ZA UPRAVLJANJE Z ALPSKIM KOZOROGOM IN SODELOVANJE V NASLEDNJIH FAZAH DELA NA PROJEKTU TER SODELOVANJE NA MEDSEBOJNI IZMENJAVI IZKUŠENJ MED PROJEKTNIMI PARTNERJI**

Oznaka pogodbe: /

Vodja projekta: prof. dr. Elena Bužan

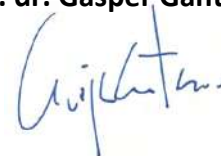
Avtorji poročila: prof. dr. Elena Bužan
Urška Pobega
Alenka Babič
prof. dr. Boštjan Pokorny

Kraj in datum: Velenje in Koper, 30. 1. 2025

Vodja projekta:
prof. dr. Elena Bužan



Direktor FVO:
doc. dr. Gašper Gantar



KAZALO VSEBINE

1.	UVOD	1
1.1.	Demografija in zgodovina vrste	1
1.2.	Zgodovinsko ozko grlo in populacija v Gran Paradisu, Italija	2
1.3.	Ponovno naseljevanje območja Alp izven Gran Paradisa	3
1.4.	Populacije kozoroga v Sloveniji	5
2.	GENETSKE ANALIZE, EFEKTIVNE VELIKOSTI IN PARJENJE V OŽJEM SORODSTVU ...7	
2.1.	Uporaba različnih markerjev za opredelitev genetske variabilnosti in populacijske strukture	7
2.2.	Trenutne genetske raziskave kozorogov	12
3.	GENOMSKÉ RAZISKAVE ALSPKEGA KOZOROGA KOT ORODJE ZA OPREDELITEV PARJENJA V OŽJEM SORODSTVU VRSTE V SLOVENIJI	14
3.1.	Teoretično ozadje uporabe genomskih raziskav	14
3.2.	Kopičenje in čiščenje škodljivih mutacij v primarno in sekundarno naseljenih populacijah	15
3.3.	Parjenje v ožjem sorodstvu v ponovno naseljenih populacijah	21
3.4.	Genetske analize za učinkovitejše upravljanje alpskega kozoroga	24
4.	PRELIMINARNI REZULTATI ANALIZE CELOTNEGA GENOMA POPULACIJ KOZOROGA V SLOVENIJI	31
4.1.	Material in metode	31
4.2.	Preliminarni rezultati analize celotnega genoma alpskega kozoroga	35
5.	ZAKLJUČEK	38
6.	VIRI IN LITERATURA	40

KAZALO SLIK

Slika 1.	Alpski kozorog (<i>Capra ibex</i>)	1
Slika 2.	Prostorska razširjenost 178 populacij alpskega kozoroga v Evropi	5
Slika 3.	Lokacije vzorčenja populacij iberskega kozoroga in alpskega kozoroga, ki so bile vključene v študijo Grossen in sod. (2020).....	16
Slika 4.	Nukleotidna raznolikost proučevanih populacij	17
Slika 5.	Delež genoma alpskega kozoroga znotraj homozigotnih regij (ROH), daljših od 2,5 Mbp, ki nakazujejo recentno parjenje v ožjem sorodstvu.....	18
Slika 6.	Prisotnost ozkega grla pri populaciji alpskega kozoroga iz Alpi Marittime je očitna v primerjavi z drugimi analiziranimi populacijami te vrste.....	19
Slika 7.	Analiza glavnih komponent vseh osebkov alpskega kozoroga, vključenih v študijo Grossen in sod. (2022).....	19
Slika 8.	Za prikaz demografskega modela so bili uporabljeni zgodovinski zapisi o ponovnih naselitvah alpskega kozoroga in podatki o številu osnovateljev za posamezne populacije.	20
Slika 9.	Število homozigotnih osebkov glede na simulacije znotraj proučevanih populacij po kategorijah vpliva	21
Slika 10.	Prikaz parjenja v ožjem sorodstvu, prisotnega v primarno in sekundarno naseljenih populacijah alpskega kozoroga v Alpah	22
Slika 11.	Prikaz vpliva parjenja v ožjem sorodstvu na populacijsko rast dveh populacij alpskih kozorogov, ki sta bili zasnovani z <10 osnovatelji	23
Slika 12.	Vizualizacija učinka parjenja v ožjem sorodstvu na rast populacije alpskega kozoroga	23
Slika 13.	Prikaz populacij, ki so bile uporabljene v študiji za izboljšanje upravljaljskih strategij pri ustanovitvi novih populacij kozoroga in bogatenja genskega sklada obstoječih populacij te vrste.....	24
Slika 14.	Stopnja parjenja v ožjem sorodstvu v odvisnosti od časa (števila let) od naselitve osebkov	25
Slika 15.	Vpliv deleža samic med izpuščenimi osebki oz. na začetku zasnovanja populacije na stopnjo homozigotnosti v generacijskem času oz. 12 let po izpustitvi.....	26
Slika 16.	Vpliv relativnega števila izpuščenih osebkov (glede na velikost/cenzus populacije) na stopnjo homozigotnosti v generacijskem času oz. 12 let po izpustitvi.....	26
Slika 17.	Preživetje doseljenih alpskih kozorogov po izpustitvi v različne populacije	27
Slika 18.	Stopnja parjenja v ožjem sorodstvu v primeru, ko so bili osnovatelji iz ene, dveh ali treh različnih genskih skupin alpskih kozorogov	27
Slika 19.	Genetsko ozadje oz. genska diferenciacija populacij alpskega kozoroga	28
Slika 20.	Znižanje stopnje parjenja v ožjem sorodstvu med testiranimi populacijami v primeru, da so osebki doseljeni iz različnih izvornih populacij	28

Slika 21. Premestitve osebkov med populacijami z namenom zmanjševanja parjenja v ožjem sorodstvu, ki so bile v Alpah izvedene v preteklih letih glede na priporočila genomskih študij, tj. analize na SNPs čipu	29
Slika 22. Prikaz analize komponent populacije po doselitvi osebkov	30
Slika 23. Lokacije vzorcev (tkiv, kosti) alpskega kozoroga, vključenih v raziskavo na območju Triglavskega LUO, in kratice, ki so bile uporabljene za oznako populacij.....	31
Slika 24. Prikaz prisotne homozigotnosti ROH znotraj analiziranih osebkov alpskih kozorogov v preliminarni analizi.....	36
Slika 25. Genska diferenciacija analiziranih alpskih kozorogov, dobljena s PCA analizo	36
Slika 26. Genetska struktura populacij, ugotovljena na podlagi majhnega števila analiziranih vzorcev (n = 10), nakazuje, da je v Sloveniji različno genetsko ozadje alpskih kozorogov v primerjavi s Švico oz. Italijo	37

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Prikaz vpliva starosti naseljenih kozorogov na njihov razmnoževalni potencial in na preživetje osebkov	25
Preglednica 2. Vzorci alpskih kozorogov z navedbo populacij in lokacij vzorčenja, ki so vključeni v preliminarno genomsko analizo.....	35

OZADJE PRIPRAVE DOKUMENTA

Dokument je nastal v okviru projekta CIBioGO (Citizen Participation in Biodiversity Governance) in predstavlja prilogo k Smernicam za ohranitveno upravljanje z alpskim kozorogom. Njegova vsebina temelji na prenosu dobrih praks projektnih partnerjev, ki so nam omogočile izboljšanje in nadgradnjo naših pristopov k upravljanju te vrste.

V procesu priprave dokumenta smo preučili in analizirali dobre prakse latvijskega projekta "Attention, Invasive!" ter italijanskega projekta "Blue Crab". Na podlagi pridobljenih spoznanj smo oblikovali strokovne smernice za upravljanje populacije alpskega kozoroga, ki temeljijo na preizkušenih metodologijah in integriranih pristopih. Obe omenjeni dobri praksi sta osredotočeni na pripravo usmeritev za upravljanje prostoživečih rastlinskih in živalskih vrst ter na postopke, ki vključujejo razvoj učinkovitih smernic.

Italijanski projekt "Blue Crab" je namenjen ohranjanju avtohtone biotske raznovrstnosti regije Basilicata z integriranim pristopom k obvladovanju invazivnih tujerodnih vrst. V okviru projekta so bile izvedene štiri ključne dejavnosti:

1. Poskusni nadzor populacij invazivnih vrst,
2. Predhodna ocena potencialnih dobavnih verig,
3. Spremljanje vodne biocenoze ter
4. Ozaveščanje in vključevanje upravnih organov, državljanov, ribičev in gostincev.

Projekt temelji na eksperimentalnem pristopu, namenjenem zbiranju podatkov o selektivnih tehnikah odstranjevanja ter prostorsko-časovni porazdelitvi ciljnih vrst. Kot prvi nacionalni projekt v Italiji, usmerjen v učinkovito upravljanje modre rakovice, je prispeval k oblikovanju smernic, ki opredeljujejo ključne pristope in podlage za nadaljnje ukrepe upravljanja. Ta primer dobre prakse je bil za nas izjemno pomemben, saj smo pridobljena znanja uporabili pri razvoju smernic za upravljanje alpskega kozoroga v Sloveniji.

Latvijski projekt LIFE-IP LatViaNature je z integrirano kampanjo "Attention, Invasive!" prispeval k izboljšanju sistema upravljanja invazivnih vrst v Latviji. Ključna vrednost tega pristopa je inovativna metodologija, ki obravnava problematiko prostoživečih vrst. Čeprav se projekt osredotoča na invazivne rastlinske vrste, predstavlja vzorčni model za upravljanje

specifičnih vrst.

Elementi te dobre prakse so bili že vključeni v naše politike upravljanja, predvsem prek ozaveščanja ključnih deležnikov in širše javnosti o pomenu ustreznega upravljanja populacij alpskega kozoroga. Latvijski partnerji so razvili smernice za upravljanje invazivnih vrst, kar je neposredno vplivalo na oblikovanje naših smernic za ohranitveno upravljanje alpskega kozoroga ter posledično na izboljšanje praks upravljanja te vrste v Sloveniji.

Oba primera dobre prakse poudarjata pomen celostnega in strokovno utemeljenega pristopa k upravljanju rastlinskih in živalskih vrst. Razvoj ustreznih smernic, ki vključujejo vse ključne postopke in pristope, je bistvenega pomena za učinkovito ohranitveno upravljanje. Na podlagi teh spoznanj smo oblikovali smernice, ki bodo prispevale k dolgoročnemu varstvu alpskega kozoroga na območju slovenskih Alp.

1. UVOD

1.1. Demografija in zgodovina vrste

Alpski kozorog (*Capra ibex*) je gorski kopitar/parkljar (Slika 1), ki je endemičen v Alpskem prostoru. Najdemo ga v vseh alpskih državah, vključno s Francijo, Italijo, Švico, Lihtenštajnom, Avstrijo, Nemčijo in Slovenijo. Naseljuje območja od 750 metrov nadmorske višine, npr. v regionalnem parku Vercors v Franciji, do več kot 3.000 metrov v zahodnem delu Alp. Kozorogi preferirajo bogate alpske travnike z osamljenim skalovjem (za počitek) na višinah med 1.500 in 3.000 metri, saj ti zagotavljajo primerne pogoje za prehranjevanje in razmnoževanje (Grignolio in sod. 2003, 2007).



Slika 1. Alpski kozorog (*Capra ibex*) (vir: pixabay; franzschabreiter).

Predniki alpskega kozoroga so najverjetneje prišli v Evropo iz Srednje Azije pred približno 300.000 leti (Cregut-Bonnoure 1992). V tem obdobju je vrsta v svoji zgodovini naseljevala največje območje, ki je segalo tudi onkraj alpskega loka. Po koncu Riške poledenitve (angl. *Riss glaciation*) so se nižinska območja zarasla, kar je povzročilo zmanjšanje obsega primernih habitatov in posledično areala, ki je ostal omejen na alpsko območje (Bambilla in sod. 2020).

Vendar nekatere raziskave nakazujejo možnost alternativnega naseljevanja Evrope s Pirenejskega polotoka, zato izvor vrste in proces širjenja po Evropi ostajata predmet novjših preučevanj ([Manceau in sod. 1999](#); [Pidancier in sod. 2006](#); [Kazanskaya in sod. 2007](#)).

1.2. Zgodovinsko ozko grlo in populacija v Gran Paradisu, Italija

V srednjem veku so alpski kozorogi še vedno naseljevali večji del alpskega prostora. Prvi znaki upada vrste zaradi izgube habitatov in lova segajo v pozni srednji vek, ko so populacije začele postopoma izginjati iz alpskih držav. Razlog za začetek upada je verjetno ljudsko verovanje, da imajo nekateri telesni deli (npr. t. i. srčni križ) te vrste magične in zdravilne lastnosti, zaradi česar je bil kozorog tarča intenzivnega lova. Vendar je šele intenzivna izguba habitatov, ki se je začela v 17. stoletju, skupaj z uporabo strelnega orožja v 19. stoletju, povzročila drastičen upad populacij ([Couturier 1962](#); [Robin in sod. 2022](#)). To je sprva privedlo do lokalnih izumrtij posameznih populacij, nato pa vrsto potisnilo na rob popolnega izumrtja ([Grodinsky in Stüewe 1987](#)). Do 19. stoletja je alpski kozorog že izginil iz Avstrije, Slovenije, Švice in Francije. Edina preživela populacija v severozahodnih italijanskih Alpah, v parku Gran Paradiso, je obstala predvsem zaradi prizadevanj lokalne skupnosti in lovcev, vendar je štela le nekaj več kot sto osebkov ([Grodinsky in Stüewe 1987](#)).

Leta 1821 je bil lov na kozoroge v tem območju prepovedan, kar je skupaj z ustanovitvijo kraljevega lovskega rezervata Gran Paradiso leta 1856 omogočilo postopno okrevanje populacije. Do začetka 20. stoletja je število osebkov naraslo na približno 3.000. V prvi polovici 20. stoletja je bilo iz Gran Paradisa premeščenih približno 90 osebkov v švicarska parka St. Gallen in Interlaken za nadaljnjo vzrejo in poselitev švicarskih Alp ([Stüewe in Scribner 1989](#)).

Hiter upad števila osebkov, lokalna izumrtja populacij in skoraj popolno izumrtje vrste so povzročili izrazito genetsko ozko grlo, ki je privedlo do nepopravljive izgube genske variabilnosti ter številnih evlucijsko pomembnih alelov, ključnih za prilagoditev vrste na spremembe v okolju. Genetsko ozko grlo nastane, ko se velikost populacije močno zmanjša, kar povzroči izgubo genske raznolikosti ([Morris in Doak 2002](#)). Čeprav se populacije po prehodu skozi genetsko ozko grlo lahko številčno obnovijo, je obnova njihove prvotne genske variabilnosti redka. Genska raznolikost se zmanjša tako med fazo ozkega grla kot med okrevanjem, saj majhna začetna populacija dodatno utrpi posledice genskega zdrsa in parjenja v ožjem sorodstvu ([Grant in sod. 2001](#); [Keller in sod. 2001](#)).

Povprečna heterozigotnost, ki je kazalnik genske raznolikosti in adaptivnega potenciala vrste, je pri alpskem kozorogu med najmanjšimi, zabeleženimi pri prostoživečih sesalcih ([Biebach in Keller 2010](#)). Populacija v Gran Paradisu, ki predstavlja edino preživelo izvirno populacijo alpskega kozoroga, žal tudi kaže negativne posledice oz. znake parjenja v ožjem sorodstvu. Ta negativno vpliva na stopnjo rasti populacije in ovira obnovo genskega sklada ([Brambilla in sod. 2015](#); [Bozzuto in sod. 2019](#)).

Sodobni ukrepi za ohranitev alpskega kozoroga se osredotočajo na povečanje genske raznolikosti in preprečevanje parjenja v ožjem sorodstvu. Ti ukrepi vključujejo nadzorovano vzrejo, ponovno naselitev osebkov in strogo zaščito območja naselitve/doselitve. Zgodba alpskega kozoroga predstavlja primer kompleksne dinamike med človekovimi aktivnostmi, zgodovinskimi dejavniki in prizadevanji za ohranitev narave ([Biebach in Keller 2009](#)).

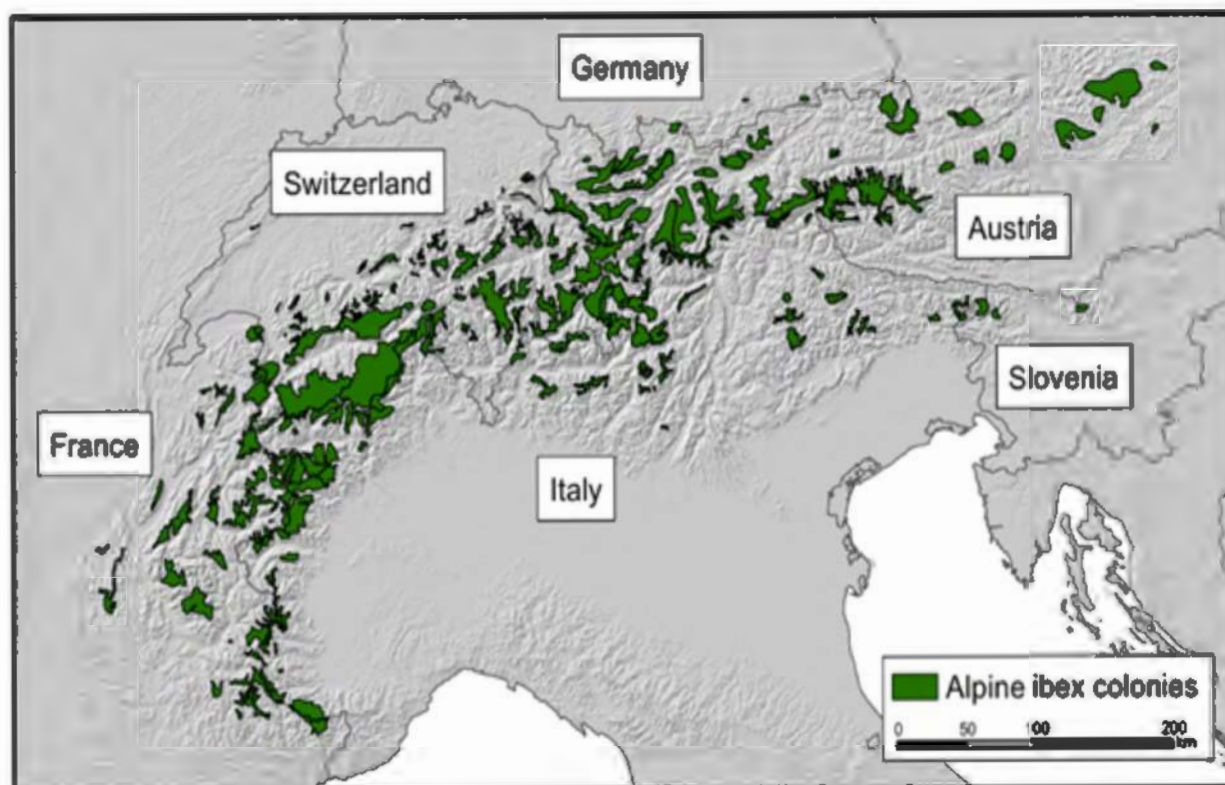
1.3. Ponovno naseljevanje območja Alp izven Gran Paradisa

Alpski kozorog je ena najuspešnejših zgodb naravovarstva oz. ohranjanja vrst v Evropi. Številni projekti in prizadevanja so pripomogla k ponovni naselitvi te vrste po njenem skorajšnjem izumrtju v 19. stoletju, in sicer iz edine preživele populacije v Gran Paradisu v številna območja v Alpah, kjer so bile populacije prisotne v preteklosti, tj. pred lokalnim izumrtjem ([Griffith in sod. 1989](#); [Colas in sod. 2004](#)). Programi ponovnega naseljevanja kozorogov so bili v 20. stoletju tako obsežni, da je sedaj vrsta ponovno naseljena na območja celotnega alpskega loka ([Stüewe in Nievergelt 1991](#)). Trenutno v Evropi (v Franciji, Švici, Lihtenštajnu, Nemčiji, Italiji, Avstriji in Sloveniji) živi več kot 53.000 alpskih kozorogov (Slika 2; [Robin in sod. 2022](#)). Uspehi in neuspehi ponovne naselitve kozoroga v Alpah so bili skrbno dokumentirani, številne kolonije pa se še vedno spremljajo in aktivno upravljajo ([De Danieli in Sarasa 2015](#)).

Prve ponovne naselitve alpskega kozoroga so potekale v Švici v začetku 20. stoletja, nato pa so sledile ponovne naselitve še v druge alpske države. Med letoma 1911 in 2014 je bilo uspešno zasnovano 178 populacij, pri čemer je večina (82 %) nastala med leti 1950 in 2000 ([Giacometti 1991](#); [Stüewe in Nievergelt 1991](#)). Manjši delež kolonij (12 %) so zasnovali pred letom 1950, zlasti v Švici in Italiji, medtem ko so po letu 2000 ustanovili le 6 % novih kolonij. Čeprav danes alpski kozorog poseljuje celoten alpski lok, ostaja njegov življenjski prostor razdrobljen, nekateri primerni habitati v Alpah pa še vedno neposeljeni ([Brambilla in sod. 2020](#)).

Izbruhi bolezni so imeli velik vpliv na zasnovane populacije. Mednje sodijo npr. izbruh garij v vzhodnih Alpah ([Carmignola in sod. 2006](#)), bruceloze na območju Bargy v Franciji ([Mick in sod. 2014](#)) ter prisotnost respiratornih bolezni v narodnem parku Vanoise ([Garnier in sod. 2016](#)). V narodnem parku Gran Paradiso so ugotovili, da je večja prevalenca infekcijskega keratokonjunktivitisa prisotna v populacijah z manjšo genska variabilnostjo ([Brambilla in sod. 2018](#)). Čeprav se je številčnost kozoroga v Alpah povečala, še vedno ostajajo izzivi, kot so razdrobljenost življenjskega prostora, majhna genska variabilnost, negativne posledice parjenja v ožjem sorodstvu, izbruhi bolezni in prilagoditve nanje, pa tudi prilagoditev vrste na prihajajoče okoljske spremembe in segrevanje v Alpah. Te izzive dodatno otežuje majhen genski potencial, ki je posledica skorajšnje izgube vrste v preteklosti in nastanka zgodovinskega ozkega grla. Poleg tega na gensko raznolikost negativno vplivata izolacija populacij in genetski zdrs, prisoten zaradi učinka osnoveatelja ter parjenja v ožjem sorodstvu.

Ponovno naseljevanje alpskega kozoroga na številnih lokacijah alpskega loka je primer uspešnega sodelovanja deležnikov na področju upravljanja z ogroženo vrsto. Čeprav je vrsta zaščitena v okviru Bernske konvencije (Konvencija o varstvu prosto živečega evropskega rastlinstva in živalstva ter njunih naravnih življenjskih prostorov, Dodatek III – zaščitene živalske vrste, 1979; Ur. l. RS 55/99, MP, št. 17) in Evropske direktive o habitatih (Direktiva Sveta 92/43/EGS, z dne 21. maja 1992) ter se z njim aktivno upravlja v skladu z naravovarstvenimi cilji, je bil kozorog na območju Slovenije do nedavnega smatran za tujerodno vrsto. Razlike v upravljanju vrste med posameznimi državami in pomanjkanje enotne politike za izmenjavo podatkov negativno vplivajo na aktivno upravljanje, ki bi moralo temeljiti na znanstvenih dognanjih ([Nève Repe in sod. 2023](#)). Nadaljnje usklajeno delovanje med evropskimi državami in izboljšanje izmenjave podatkov sta zato bistvena elementa za dolgoročno ohranitev te ključne vrste alpskega območja ([Biebach in Keller 2009](#)).



Slika 2. Prostorska razširjenost 178 populacij alpskega kozoroga v Evropi (vir: [Brambilla in sod. 2020](#)).

1.4. Populacije kozoroga v Sloveniji

Alpski kozorog je edina prostoživeča vrsta iz rodu *Capra*, ki jo najdemo v Sloveniji. Kozorog je alpski endemit, vendar je bil njegov status do nedavnega razumljen kot tujeroden ([Kos in Potočnik 2012](#)). Pred časom so namreč posamezni avtorji opozorili na pomanjkanje trdnih dokazov o prisotnosti kozoroga v Sloveniji, še posebej zaradi pomanjkanja zgodovinskih virov ([Kryštufek 1991](#)), zaradi česar je bila vrsta v strateških in operativnih dokumentih (npr. v dolgoročnih in (dve)letnih lovskoupravljaljskih načrtih) obravnavana kot tujerodna vrsta. Nedavno pa so številni raziskovalci na podlagi novih spoznanj izrazili dvome o tujerodnosti vrste v Sloveniji ([Nève Repe in sod. 2023](#)), saj arheološke najdbe iz obdobja od pleistocena do srednjega veka, kot so ostanki kosti iz Ljubljane, Kranja, Mosta na Soči in Tonovcovega gradu na Kobariškem, predstavljajo pomembne dokaze, ki podpirajo zgodovinsko (holocensko) prisotnost alpskega kozoroga na območju slovenskih Alp ([Toškan 2022](#); [Toškan in Dirjec 2011](#)). Arheološke najdbe in analiza starodavne DNA, izolirane iz ostankov kosti iz bronaste dobe na Toncovem gradu v bližini Julijskih Alp, so podprle prisotnost kozoroga na območju Slovenije in potrdile domorodnost te vrste pri nas ([Nève Repe in sod. 2023](#)).

Kozorog je bil na območje Slovenije ponovno naseljen konec 19. stoletja, ko je baron Julius Born zasnoval prvo majhno kolonijo v Karavankah. V naslednjem desetletju so sledila doseljevanja v Julijske in Kamniško-Savinjske Alpe. Populacija v Karavankah je zaradi izbruhov gamskih garij izumrla, druge populacije pa so preživele ([Kryštufek in sod. 1997](#); [Hafner in Černe 2012](#)). Po zadnjih podatkih iz leta 2016 je bilo v Sloveniji v štirih kolonijah zabeleženih 277 kozorogov ([Brambilla in sod. 2020](#)). Od konca prejšnjega stoletja se populacije soočajo z upadom števila osebkov in negativnim trendom, predvsem zaradi bolezni, kot je garjavost, ter težav, povezanih s parjenjem v sorodstvu. Te težave so posledica prostorske izoliranosti populacij in učinka osnove, saj so bile začetne kolonije zasnovane iz majhnega števila osebkov; v mnogih primerih so osebk prihajali iz iste izvorne populacije, ki je že trpela negativne posledice parjenja v ožjem sorodstvu ([Marenče 2004](#); [Bozzuto in sod. 2019](#); [Bužan in sod. 2022](#)).

V Sloveniji je kozorog opredeljen kot divjad, s katero upravljamo trajnostno v skladu z Zakonom o divjadi in lovstvu ([ZDLov](#); [Ur. l. RS, št. 16/04](#)). Za dolgoročno ohranitev vrste je bistvenega pomena povečanje genske raznolikosti in izboljšanje povezljivosti med populacijami, kar bi zmanjšalo negativne učinke parjenja v ožjem sorodstvu ([Bozzuto in sod. 2019](#); [Pérez in sod. 2022](#); [Nève Repe in sod. 2023](#)).

2. GENETSKE ANALIZE, EFEKTIVNE VELIKOSTI IN PARJENJE V OŽJEM SORODSTVU

2.1. Uporaba različnih markerjev za opredelitev genetske variabilnosti in populacijske strukture

Genom osebka predstavlja celotni zapis DNA. Spremembe v zapisu DNA so ključne, da se osebki med sabo razlikujejo – ne le med vrstami, ampak tudi znotraj vrste oziroma med različnimi populacijami. Te si delijo podoben genski sklad, ki pa je pogosto drugačen od tistega, ki ga imajo druge populacije znotraj vrste, zato se med seboj razlikujejo glede na gensko variabilnost. Od genetske variabilnosti je odvisno prilagajanje in preživetje populacij v spreminjajočem se okolju. Zato je spremljanje genskih sprememb zelo pomembno za dolgoročno ohranjanje zdravih populacij. Genski sklad kozoroga je zaradi zgodovinskega ozkega grla, parjenja v ožjem sorodstvu in negativnega vpliva genskega zdrsa, ki je posledica izolacije populacij, močno osiromašen. Glede na ponovno naseljevanje kozoroga iz edine preživele populacije na celotno območje Alp se je za to vrsto že zelo zgodaj vzpostavil genetski monitoring, tudi za ugotavljanje oz. sledenje parjenju v ožjem sorodstvu in hibridizacije z domačo kozo (*Capra hircus*). V ta namen so bili v preteklosti razviti številni genski markerji (označevalci), kot so mikrosateliti in enojni nukleotidni polimorfizmi (angl. *single nucleotide polymorphisms* ali SNPs).

S pomočjo 37 mikrosatelitnih lokusov sta [Biebach in Keller \(2009\)](#) preučevali vplive zaporednih ozkih grl na genetsko variabilnost in diferenciacijo 42 populacij alpskega kozoroga v Švici, katerih zgodovina ponovnega naseljevanja je dobro dokumentirana. Avtorja sta zaznala izrazit vpliv ponovnega naseljevanja osebkov na genetsko strukturo obstoječih populacij. Zgodovina ponovnega naseljevanja pojasnjuje pomemben delež genetskih razlik med populacijami. Zaradi preselitve osebkov iz edine preživele populacije je večina genske variabilnosti izvirne populacije zdaj prisotna v združenih, ponovno naseljenih švicarskih populacijah. Vendar pa je ponovno naseljevanje zaradi učinka osnovatelja vplivalo na zmanjšanje genske variabilnosti ustanovljenih populacij, tako da vse švicarske populacije kažejo manjšo gensko variabilnost kot izvirna populacija. Kot je bilo pričakovano, so zaporedna ozka grla različno vplivala na pričakovano heterozigotnost (H_e) in standardizirano število alelov (sNa) v populacijah. Medtem ko je bila izguba sNa večja pri prvih ozkih grlih kot pri poznejših, se je H_e v enaki meri

zmanjševala pri vsakem ozkem grlu. Vpliv genskega zdrsa je bil zaznan pri vsakem ozkem grlu (učinku osnovatelja), tudi ko ni bilo opaziti izgube sNa. Skupno gledano je več kot sto let po začetku tega uspešnega programa ponovnega naseljevanja prav zgodovina ponovnega naseljevanja glavni dejavnik, ki prispeva k genetski strukturi današnjih populacij alpskega kozoroga v Švici.

[Biebach in Keller \(2010\)](#) sta na podlagi podatkov 41 ponovno naseljenih populacij alpskega kozoroga ocenila stopnjo parjenja v sorodstvu od začetka ponovnih naselitev z uporabo specifičnih vrednosti koeficienta diferenciacije F_{ST} . Parjenje v ožjem sorodstvu v zadnjih nekaj generacijah sta ocenila z efektivno velikostjo populacij. Skupna stopnja parjenja v ožjem sorodstvu od ponovne naselitve alpskega kozoroga je bila v povprečju podobna tisti, ki nastane v eni generaciji parjenja med bližnjimi sorodniki. Ocenjene efektivne velikosti populacij niso odražale stopnje parjenja v sorodstvu od ponovne naselitve, vendar je bilo 16 % variabilnosti v efektivnih velikostih med populacijami mogoče pojasniti z razlikami v trenutnih velikostih populacij. Pomembne razlike v stopnjah parjenja v ožjem sorodstvu med populacijami so bile pojasnjene z različnim številom osnovateljev in harmonično srednjo velikostjo populacij od ustanovitve dalje. Študija poudarja, da so kot ključni parametri, ki določajo vpliv oz. stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu, poleg velikosti začetnih skupin osnovateljev pomembne tudi zgodnje stopnje rasti populacij.

Manjšo študijo na populaciji iz območja Alpi Marittime–Mercantour (Francija) so izvedli [Maudet in sod. \(2004\)](#). Pri raziskavi so uporabili 19 mikrosatelitnih označevalcev. Rezultati so pokazali, da je genska variabilnost, ugotovljena z uporabo mikrosatelitov, v populacijah kozorogov ($H_e \approx 0,13$) med najmanjšimi pri sesalcih. Poleg tega so ugotovili, da je proučevana populacija utrpela hudo gensko ozko grlo, ki je bilo povezano z majhnim številom osnovateljev.

Zaporedna genetska ozka grla, ki so nastala zaradi omejenega števila osnovateljskih osebkov v ponovno naseljenih populacijah, so pripomogla k genskemu zdrsu in posledični visoki stopnji parjenja v ožjem sorodstvu ([Bozzuto in sod. 2019](#)). Ti avtorji so z analizo istih mikrosatelitnih markerjev, ki so jih uporabili že [Biebach \(2009\)](#), ugotovili, da so imele populacije z višjo povprečno stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu dolgoročno do 71 % nižje stopnje populacijske rasti v primerjavi s tistimi, kjer je bilo parjenje v ožjem sorodstvu minimalno.

Zaradi manjše informativne vrednosti mikrosatelitnih markerjev, ki pokrivajo le majhen del genoma, se je z razvojem sodobnih tehnologij, kot so DNA mikromreže za genotipizacijo SNP-ov domače koze, visoko zmogljivo RAD-sekvenciranje z genotipizacijo (angl. *high-throughput RAD-seq genotyping*) ali sekvenciranje celotnega genoma (angl. *whole genome sequencing*, WGS), začela uporaba novejših metod tudi za analizo genetske strukture alpskega kozoroga.

SNP-ji so v primerjavi z mikrosateliti bolj informativni za študije parjenja v ožjem sorodstvu in hibridizacije zaradi več ključnih razlogov. Najprej so SNP-ji izjemno pogosti v genomu, kar omogoča boljšo pokritost in natančnejše analize celotnega genoma. Zaradi njihove nizke stopnje mutacij so bolj stabilni in zanesljivi pri preučevanju filogenetskih odnosov in preteklih genetskih procesov. Poleg tega je genotipiziranje SNP-jev zaradi naprednih tehnologij, kot so genomski čipi in sekvenciranje, hitrejše, lažje in stroškovno učinkovitejše. SNP-ji so prav tako primernejši za analize z velikimi podatkovnimi nizi, saj omogočajo vključitev večjega števila markerjev, kar povečuje statistično moč pri raziskavah genetske raznolikosti in evolucije. Za razliko od mikrosatelitov so SNP-ji manj občutljivi na učinke velikosti vzorca, kar jih naredi bolj zanesljive pri študijah manjših populacij. Zaradi teh prednosti so SNP-ji postali prednostna izbira za sodobne genetske raziskave, vključno s preučevanjem populacijske genetike, ohranitvene biologije in evlucijske zgodovine.

Grossen in sod. (2018) so analiziral več kot 100.000 SNP-ov, določenih s pomočjo RAD metodologije, po celotnem genomu 173 osebkov alpskega kozoroga, iberskega kozoroga (*Capra pyrenaica*) in domače koze. Ugotovili so, da je izvorna populacija iz Gran Paradisa ohranila gensko raznolikost, primerljivo z iberskim kozorogom, ki je doživel manj izrazita ozka grla. Vse ponovno naseljene populacije alpskega kozoroga so imele, tako posamično kot skupaj, nižjo raven genske raznolikosti kot izvorna populacija. Genetski signal ponovnega naseljevanja je bil opazen v populacijah, zasnovanih s primarnimi naseljevanji iz ujetniške vzreje in sekundarnimi naseljevanji iz že vzpostavljenih populacij. Ta postopna strategija ponovnega naseljevanja je pustila močan genomski odtis diferenciacije populacij, ki se je povečal z nadaljnjimi krogi ponovnega naseljevanja. Analizirane ponovno naseljene populacije alpskih kozorogov so vsebovale dolge homologne regije, ki nakazujejo na nedavno parjenje v sorodstvu. Daljše homologne regije pogosto povezujejo z nedavnimi ozkimi grli, ko so starši potomcev tesno sorodstveno povezani.

Poleg tega so SNP-ji omogočili oceno efektivne velikosti populacij (N_e) in identifikacijo genomskih regij, ki so ključne za prilagoditve na okoljske razmere. Efektivna velikost populacije je število reproduktivno aktivnih posameznikov v populaciji, ki prispevajo k genetskemu materialu naslednjih generacij. Praviloma se v programih naseljevanja sledi pravilu, da imajo primarne populacije veliko N_e (~1.000 osebkov), medtem ko imajo sekundarno naseljene populacije znatno manjšo N_e (40–120 osebkov), kar je posledica zaporednih ozkih grl med naselitvami in omejenega števila osnovateljev. Primarne populacije kozoroga (osnovane iz osebkov iz Gran Paradisa) so imele večjo N_e (210–450 osebkov) v primerjavi s populacijami iz sekundarnih in terciarnih naselitev, vendar vseeno manjšo od priporočene (*ibid.*).

Pri izvorni populaciji alpskega kozoroga v Gran Paradiso se je ohranila višja raven genske raznolikosti in nižja stopnja parjenja v ožjem sorodstvu, ravno obratno pa velja za ponovno naseljene populacije. Majhne efektivne velikosti populacije povečujejo genski zdrs, kar lahko vodi do hitrejšega zmanjšanja genske raznolikosti in povečanja parjenja v ožjem sorodstvu. Dolgoročna stabilnost populacije je mogoča le z zadostno efektivno velikostjo, za kar je ključna povezljivost med populacijami. Niz številnih naselitev je povzročil zaporedna genetska ozka grla, pri čemer je vsaka zaporedna naselitev privedla do dodatnega zmanjšanja genske raznolikosti in povečanja genetske diferenciacije med populacijami. Zmanjšana genska raznolikost zaradi parjenja v ožjem sorodstvu lahko vodi do hudih težav (angl. *inbreeding depression*), kot so zmanjšana plodnost, odpornost na bolezni in sposobnost prilagajanja okoljskim spremembam. Ključna dejavnika za nastanek in ohranjanje visokih ravni parjenja v ožjem sorodstvu sta slaba povezanost med populacijami in omejeno število osnovateljskih osebkov, zato je zlasti pomemben prenos raznolikega genetskega materiala med različnimi populacijami oziroma vzpostavljanje povezljivosti med populacijami. Tudi zato so bile nekatere uspešno ustanovljene primarne populacije v Švici nato uporabljene za ustanovitev sekundarnih ali terciarnih populacij (t. i. sekundarne in terciarne naselitve) drugje.

Grossen in sod. (2018) so tudi zaključili, da samo zgodovinski zapisi o preteklih ozkih grlih in velikosti populacij niso dovolj za napovedovanje genske raznovrstnosti v populacijah, saj so lahko zapisi netočni ali nimajo podatkov o celotni demografski zgodovini populacij (npr. migracije in razmerja med spoloma). Iz tega razloga so genomske raziskave pomembno (dodatno) orodje za spremljanje stanja populacij, tudi če so na voljo drugi podatki.

Ključni genetski dejavnik za preživetje vrst je zmanjševanje bremena škodljivih mutacij (ang. *mutation load*). [Grossen in sod. \(2020\)](#) so analizirali 60 celotnih genomov šestih vrst kozorogov (*C. ibex*, *C. sibirica*, *C. falconeri*, *C. nubiana*, *C. aegagrus*, *C. pyrenaica*) in domače koze. Ugotovili so, da zgodovinska ozka grla, ne pa trenutni status ohranjanja, napovedujejo raven genske variabilnosti v celotnem genomu. Z analizo izjemno dobro dokumentiranih populacijskih ozkih grl alpskega kozoroga so potrdili, da v genomu kozoroga poteka odstranjevanje močno škodljivih mutacij in kopičenje blago škodljivih mutacij. To kaže, da so ozka grla pri ponovnem naseljevanju sprožila oslABLJENO selekcijo, a tudi "čiščenje", s čimer so preoblikovala obseg bremena škodljivih mutacij. Njihove ugotovitve poudarjajo, da populacije z več kot 1.000 osebki kopičijo blago škodljive mutacije v primeru, ko je vrsta izkusila izjemno močno zgodovinsko ozko grlo. Zato bi se ohranitvena prizadevanja morala osredotočiti na preprečevanje zmanjševanja velikosti populacij pod to število, da bi zagotovili dolgoročno preživetje kozoroga tudi na regionalnem (oz. v Sloveniji nacionalnem) nivoju.

[Robin in sod. \(2022\)](#) so raziskovali starodavno DNA kozorogov iz obdobja 8601 pr. n. št. do 1919 n. št. ter jo primerjali s 60 že objavljenimi sodobnimi celotnimi genomi. Simulacije demografije z uporabo koalescentnih modelov so pokazale populacijska nihanja, ki sovpadajo z zadnjim velikim ledenodobnim obdobjem. S pomočjo starodavnih in zgodovinskih celotnih genomov mitohondrijske DNA so ugotovili, da se je število mitohondrijskih haplotipov zmanjšalo na petino genske raznolikosti, ki je obstajala pred ozkim grlom v 17. stoletju, pri čemer so bile v preteklosti številne izrazito diferencirane mitohondrijske linije alpskega kozoroga, kar je pokazala tudi študija v Sloveniji ([Nève Repe in sod. 2023](#)).

[Giacometti in sod. \(2004\)](#) so zabeležili hibridizacijo domačih koz s prostoživečimi samci alpskega kozoroga v južnih švicarskih Alpah v obdobju 1989–2001. Največje zabeleženo število hibridov v čredi je bilo v letu 1998 (18). Hibridizacijo so avtorji potrdili s pomočjo morfoloških podatkov in genetske analize. Vsi domnevni hibridi so bili večji in težji od alpskega kozoroga. Rogovi hibridov so bili daljši kot pri kozorogu, pri nekaterih samcih so bili brez značilnih vozličev. Pri dveh proučevanih samcih je bil prvi prirastek rogov daljši od drugega. V nekaterih primerih je barva dlake razkrivala značilnosti, ki so bile netipične za kozoroge, npr. izrazite oznake na nogah in temno rjava barva pri mladih živalih. Velika podobnost genetskih zaporedij med obema vrstama je pokazala, da je pojavnost alela Caib-DRB*2 pri alpskem kozorogu

verjetno posledica introgresije iz koz ([Grossen in sod. 2014](#)). Sekvencirali so 2.489 bp (baznih parov) dolge regije v glavnem histokompatibilnostnem kompleksu (MHC) ter s pomočjo RAD pristopa analizirali SNP-e v MHC regiji, s posebnim poudarkom na lokusu DRB, da bi preučili genetsko variacijo in introgresijo genov med alpskim kozorogom in domačimi kozami.

2.2. Trenutne genetske raziskave kozorogov

Čeprav je minilo več kot stoletje od začetka ponovnega naseljevanja kozorogov v Alpe, sta zgodovina naselitev in hibridizacija, ki oblikujeta sedanjo genetsko strukturo vrste, še vedno predmet številnih objav ([Biebach in Keller 2009](#); [Grossen in sod. 2014, 2018](#); [Bozzuto in sod. 2019](#)). Vendar pa raziskave do nedavnega niso vključevale populacij iz Slovenije. Ponovno naseljene populacije kažejo majhno heterozigotnost ter omejeno variabilnost v adaptivnem glavnem histokompatibilnostnem kompleksu, ki je ključna komponenta imunskega sistema.

[Bužan in sod. \(2023\)](#) so uporabili fragment citokroma b za preučevanje vpliva ponovnega naseljevanja in upravljanja na gensko raznolikost kozorogov v Sloveniji. Ugotovili so, da imajo kozorogi pri nas zelo majhno haplotipno raznolikost mitohondrijske DNA, saj je prisoten le en mitohondrijski haplotip, v primerjavi z izvirno populacijo v Gran Paradisu, kjer so identificirali štiri haplotipe. Izguba genske variabilnosti je posledica ponovnega naseljevanja, učinka osnoveatelja in vpliva genskega zdrsa zaradi izolacije ter prekinjenega genskega pretoka. Populaciji alpskega kozoroga na območju Julijskih Alp in Kamniško-Savinjskih Alp kažeta manjšo genetsko raznolikost tudi v imunogenih, saj je v obeh populacijah prisoten le en alel MHC DRB eksona 2 (Caib-DRB01*) (*ibid.*). Pomembno je poudariti, da v teh populacijah ni bila odkrita introgresija kozjega alela Caib-DRB2*, ki je bila potrjena v ponovno naseljenih populacijah v švicarskih Alpah in v izvorni populaciji v Gran Paradisu ([Grossen in sod. 2014](#)). Ta alel je verjetno prilagoditev, ki je v regiji MHC povečala gensko raznolikost alpskega kozoroga.

Zmanjšana variabilnost imunogenov povečuje tveganje za manjšo odpornost populacij proti izbruhom bolezni. Tako v Triglavskem narodnem parku kot v Kamniško-Savinjskih Alpah so v preteklosti že opazili občasno upadanje populacij zaradi povečane smrtnosti, ki so jo povzročili izbruhi garij oz. okužba s pršico *Sarcoptes scabiei* ([Marenče 2004](#); [Hrovat in Marolt 2022](#); [Veterinik in Vesel 2022](#)). V zvezi s tem je pomembno omeniti, da so pri iberskem kozorogu poročali o negativnem učinku garjavosti na razmnoževanje tako samcev kot samic ([Espinosa in sod. 2017](#); [Pérez in sod. 2022](#)).

Kozorog v Sloveniji kljub prisotnosti potencialno primerne habitata kaže negativen populacijski trend, saj populacije stagnirajo ali upadajo ([ZGS 2021](#); [Hrovat in Marolt 2022](#); [Veterinik in Vesel 2022](#); [Razpet 2022](#); [Nève Repe in sod. 2023](#)). Glavni razlog je, podobno kot pri drugih populacijah v Alpah ([Bozzuto in sod. 2019](#)), parjenje v ožjem sorodstvu, kar je verjetno posledica prostorsko ločenih populacij, zaporednih zgodovinskih ozkih grl in majhnih začetnih velikost naseljenih skupin. Dodatni dejavnik so bolezni, še zlasti garje ([Marenče 2004](#); [Pérez in sod. 2022](#)), pri čemer so lahko negativni vplivi še dodatno ojačani zaradi majhne genske variabilnosti osebkov ([Nève Repe in sod. 2023](#)).

3. GENOMSKE RAZISKAVE ALSPKEGA KOZOROGA KOT ORODJE ZA OPREDELITEV PARJENJA V OŽJEM SORODSTVU VRSTE V SLOVENIJI

Osrednji del pričujočega poročila je skladno z zahtevami naročnika namenjen zbiru, analizi in sintezi najnovejših raziskovalnih pristopov ter ugotovitev s področja genomske raziskave alpskega kozoroga v Evropi (to poglavje), kar omogoča smiselno izvedbo primerljivih analiz pri nas (Poglavje 4) in prenos dobrih praks v strokovne usmeritve za upravljanje z vrsto v Sloveniji.

3.1. Teoretično ozadje uporabe genomske raziskave

Čeprav so nedavne analize ([Kessler in sod. 2022](#)) na 158 osebkih alpskega kozoroga pokazale, da je 1.000 SNP-ov, določenih s pomočjo analize odčitkov z mikrofluidnim analizatorjem (cenjenim predvsem zaradi manjših stroškov) podobno učinkovito pri razkrivanju populacijske strukture, kot so podatki iz RAD-sekvenciranja ali nizko-prekrivnih genomske sekvenc, smo se za raziskovanje recentnega parjenja v ožjem sorodstvu znotraj populacij alpskega kozoroga v Sloveniji in potrebe po natančni oceni genetske strukture odločili za metodo sekvenciranja celotnega genoma (angl. *whole-genome sequencing*, WGS). To metodo smo izbrali predvsem zaradi njene metodološke primerljivosti med laboratoriji in ker je verjetno, da bodo mikrofluidni analizatorji v bližnji prihodnosti prenehali biti v uporabi.

Sekvenciranje celotnega genoma omogoča celovit vpogled v genom organizma, kar omogoča podrobno analizo genetske variacije in zagotavlja vpogled v homozigotne regije (angl. *runs of homozygosity*, ROH) kot indikatorje parjenja v ožjem sorodstvu. ROH so neprekinjeni odseki oz. regije genoma, kjer je osebek homozigoten na vsakem lokusu, kar pomeni, da sta oba alela na lokusih enaki. Podatki WGS omogočajo identifikacijo homozigotnih regij po celotnem genomu z veliko ločljivostjo s pomočjo analize enojnih nukleotidnih polimorfizmov (SNP). Dolžina in porazdelitev regij ROH omogočata vpogled v zgodovino parjenja v ožjem sorodstvu in demografske dogodke, lahko pa tudi odgovore glede zgodovinske in recentne hibridizacije. Vzorci ROH lahko razkrijejo pretekla ozka grla populacij ali učinke osnoveatelja, medtem ko prisotnost daljših regij ROH nakazuje bolj nedavno parjenje v ožjem sorodstvu, npr. med bližnjimi sorodniki. Dolge regije ROH so običajno rezultat nedavnega parjenja v ožjem sorodstvu, ki poveča verjetnost dedovanja enakih odsekov genoma od staršev ali prednikov. Nasprotno kratke regije nakazujejo zgodovinska ozka grla ali morebitne hibridizacije.

Koeficienti parjenja v sorodstvu kvantificirajo verjetnost, da sta dva alela na lokusu identična zaradi porekla (angl. *identical by descent*, IBD). S pomočjo podatkov WGS lahko ocenimo delež genoma, ki je homozigoten zaradi IBD, kar omogoča izračun individualnega koeficienta parjenja v ožjem sorodstvu. Pogost kazalnik, pridobljen iz WGS, je genomski koeficient parjenja v sorodstvu (FROH), izračunan kot skupna dolžina ROH, deljena s skupno dolžino genoma. Ta kazalnik neposredno meri obseg parjenja v sorodstvu pri osebk ali populaciji.

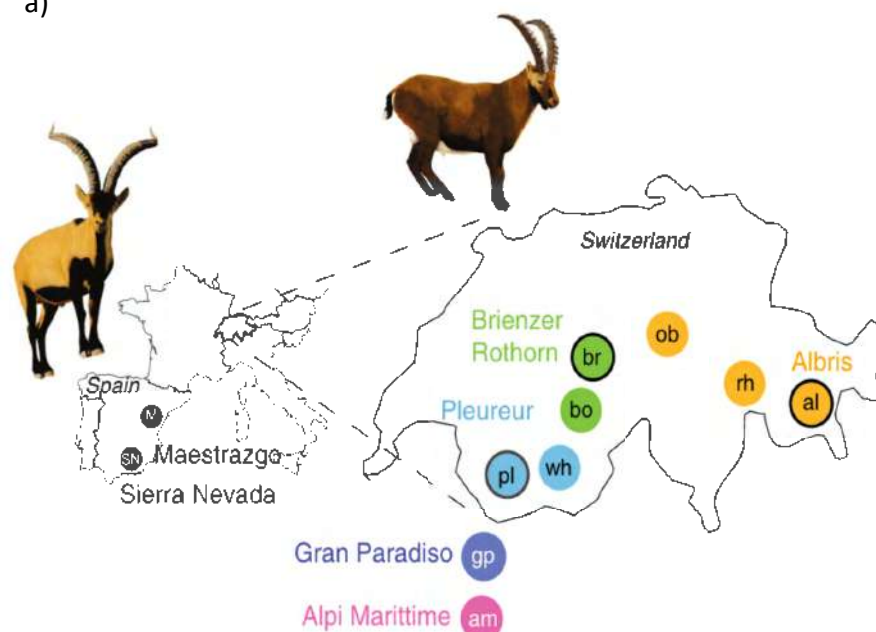
Regije ROH zagotavljajo tudi vpoglede v zgodovinsko in nedavno parjenje v ožjem sorodstvu ali ozka grla populacij, ki so se zgodila pred daljšim časom. Podrobne genetske informacije iz WGS omogočajo tudi preučevanje, kako parjenje v sorodstvu povečuje homozigotnost škodljivih recesivnih alelov, čiščenje zelo škodljivih alelov (angl. *purging*), kar lahko vpliva na zdravje populacije in dovzetnost za bolezni.

Ena glavnih prednosti WGS je visoka ločljivost, ki omogoča odkrivanje tako kratkih kot dolgih ROH z večjo natančnostjo kot genotipizacijske metode. Poleg tega WGS raziskovalcem omogoča hkratno sklepanje o demografskih parametrih, kot sta efektivna velikost populacije in zgodovina migracij, poleg analize parjenja v sorodstvu. Z uporabo podatkov WGS lahko raziskovalci pridobijo celovite informacije o ravneh parjenja v sorodstvu, genetski strukturi populacij ter evlucijskih in ohranitvenih izzivih, s katerimi se soočajo.

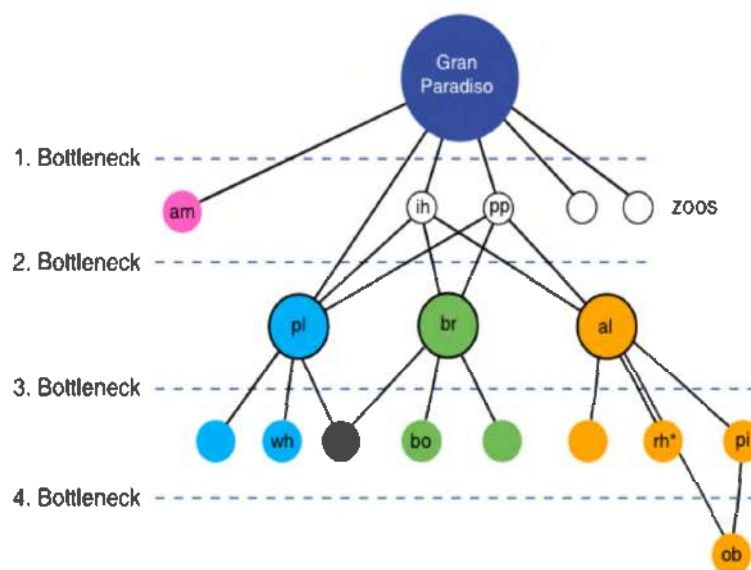
3.2. Kopičenje in čiščenje škodljivih mutacij v primarno in sekundarno naseljenih populacijah

Skladno z dejstvom, da vsi trenutno živeči alpski kozorogi izvirajo iz populacije iz Gran Paradiso, ta populacija zaseda osrednje mesto pri ponovnih naselitvah in v analizi vpliva škodljivih mutacij zaradi zgodovinskega ozkega grla in parjenja v ožjem sorodstvu v primarno in sekundarno naseljenih populacijah, ki so jih proučevali [Grossen in sod \(2020\)](#). S Slike 4 je razvidno, da so se že primarno naseljene populacije skozi čas diferencirale od izvirne populacije iz Gran Paradiso in imajo manjšo nukleotidno raznolikost zaradi učinka osnovatelja in kasnejših ozkih grl, ki so jih populacije utrpeli zaradi izolacije. Tri začetne ponovno naseljene populacije (Pleureur, Brienzer Rothorn, Albris) so bile nato uporabljene za vzpostavitev dodatnih populacij (sekundarna naselitev), kar je skupno povečalo število ozkih grl (Slika 3).

a)

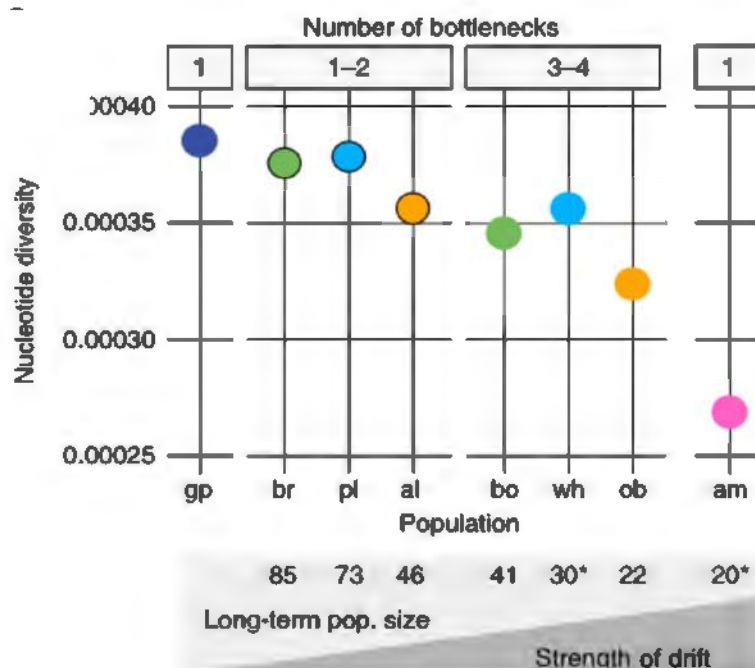


b)



Slika 3. a) Lokacije vzorčenja populacij iberskega kozoroga (levo, sivi krogi) in alpskega kozoroga (desno, obarvani krogi), ki so bile vključene v študijo Grossen in sod. (2020). Krogi s črno obrobo označujejo prve tri ponovno naseljene populacije (primarne populacije) v Švici, ki so bile uporabljene za vse nadaljnje ponovne naselitve populacij alpskega kozoroga. Barve povezujejo primarno (črne obrobe) in sekundarno (brez obrobe) ponovno naseljene populacije.

b) Zgodovina ponovnih naselitev alpskega kozoroga. Lokacije vključujejo tudi živalske vrtove in populacijo Pilatus (pi), ki ni bila vključena v študijo Grossen in sod. (2020). Populacije so – **am**: Alpi Marittime, **gp**: Gran Paradiso; **ih**: Zoo Interlaken Harder; **al**: Albris; **bo**: Bire Öschinen; **br**: Brienzer Rothorn; **ob**: Oberbauenstock; **pl**: Pleureur; **rh**: Rheinwald; **wh**: Weisshorn; **pi**: Pilatus; **pp**: Wildpark Peter and Paul. Siv krog predstavlja populacijo, zasnovano iz osebkov iz dveh primarnih populacij.



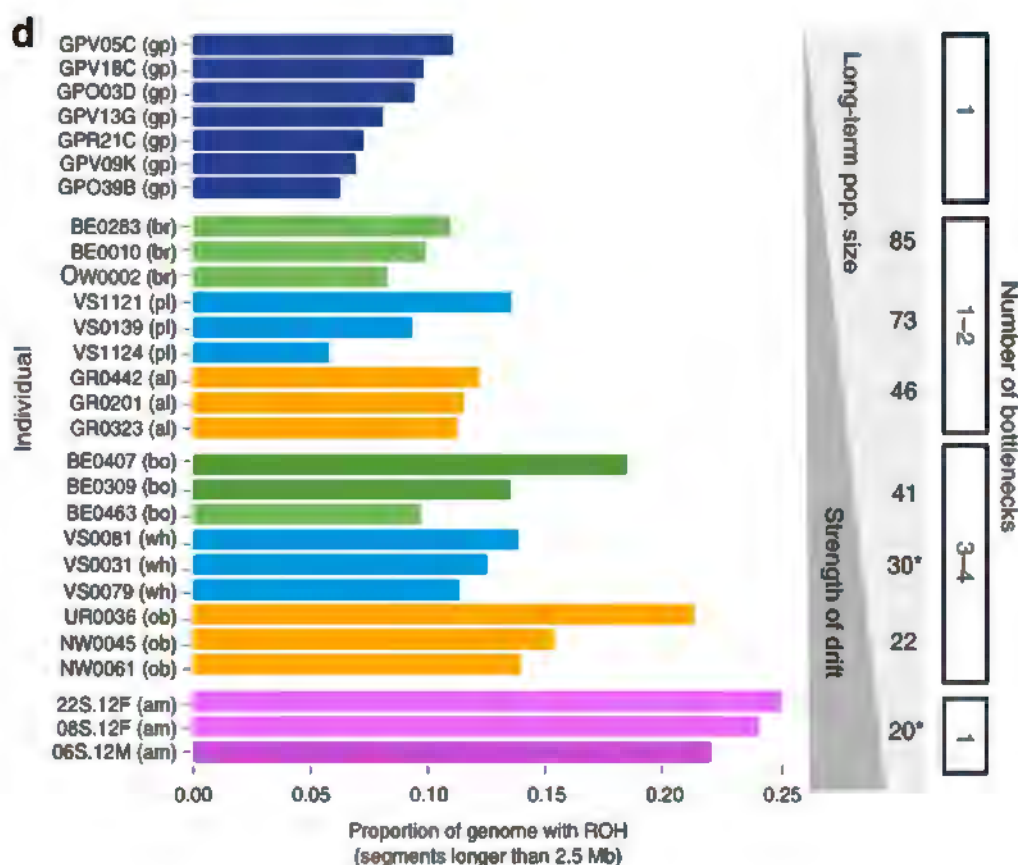
Slika 4. Nukleotidna raznolikost proučevanih populacij (vir: Grossen in sod. 2020).

S Slike 4 je jasno razvidno, da ima edina preživela populacija kozorogov iz Gran Paradisa največjo nukleotidno raznolikost. Sledita ji dve primarni populaciji, Brienzer Rothorn in Pleureur, medtem ko je ta raznolikost nekoliko manjša pri populaciji iz Albrisa. Najmanjšo nukleotidno raznolikost ima sekundarno zasnovana populacija iz Alpi Marittime, ki je bila ustanovljena z majhnim številom osnovateljev (Maudet in sod. 2002; Grossen in sod. 2020). Genski zdrs se povečuje z upadom genske raznolikosti. Dodatna ozka grla so povzročila nadaljnjo izgubo nukleotidne raznolikosti in negativni vpliv genskega zdrsa, kar potrjuje diferenciacija populacij v analizi glavnih komponent (Slika 7).

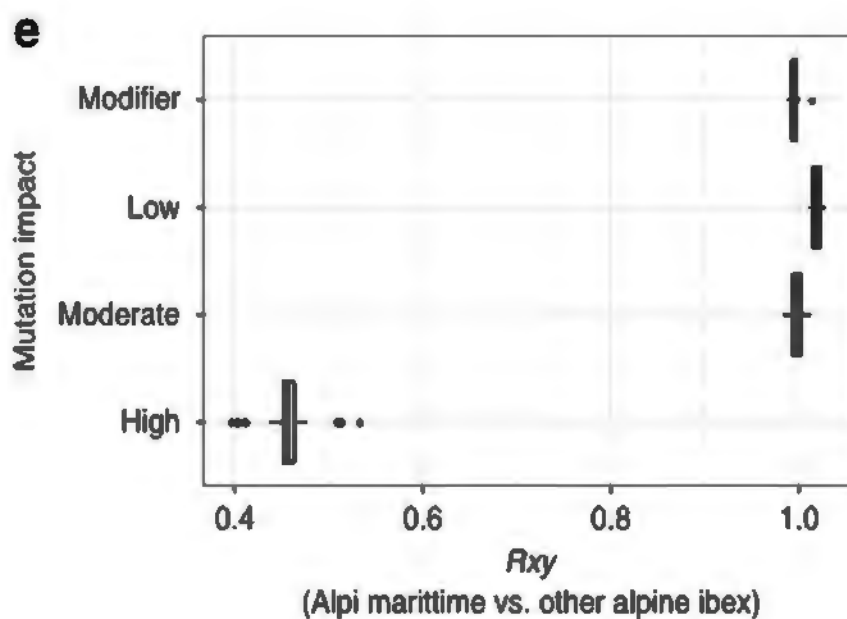
Poseben primer predstavlja populacija Alpi Marittime, ki je bila vzpostavljena s preselitvijo 25 osnovateljev iz Gran Paradisa, od katerih jih je le šest sodelovalo pri uspešnem zasnovanju populacije. Skladno s pričakovanji ob tako ekstremnem ozkem grlu je populacija Alpi Marittime močno genetsko diferencirana in ima močno zmanjšano nukleotidno raznolikost. Za oceno stopnje genskega zdrsa v populacijah so avtorji ocenili dolgoročne efektivne velikosti populacij (Slika 4). Pri tem so uporabili podrobne zgodovinske zapise, ki zajemajo skoraj stoletje monitoringa po vzpostavitvi populacij. Ugotovili so, da se je nukleotidna raznolikost zmanjšala v soodvisnosti z dolgoročno velikostjo populacije (manjša N_e , manjša nukleotidna raznolikost).

Populacije z najmanjšo povprečno velikostjo (harmonična sredina) so prav tako pokazale najvišje ravni parjenja v ožjem sorodstvu. Genomi iz izvorne populacije Gran Paradiso so na splošno pokazali najmanjši delež genoma, prizadetega z dolgimi regijami homozigotnosti (ROH), medtem ko so ponovno naseljene populacije z najmanjšo efektivno velikostjo imele največji delež genoma, prizadetega z ROH. S statistično analizo R_{xy} so ugotovili izrazit primanjkljaj močno škodljivih mutacij v populaciji Alpi Marittime, kar nakazuje, da so bile najbolj škodljive mutacije učinkovito izločene iz te populacije.

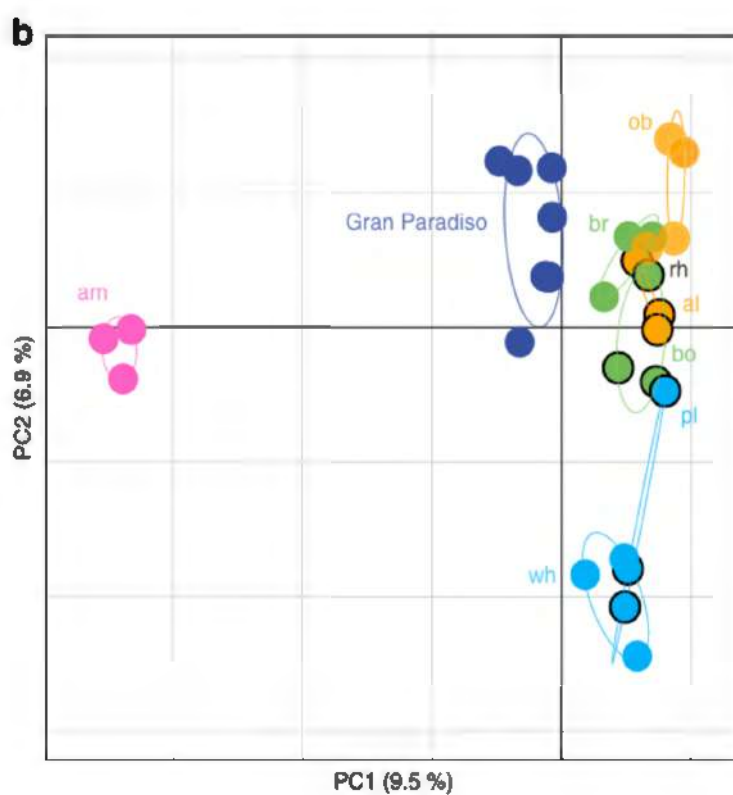
Slika 5 kaže, da je delež regij ROH pod 2,5 Mbp najmanjši v populaciji iz Gran Paradisa in največji v populaciji iz Alpi Marittime. To nakazuje, da je pri slednji prisotno parjenje v ožjem sorodstvu, kar je posledica vpliva učinka osnoveatelja in genskega zdrsa. Posledično se zmanjšuje tudi potencial populacije za dolgoročno preživetje.



Slika 5. Delež genoma alpskega kozoroga znotraj homozigotnih regij (ROH), daljših od 2,5 Mbp, ki nakazujejo recentno parjenje v ožjem sorodstvu (vir: Grossen in sod. 2020).



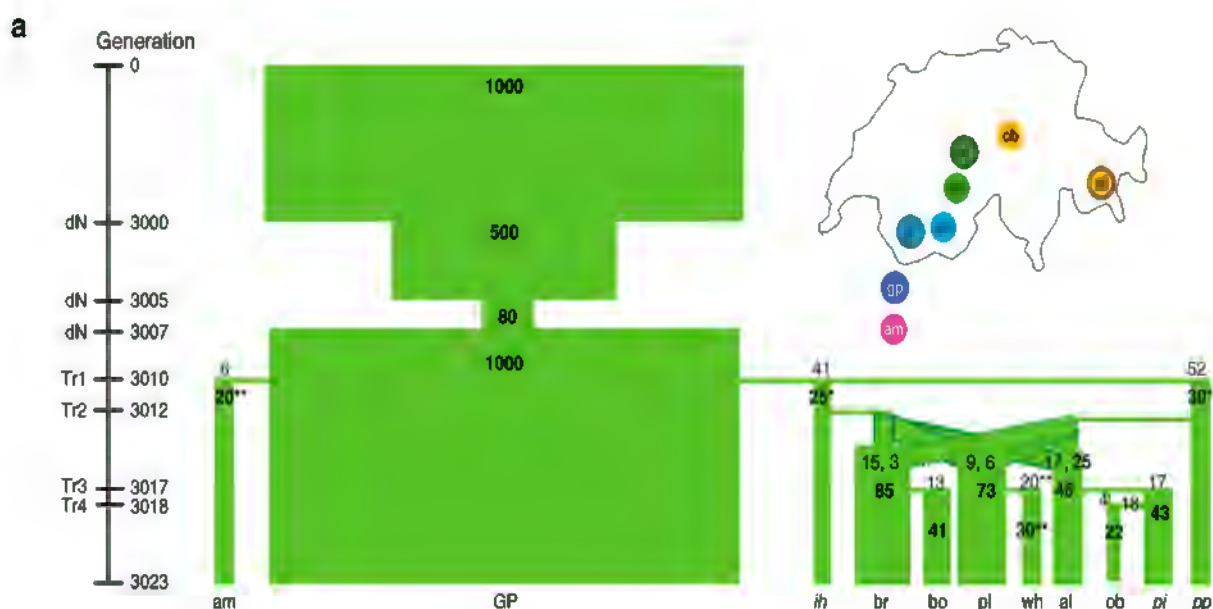
Slika 6. Prisotnost ozkega grla pri populaciji alpskega kozoroga iz Alpi Marittime je očitna v primerjavi z drugimi analiziranimi populacijami te vrste. Vrednost ordinate ($R_{xy} < 1$) prikazuje primanjkljaj alelna diverzitete v populaciji Alpi Marittime. Porazdelitve R_{xy} temeljijo na jack-knife analizi po kromosomih (vir: [Grossen in sod. 2020](#)).



Slika 7. Analiza glavnih komponent vseh osebkov alpskega kozoroga, vključenih v študijo [Grossen in sod. \(2022\)](#).

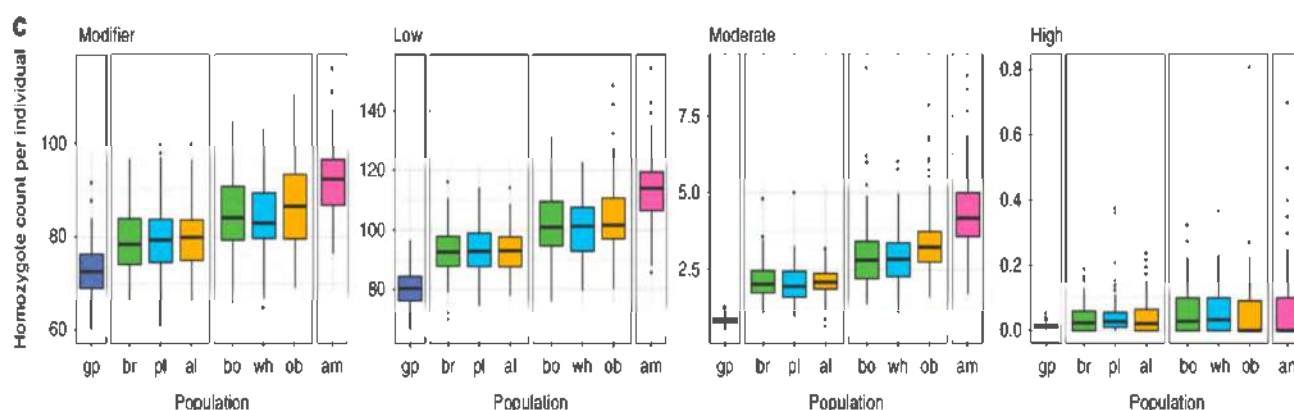
S Slike 7 je razvidno, da prva komponenta loči populacijo Alpi Marittime od drugih populacij za >9 %, prav tako pa loči kozoroge iz populacije Gran Paradiso od populacij iz Švice. Druga komponenta loči populacijo Weisshorn (sekundarna naselitev) od drugih za >5 %.

Grossen in sod. (2020) so uporabili simulacije na ravni osebkov v realističnem demografskem scenariju, in sicer tako, da so analizirali vpliv ozkih grl na različne razrede mutacij z uporabo modela simulacij, ki temelji na osebkih in naprej usmerjenem časovnem modelu, parametriziranem z demografskimi podatki. Model je realno reproduciral zgodovino ponovne naselitve, populacije pa so bile parametrizirane z dejansko velikostjo osnovateljev. Pokazali so, da se je število rahlo škodljivih homozigotov povečalo s stopnjo genskega zdrsa, ki so ga doživele posamezne populacije. Število homozigotov z zelo škodljivimi mutacijami z velikim vplivom je bilo manjše pri populaciji Alpi Marittime v primerjavi z Gran Paradisom, vendar razlika ni bila statistično značilna. Število močno škodljivih alelov je bilo statistično značilno manjše v populaciji Alpi Marittime v primerjavi z Gran Paradiso. Analizirali so tudi R_{xy} za simulacijske podatke in ugotovili, da so mutacije z velikim vplivom res relativno manj pogoste v Alpi Marittime v primerjavi z vsemi drugimi proučevanimi populacijami (Sliki 7 in 8).



Slika 8. Za prikaz demografskega modela so bili uporabljeni zgodovinski zapisi o ponovnih naselitvah alpskega kozoroga in podatki o številu osnovateljev za posamezne populacije. Krepke številke prikazujejo efektivne velikosti populacij. Številke, ki niso zapisane krepko, označujejo število osnovateljev posamezne populacije. Če je bila populacija ustanovljena iz dveh izvornih populacij, so posamezne številke ločene z vejico (vir: Grossen in sod. 2020).

Harmonična sredina velikosti populacije od njenega osnovanja do zadnjega leta vzorčenja (2007) je bila uporabljena za določitev zgornje možne meje rasti populacije. V simulacijah je bilo predpostavljeno naključno parjenje, plodnost (povprečno število potomcev na posamezno samico tekom njene življenjske dobe) pa je bila določena na pet mladičev. S Slike 9 je razvidno, da se je v teh simulacijah število homozigotnih osebkov zmanjšalo v primeru večje številčnosti populacij oz. zgornje meje ocenjene (še možne) številčnosti, saj manjša številčnost oz. census vpliva na večjo homozigotnost osebkov.

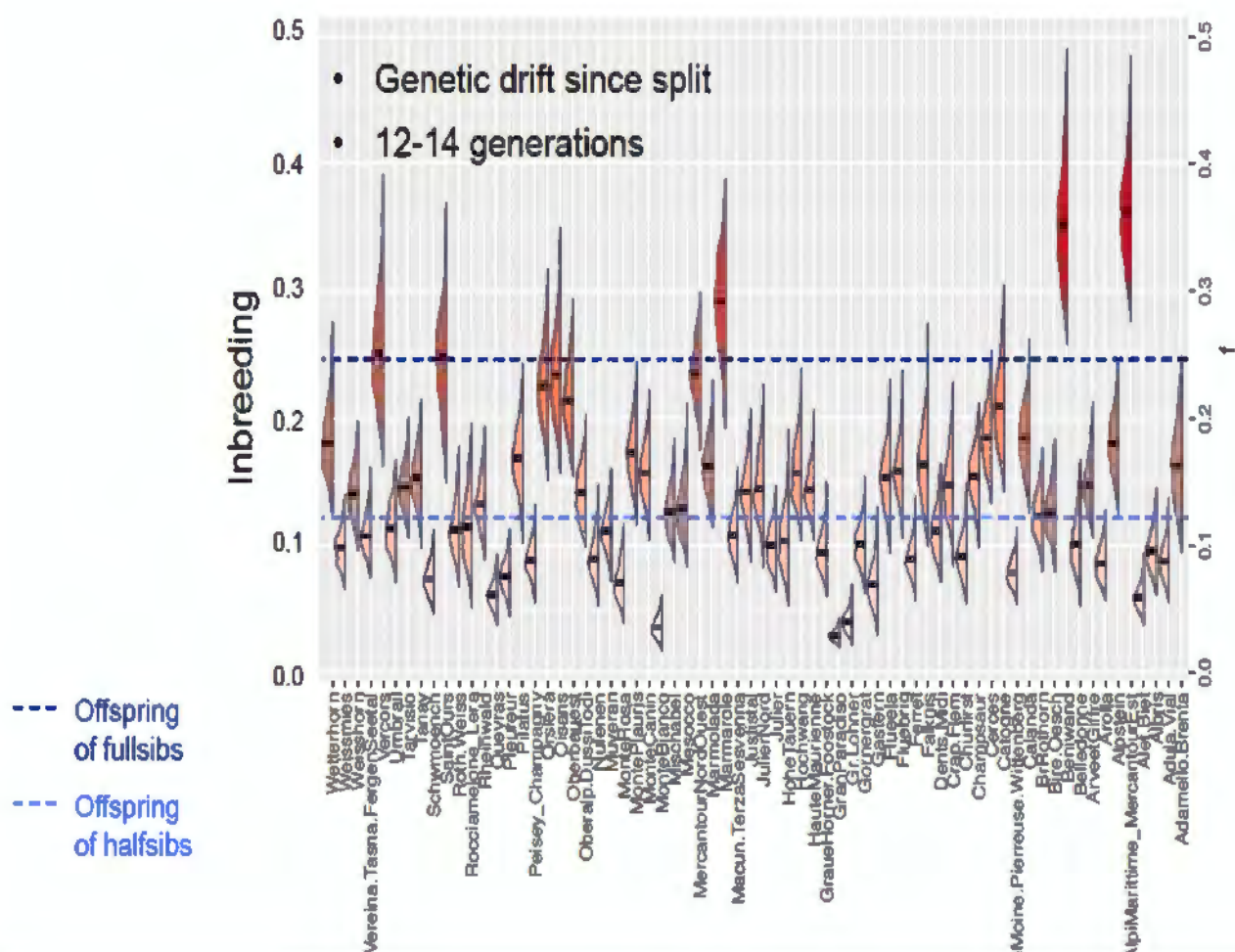


Slika 9. Število homozigotnih osebkov glede na simulacije znotraj proučevanih populacij po kategorijah vpliva. Škatlasti diagrami povzemajo 100 povprečij populacij iz simulacijskih ponovitev. Barve povezujejo osnovateljske in iz njih nastale populacije (vir: [Grossen in sod. 2020](#)).

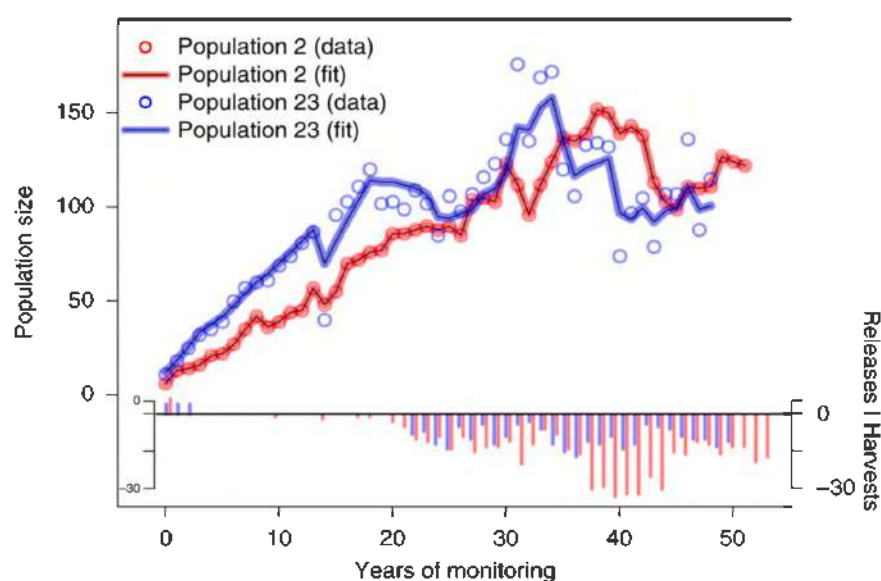
3.3. Parjenje v ožjem sorodstvu v ponovno naseljenih populacijah

[Brambila in sod. \(2015\)](#) so pokazali, da so korelacije heterozigotnosti in telesne sposobnosti (vitalnosti) uporaben pripomoček za raziskovanje učinkov parjenja v ožjem sorodstvu v populacijah kozoroga, vendar niso informativne pri razlikovanju med neposrednimi in posrednimi učinki heterozigotnosti na lastnosti, povezane s telesno sposobnostjo. Korelacije telesne sposobnosti so testirali pri 149 samcih (kozlih), skotenih med letoma 1985 in 2009. Ugotovili so, da je bila standardizirana heterozigotnost, izračunana na podlagi 37 mikrosatelitnih lokusov, povezana s telesno maso in rastjo rogov, ki sta pomembni lastnosti, povezani s telesno sposobnostjo, ter s številom jajčec glist v iztrebkih osebkov, kar je posredni pokazatelj imunske odpornosti osebkov proti zajedavcem. Ugotovili so tudi, da povezava med heterozigotnostjo osebka in rastjo rogov ni bila neposredna, temveč je bila vplivana prek telesne mase in števila jajčec parazitov.

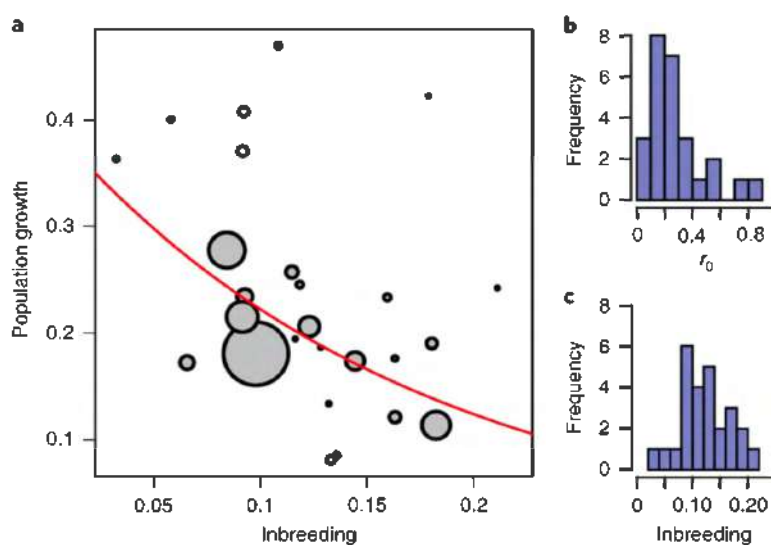
Bozzuto in sod. (2019) so uporabili podatke dolgoročnega monitoringa 26 ponovno naseljenih populacij alpskega kozoroga (Slika 10), ki zajemajo obdobje skoraj 100 let, da bi pokazali, da je parjenje v ožjem sorodstvu znatno zmanjšalo stopnje rasti populacij, zlasti v populacijah, ki so (bile) izpostavljene izolaciji ali so bile zasnovane iz majhnega števila osebkov. Populacije z visoko povprečno stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu ($F_{IS} \approx 0,2$) so imele za 71 % nižje stopnje rasti v primerjavi s populacijami z manjšim koeficientom F_{IS} . Rezultati študije kažejo, da ima lahko parjenje v ožjem sorodstvu zelo hude dolgoročne demografske posledice (Slika 12), tudi kadar so bile zelo škodljive mutacije že izločene med ozkimi grli. Tako, npr., Slika 11 prikazuje začetno rast dveh populacij (po naselitvah), kateri sledi izrazit upad številčnosti zaradi negativnih vplivov parjenja v ožjem sorodstvu.



Slika 10. Prikaz parjenja v ožjem sorodstvu, prisotnega v primarno in sekundarno naseljenih populacijah alpskega kozoroga v Alpah (vir: Bozzuto in sod. 2019, po Biebach in sod. 2024).



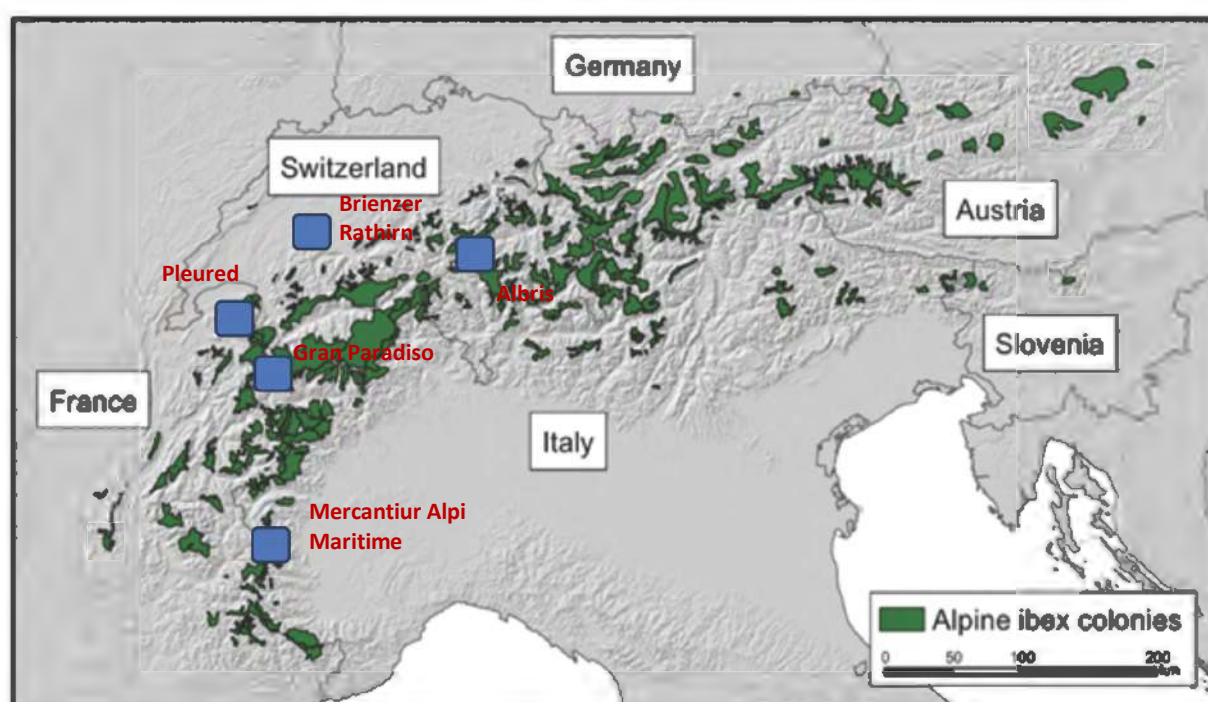
Slika 11. Prikaz vpliva parjenja v ožjem sorodstvu na populacijsko rast dveh populacij alpskih kozorogov, ki sta bili zasnovani z <10 osnovatelji (vir: [Bozutto in sod. 2019](#), po [Biebach in sod. 2024](#)).



Slika 12. Vizualizacija učinka parjenja v ožjem sorodstvu na rast populacije alpskega kozoroga. (a) Glavni učinek parjenja v ožjem sorodstvu, merjen s populaciji specifičnim F_{IS} (»Inbreeding«, x-os), na kontinuirano stopnjo rasti, r_0 (»Population growth«, y-os) v 26-ih proučevanih populacijah alpskega kozoroga. Velikost vsake točke je obratno sorazmerna varianci napake pri ocenah r_0 iz časovnih nizov, ki so bile uporabljene v modelu napake za zmanjšanje teže opazovanj z večjo negotovostjo. (b, c) Absolutna porazdelitev frekvence ocen r_0 (b) in F_{IS} (c) za 26 proučevanih populacij alpskega kozoroga (vir: [Bozutto in sod. 2019](#)).

3.4. Genetske analize za učinkovitejšo upravljanje alpskega kozoroga

V nadaljevanju podajamo povzetek predavanja [Biebach in sod. \(2024\)](#) s 25. srečanja Evropske skupine strokovnjakov za alpskega kozoroga. Prispevek temelji na empiričnih ugotovitvah dolgoročnega monitoringa petih populacij te vrste, ki so prikazane na Sliki 13. Pri tem je treba izpostaviti, da so bile genetske analize izvedene s pomočjo 534 SNP-jev, kar predstavlja bistveno manj podatkov v primerjavi z analizo celotnega genoma, kjer je na voljo več kot 100.000 SNP-jev in trenutno poteka v laboratoriju za molekularno ekologijo Univerze na Primorskem.



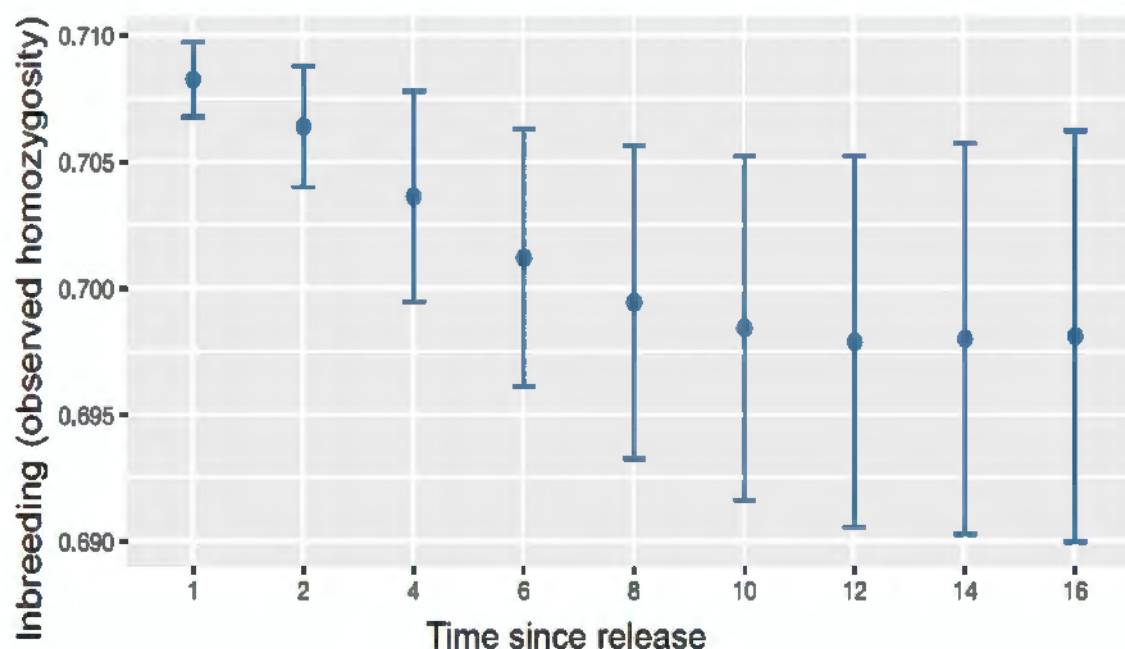
Slika 13. Prikaz populacij, ki so bile uporabljene v študiji za izboljšanje upravljalskih strategij pri ustanovitvi novih populacij kozoroga in bogatenja genskega sklada obstoječih populacij te vrste (vir: [Biebach in sod. 2024](#)).

Iz Preglednice 1 je razvidno, da so avtorji (*ibid.*) v monitoringu ponovno naseljenih populacij alpskega kozoroga ugotovili, da je uspešnost preživetja naseljenih osebkov največja, če so bili stari 2–10 let, medtem ko je razmnoževalni potencial (oplojenost) samic največji v starosti 3–10 let.

Preglednica 1. Prikaz vpliva starosti (»Age«) naseljenih kozorogov na njihov razmnoževalni potencial (»Fecundity«) in na preživetje osebkov (»Survival rate«) (vir: Biebach in sod. 2024).

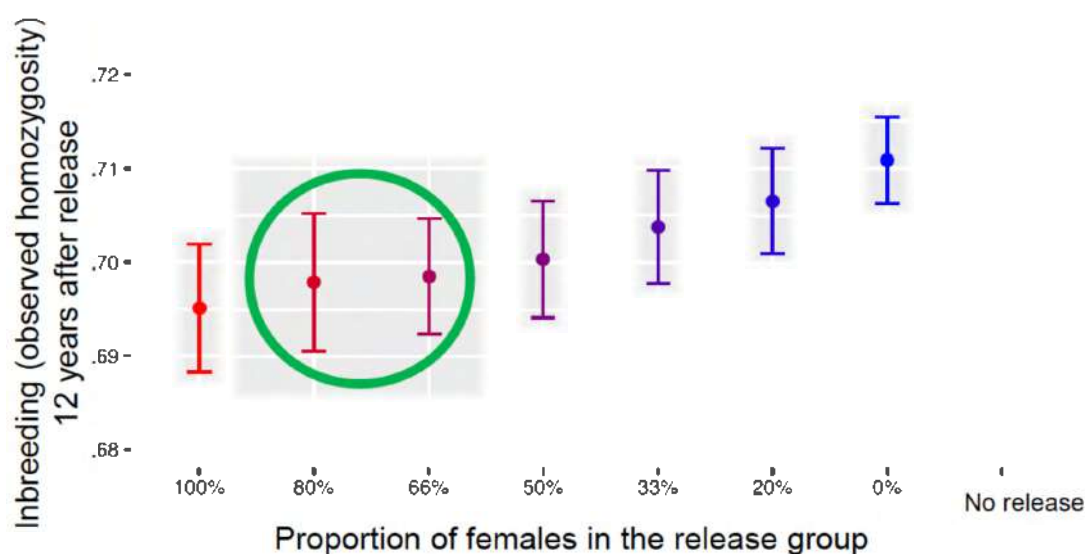
Age	0	1	2	3-5	6-10	11-14	15-20
Fecundity (Toigo et al. 2002)	0	0	0.42	0.8	0.82	0.65	0
Survival rate (Toigo et al. 2007) (Gehr & Keller 2012)	0.6	0.9	0.98	0.99	0.93	0.78	0.35

Na Slikah 14–20 so prikazane nekatere bistvene ugotovitve glede parjenja v ožjem sorodstvu (angl. *inbreeding*) v proučevanih populacijah alpskega kozoroga in vplivi takšnega parjenja na vitalnost in dolgoživost vrste. Slika 14 prikazuje stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu, ki je prisotna v populaciji glede na začetno raven homozigotnosti oziroma ocenjeno povprečno homozigotnost osnovateljev, in čas od naselitve, ki je potreben za zmanjšanje stopnje parjenja v ožjem sorodstvu.

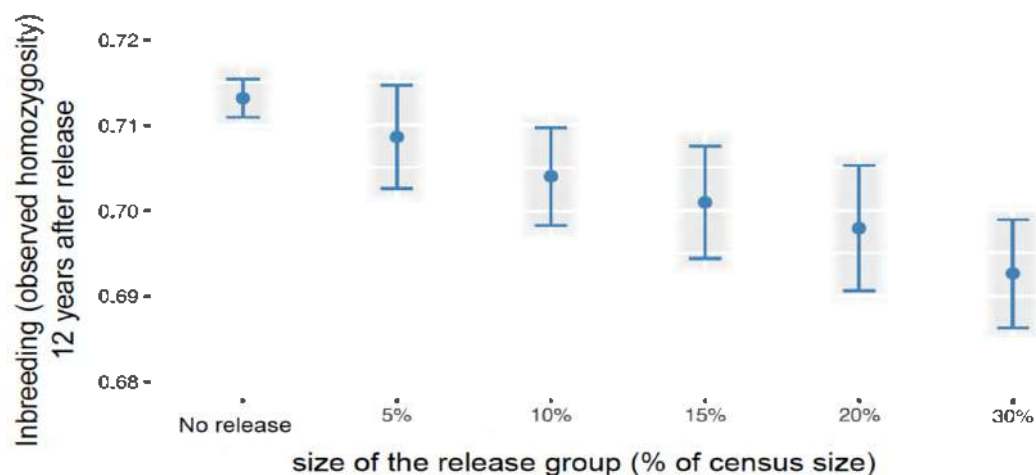


Slika 14. Stopnja parjenja v ožjem sorodstvu v odvisnosti od časa (števila let) od naselitve osebkov (vir: Biebach in sod. 2024).

Slika 15 prikazuje vpliv deleža samic med izpuščenimi osebki oz. na začetku zasnovanja populacije na parjenje v ožjem sorodstvu oz. na stopnjo homozigotnosti v ocenjenem generacijskem času, tj. 12 let po izpustitvi. Slika 16 pa prikazuje vpliv relativne številčnosti doseljenih osebkov v odvisnosti od velikosti (številčnosti) populacije (t. i. census), v katero so doseljeni, na stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu oz. ROH v ocenjenem generacijskem času (12 let po doselitvi). S Slike 16 je razvidno, da mora biti minimalno število izpuščenih osebkov za izboljšanje genskega sklada pri opaženi homozigotnosti 0,71 vsaj 30 % številčnosti (cenzusa) začetne populacije.

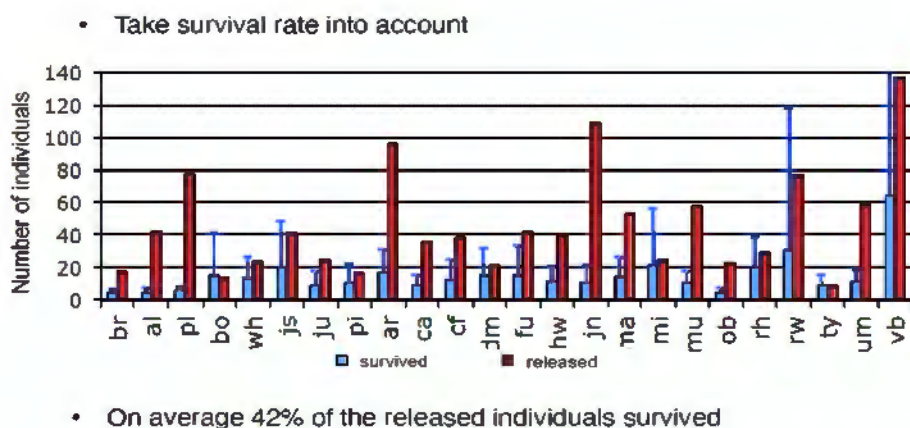


Slika 15. Vpliv deleža samic med izpuščenimi osebki oz. na začetku zasnovanja populacije na stopnjo homozigotnosti v generacijskem času oz. 12 let po izpustitvi (vir: Biebach in sod. 2024).

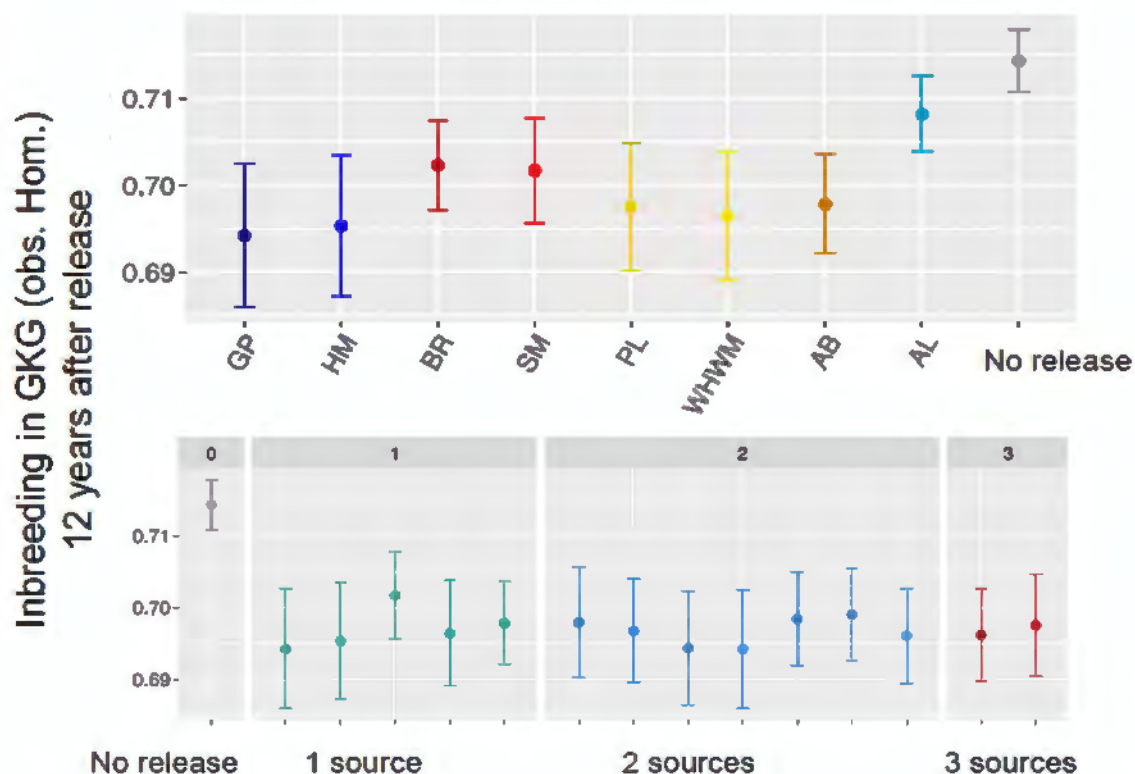


Slika 16. Vpliv relativnega števila izpuščenih osebkov (glede na velikost/cenzus populacije) na stopnjo homozigotnosti v generacijskem času oz. 12 let po izpustitvi (vir: Biebach in sod. 2024).

Slika 17 prikazuje stopnjo preživetja osebkov po izpustitvi v različne populacije: v povprečju je v proučevanih populacijah preživel le 42 % naseljenih osebkov. Slika 18 pa prikazuje stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu v primeru, ko so bili osnovatelji iz ene, dveh ali treh različnih genskih skupin alpskih kozorogov: zelo očitno je, da morajo osebk, če želimo obogatiti genski sklad, izvirati iz vsaj dveh različnih populacij, najbolje pa iz različnih genskih skupin.



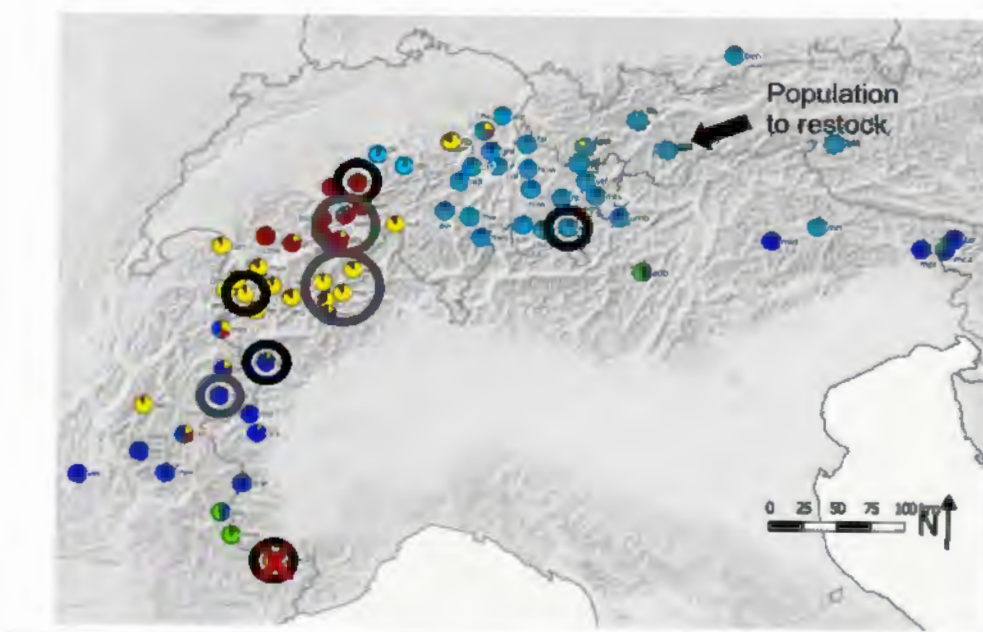
Slika 17. Preživetje doseljenih alpskih kozorogov po izpustitvi v različne populacije (vir: Biebach in sod. 2024).



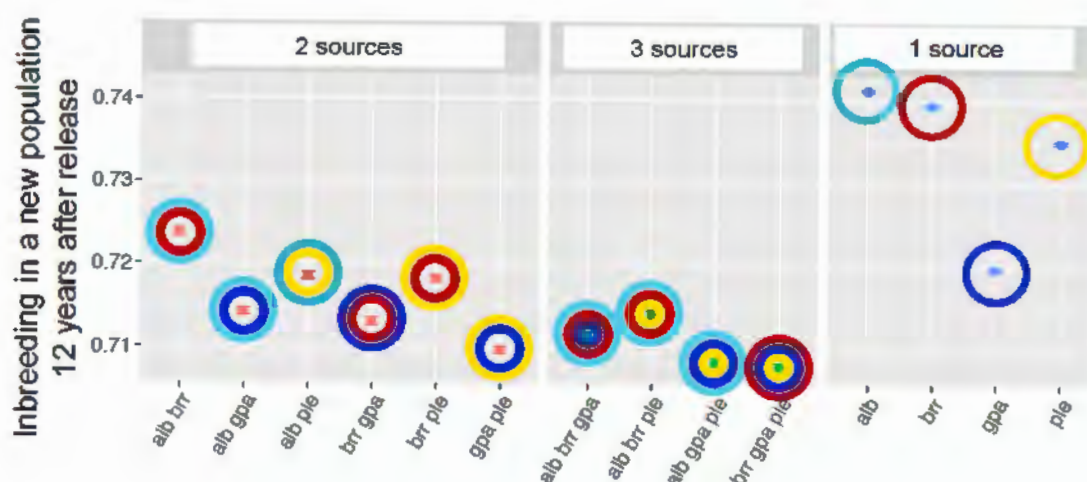
Slika 18. Stopnja parjenja v ožjem sorodstvu v primeru, ko so bili osnovatelji iz ene, dveh ali treh različnih genskih skupin alpskih kozorogov (vir: Biebach in sod. 2024).

Določitev izvorne populacije za doselitev alpskih kozorogov

Slika 19 prikazuje genetsko ozadje (gensko diferenciacijo) populacij kozoroga v Alpah. Populacije se delijo v štiri genetske skupine, pri čemer populacija Alpi Marittime zaradi visoke stopnje parjenja v ožjem sorodstvu ni primerna kot donorska populacija. S Slike 20 je razvidno, kako doselitev iz različnih izvornih populacij vpliva na stopnjo parjenja v ožjem sorodstvu.



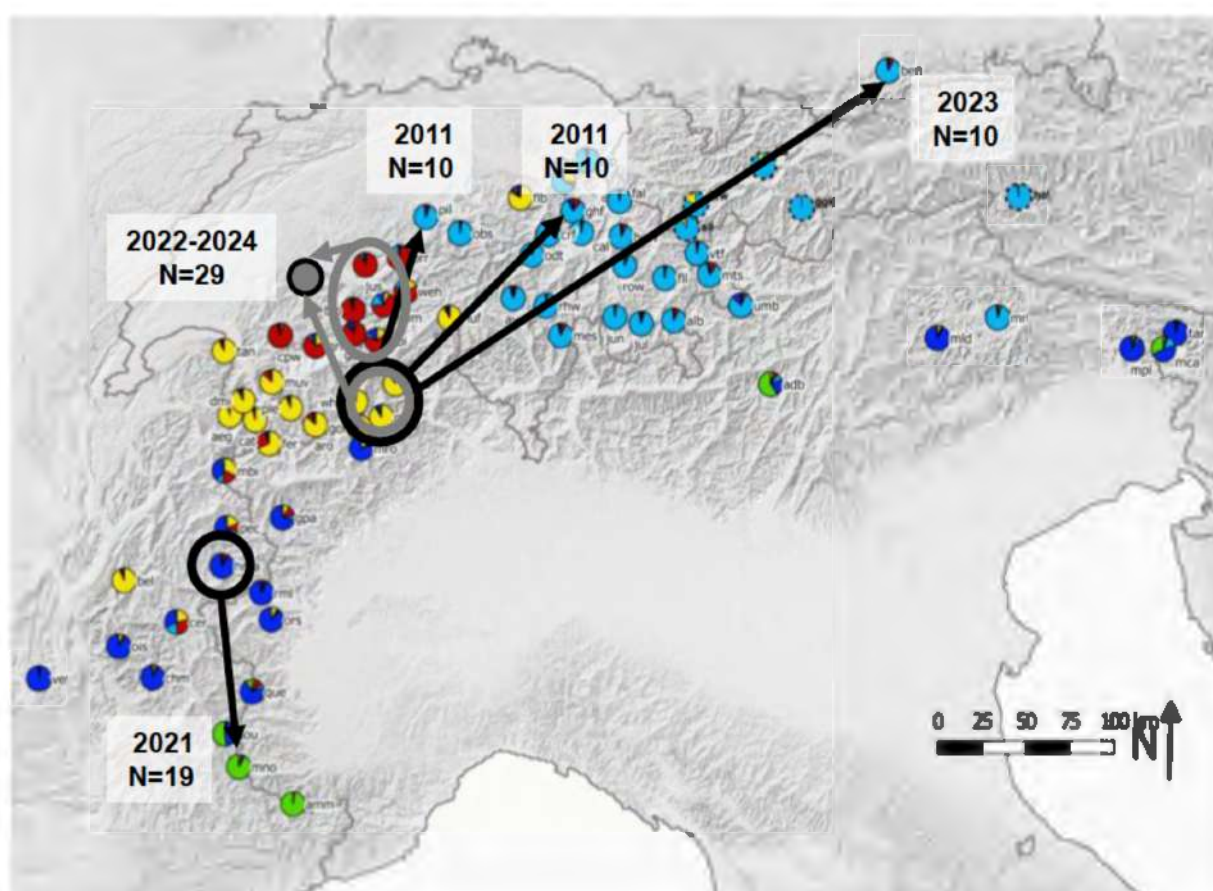
Slika 19. Genetsko ozadje oz. genska diferenciacija populacij alpskega kozoroga. Populacije se delijo na štiri genetske skupine (označeno s temno modrimi, rumenimi, rdečimi in svetlo modrimi krogi). Populacija iz Trevisa, ki je po vsej verjetnosti v stiku s populacijo s Kanina, si deli genetsko ozadje z modro skupino, saj je ponovna naselitev potekala z območja zahodnih Alp (vir: [Biebach in sod. 2024](#)).



Slika 20. Znižanje stopnje parjenja v ožjem sorodstvu med testiranimi populacijami v primeru, da so osebk doseljeni iz različnih izvornih populacij (vir: [Biebach in sod. 2024](#)).

Na primeru testiranih populacij, za katere je znan izvor osebkov oz. izvedene preselitve (Slika 21), so [Biebach in sod. \(2024\)](#) ugotovili naslednje:

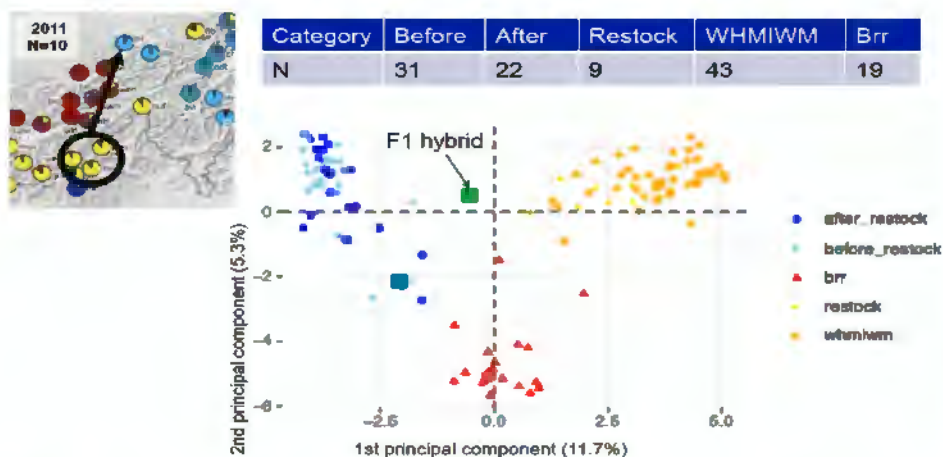
- v prvi fazi je potrebno najmanj 60 osebkov za ustanovitev nove populacije
- druga faza: doselitev vsaj 20–30 osebkov
- pri doselitvah je željeno enako razmerje spolov
- vir osnovateljcev: najmanj dve različni genetski skupini



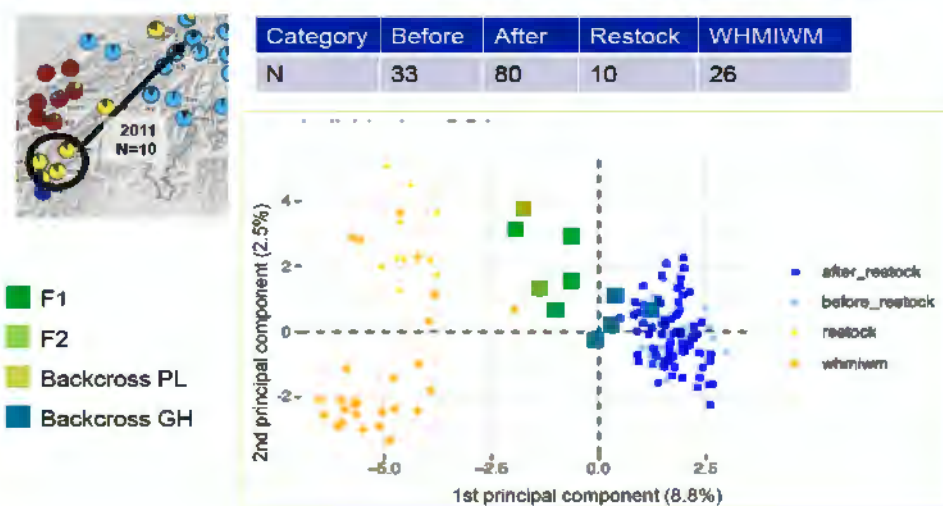
Slika 21. Premestitve osebkov med populacijami z namenom zmanjševanja parjenja v ožjem sorodstvu, ki so bile v Alpah izvedene v preteklih letih glede na priporočila genomskih študij, tj. analize na SNPs čipu (vir: [Biebach in sod. 2024](#)).

S Slike 22 je razvidno, da so bili v proučevanih populacijah genetsko že zaznani potomci med doseljenimi in »avtohtonimi« osebki, ki bodo prispevali k zmanjšanju parjenja v ožjem sorodstvu.

Evaluation of reinforcement: Pilatus



Evaluation of reinforcement: Graue Hörner



Slika 22. Prikaz analize komponent populacije po doselitvi osebkov. Prikazani sta 2 od 4 populacij, za katere je bila izvedena analiza.

4. PRELIMINARNI REZULTATI ANALIZE CELOTNEGA GENOMA POPULACIJ KOZOROGA V SLOVENIJI

4.1. Material in metode

Trenutno potekajo v Sloveniji raziskave celotnega genoma alpskega kozoroga iz treh obstoječih populacij: Julijske Alpe, Kamniško-Savinjske Alpe in Kanin. Vzorci kostnega in mišičnega tkiva te vrste ($n = 10$), katere smo do sedaj vključili v genomske analize, so bili odvzeti v obdobju med aprilom 2002 in februarjem 2019 na različnih lokacijah, med katerimi jih je bila večina iz lovišča s posebnim namenom (LPN) Triglav (Slika 23, Preglednica 2). V analizo smo vključili tudi 4 vzorce iz Italije in Švice (Preglednica 2), katerih genetski odčitki so dostopni v NCBI bazi.



Slika 23. Lokacije vzorcev (tkiv, kosti) alpskega kozoroga, vključenih v raziskavo na območju Triglavskega LUO, in kratice, ki so bile uporabljene za oznako populacij.

Izolacija DNA tkivnih vzorcev

Izolacijo DNA iz tkivnih vzorcev smo izvedli z uporabo Invitrogen PureLink® Genomic DNA Mini Kita (ThermoFisher Scientific, ZDA), po navodilih proizvajalca. Najprej smo od posameznega odvzetega tkivnega vzorca vzeli približno 20 mg tkiva, ga na drobno narezali in prenesli v 1.500 μ L mikrocentrifugirke, v katere smo dodali 180 μ L razgrajevalnega pufra PureLink® (angl. *genomic digestion buffer*) in 20 μ L proteinaze K (angl. *proteinase K*). Na stresalnem inkubatorju smo mikrocentrifugirke inkubirali pri 55 °C, dokler se tkivo ni popolnoma razgradilo (1–2 uri),

nato smo lizat centrifugirali 3 min pri sobni temperaturi pri največji hitrosti (14.000 x g) ter supernatant prenesli v novo mikrocentrifugirko. Dodali smo 20 µL RNaze A, premešali z vorteksiranjem in inkubirali 2 minuti na sobni temperaturi. V vsak vzorec smo dodali 200 µL liznega/veznega pufra PureLink® (angl. *genomic lysis/binding buffer*) in 200 µL 96–100 % etanola ter premešali s 5 s vorteksiranjem. V kolone PureLink® smo prenesli 640 µL lizata in centrifugirali 1 minuto na sobni temperaturi pri 10.000 x g. Po centrifugiranju smo kolono prestavili v nove zbiralne mikrocentrifugirke PureLink®, v katere smo dodali še 500 µL čistilnega pufra 1 (angl. *wash buffer 1*) in centrifugirali 1 minuto pri 10.000 x g na sobni temperaturi. Kolono smo ponovno prestavili v nove zbiralne mikrocentrifugirke PureLink® in dodali 500 µL čistilnega pufra 2 (angl. *wash buffer 2*) ter centrifugirali na sobni temperaturi 3 min pri največji hitrosti (14.000 x g). Po centrifugiranju smo kolono prestavili v 1,5 ml mikrocentrifugirko, dodali 100 µL elucijskega pufra PureLink® (angl. *genomic elution buffer*) in inkubirali 10 min na sobni temperaturi, nato smo kolono 1 min centrifugirali pri največji hitrosti (14.000 x g). Vzorce z izolirano DNA smo imeli tekom analize shranjene na 4 °C.

Izolacija DNA kostnih vzorcev

Pred izolacijo DNA iz vzorcev kosti alpskega kozoroga smo izvedli demineralizacijski postopek s ciljem povečanja količine in kakovosti izolirane DNA, po protokolu opisanem v [Bužan in sod. \(2020\)](#). 3 x 3 mm kostnega tkiva smo odvzeli z uporabo sterilnega orodja za brušenje in uporabo skalpela. Natehtali smo približno 0,3 g ($\pm 0,05$ g) kostnega prahu v 50 ml sterilno centrifugirko, dodali 1,5 ml 0,5 M EDTA (etilendiamin tetraocetna kislina) in temeljito pretresli na mehanskem stresalniku. Vzorce smo nato inkubirali čez noč pri 37 °C ob neprekinjenem rotacijskem stresanju. Inkubirane vzorce smo naslednji dan 15 minut centrifugirali na 1.300 x g ter zavrgli supernatant. Usedlino smo sprali z 1,5 ml sterilne bi-deionizirane vode in jopretresli pri veliki hitrosti s rotacijskim mešalom za 10 s. Vzorce smo nato ponovno centrifugirali na 1.200 x g za 15 min. Supernatant smo previdno odpipetirali in nadaljevali z izolacijskim postopkom kostnega paleta s pomočjo izolacijskega kita peqGOLD Blood and Tissue DNA Mini Kit, po navodilih proizvajalca (VWR International, Leuven, Belgija), z izjemo, da smo ob postopku lizacije kostnega tkiva poleg TL pufra in proteinaze K dodali še 20 µl (50 mM) DTT, kot je opisano v [Bužan in sod. \(2020\)](#). Vzorce z izolirano DNA smo do analiz shranili na 4 °C.

Merjenje koncentracije DNA Agilent in Qubit

Koncentracijo izolirane DNA v vzorcih smo izmerili z uporabo kita Qubit® dsDNA BR Assay (Invitrogen, Kalifornija, ZDA) na fluorimetru Qubit 3.0 (Life Technologies, Kalifornija, ZDA). Reakcijsko mešanico iz Qubit® dsDNA BR pufra in barvila smo pripravili po navodilih proizvajalca, v analizi pa smo uporabili 2 µL izolirane DNA. Dodatno kvantifikacijo izolirane DNA smo izvedli z uporabo Agilent DNA 12.000 kita (Agilent Technologies, Waldbronn, Nemčija). Pri analizi smo sledili navodilom proizvajalca, in sicer smo najprej pripravili mešanico gela in barvila (angl. *gel-dye mix*) in nato odpipetirali 9 µL te mešanice na čip, dodali smo 5 µL označevalca (angl. *marker*), 1 µL lestvice (angl. *ladder*) in 1 µL izolirane DNA. Tako pripravljen čip smo 1 min vorteksirali na 2.400 rpm in ga nato vstavili v Agilent 2100 bioanalizator (Santa Clara, Kalifornija, ZDA). Analizo smo izvedli z uporabo programa Agilent 2100 Expert Software (Agilent technologies, Waldbronn, Nemčija) po protokolu DNA 12.000 Series II.

Sekvenciranje celotnega genoma

Vzorci, ki so vsebovali nad 50 ng/ µL DNA, smo poslali na sekvenciranje celotnega genoma v podjetje Novogene (Cambridge, Anglija) z uporabo tehnologije Illumina NovaSeq, ki generira 2 × 150 bp parno povezano knjižnico (angl. *paired-end library*). V tem postopku se ekstrahirana DNA razreže na manjše fragmente, običajno velikosti 300–500 baznih parov. Fragmentom DNA se dodajo adapterji, ki omogočajo združljivost s platformo za sekvenciranje. Kakovost in koncentracija DNA knjižnice je ocenjena s Qubit Bioanalyzerjem. Sekvenciranje je potekalo na platformi NovaSeq, pri čemer so bili za posamezen osebek generirani pari s povezanimi odčitki dolžine 150 bp, s povprečno 15-kratno pokritostjo. Zaradi velike zmogljivosti NovaSeq opreme je le-ta optimizirana za večje število vhodnih podatkov in lahko v enem samem ciklu sekvencira več celotnih genomov, v našem primeru kozoroga. Za obrezovanje nukleotidnih zaporedij (angl. *trimming*) je bila uporabljena programska oprema Fastp (v0.23.1; [Chen in sod. 2018](#)) z uporabo privzetih nastavitev, medtem ko je bila za *de novo* *asembliranje* uporabljena programska oprema Unicycler (v0.5.0; [Wick in sod. 2017](#)).

Analiza kakovosti surovih odčitkov je bila izvedena z FastQC ([Andrews 2010](#)), združevanje podatkov in vizualizacija pa z uporabo MultiQC ([Ewels in sod. 2016](#)). Preverjanje kakovosti s programom FastQC je potrdilo odsotnost adapterjev v odčitkih in odstranitev polyG repov.

Filtrirane odčitke smo poravnali z referenčnim zaporedjem genoma vrste *Capra hircus* (GCF_001704415.2) z uporabo programske opreme za poravnavo BWA-MEM (v0.7.17). Statistika poravnave in pokritosti je bila pridobljena z orodjem BWA STATS (v0.7.17) in Samtools (v1.16.1). Klicanje SNP-jev je bilo izvedeno z uporabo programa FreeBayes v1.3.2 (-min-mapping-quality 20, --min-base-quality 28). Na ta način so bile zavržene variante z vrednostmi kakovosti <28 in odčitki z vrednostmi kakovosti poravnave <20. Poleg tega so bile ohranjene le tiste variante, ki so bile podprte z vsaj 6 odčitki. Za zaključek smo uporabili filtre, da smo ohranili le bialelne variante, ki so izpolnjevale vse kriterije, in odstranili vse SNP-je, ki so kazali neravnovesje v povezanosti (angl. *linkage disequilibrium*, LD) s kvadriranim korelacijskim koeficientom nad 0,5, z uporabo PLINK.

Populacijska struktura

Analiza glavnih komponent (PCA) in multidimenzionalno sklanjanje (MDS) je bilo izvedeno z uporabo funkcije **ggscatter**, implementirane v programu RStudio36 (<https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/reference/ggscatter.html>). Populacijska struktura je bila pridobljena z uporabo programske opreme ADMIXTURE, pri čemer je K variiral od 1 do 10. Za oceno standardnih napak parametrov je bilo izvedenih tisoč bootstrap ponovitev.

Regije homozigotnosti (ROH)

Za odkrivanje regij homozigotnosti (ROH) smo uporabili PLINK v. 1.90 z možnostjo --geno. Na ta način smo odstranili variante, pri katerih pogostosti klicev manjkajo in presegajo privzeti prag. Odločili smo se uporabiti VCF (angl. *pruned VCF*) za MAF in variante ter se osredotočili na ocenjevanje različnih pragov SNP-jev in velikosti oken homozigotnosti.

Izvedli smo tri ločene analize z različnimi parametri, skladno z [Nieto-Blazquez in sod. \(2023\)](#):

- --homozyg --homozyg-window-snp 20 --homozyg-window-het 1 --homozyg-window-missing 5 --homozyg-window-threshold 0.05 --homozyg-snp 20 --homozyg-het 1 --homozyg-density 100 --homozyg-kb 1000 --homozyg-gap 1000;
- spreminjanje parametra --homozyg-window-snp na 50;
- uporabo parametra --homozyg-window-snp 20 in --homozyg-window-threshold 0.25.

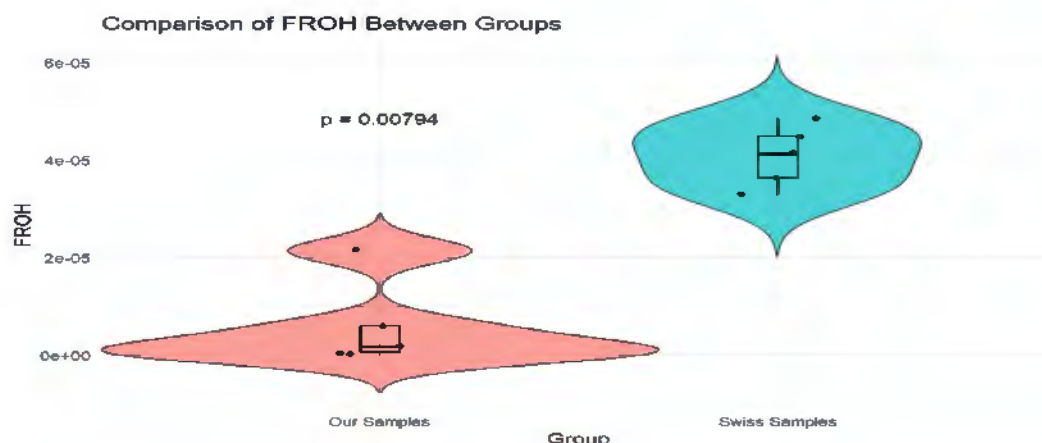
Za izračun deleža genoma v ROH (FROH) smo skupno dolžino ROH osebka delili s skupno dolžino genoma.

4.2. Preliminarni rezultati analize celotnega genoma alpskega kozoroga

V nadaljevanju podajamo rezultate (Slike 24–26) preliminarne genomske analize, ki je bila opravljena na petih vzorcih kozorogov iz Slovenije. Trenutno poteka analiza na dodatnih petih vzorcih, ki jih bomo poleg še drugih vzorcev (skupaj $n > 30$) vključili v ločeno zaključno poročilo glede genomskih analiz vrste pri nas. Za primerjavo v analize vključujemo tudi nekaj že analiziranih vzorcev iz Švice in Italije (Preglednica 2).

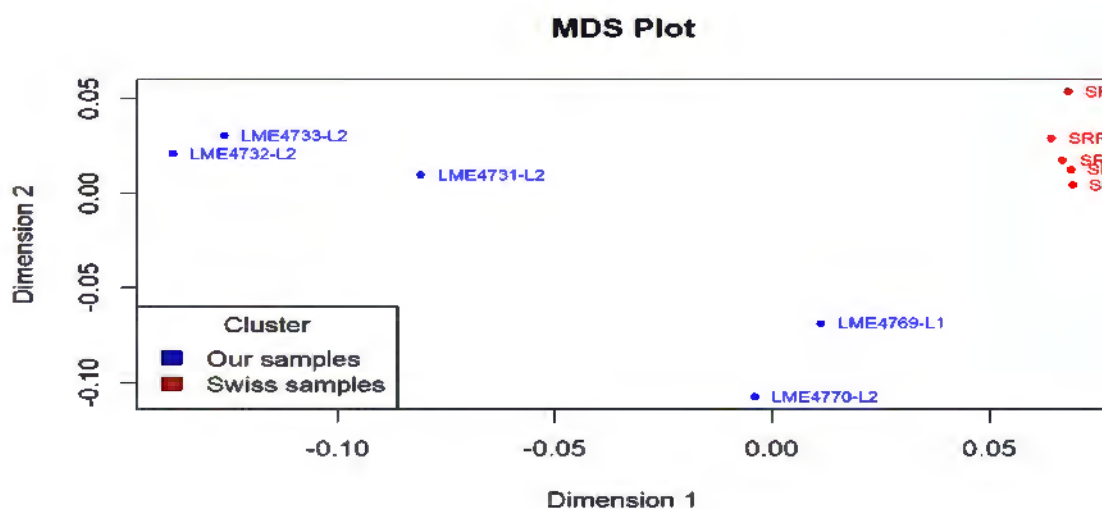
Preglednica 2. Vzorci alpskih kozorogov z navedbo populacij (Slika 23) in lokacij vzorčenja, ki so vključeni v preliminarno genomsko analizo

Oznaka vzorca	Oznaka populacije	Lokacija	Status analize
LME4731	SP3	Laste	analizirano
LME4732	SP3	Laste	analizirano
LME4733	Kanin	Krlišče	analizirano
LME4769	SP2	Kriški podi	analizirano
LME4770	SP2	Kriški podi	analizirano
LME5226	SP1	Julijske Alpe	v procesu
LME5227	SP1	Julijske Alpe	v procesu
LME5223	KS	Kamniško-Savinjske Alpe	v procesu
LME5224	KS	Kamniško-Savinjske Alpe	v procesu
LME4431	KS	Kamniško-Savinjske Alpe	v procesu
SRR8437797	Gran Paradiso	Italija (Valsaveranche, Levionaz)	analizirano
SRR8437782	Bire Oeschinen	Švica (Oeschinensee, Heuberg)	analizirano
SRR8437791	Pleureur	Švica (Boussine)	analizirano
SRR8437800	Rheinwaldhorn	Švica (Scalutta Gem Safien)	analizirano
SRR8437809	Oberbauerstock	Švica (Hoh Brisen)	analizirano

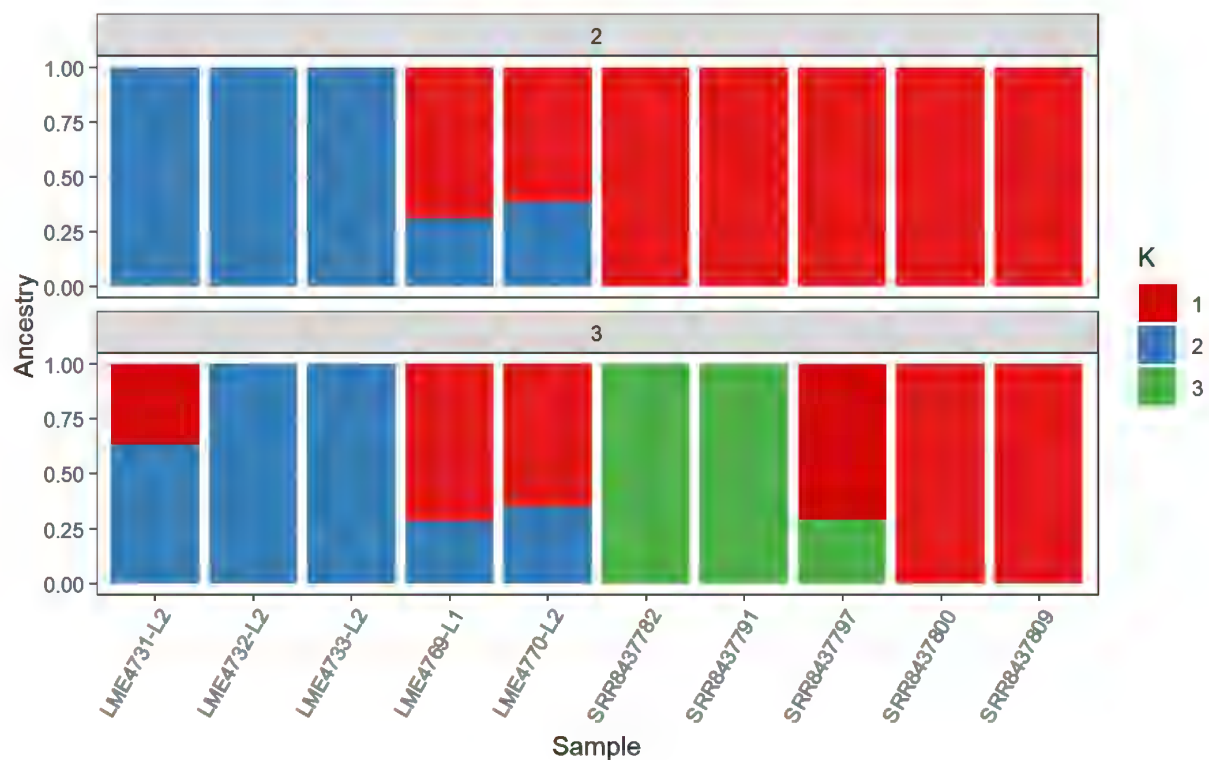


Slika 24. Prikaz prisotne homozigotnosti ROH znotraj analiziranih osebkov alpskih kozorogov v preliminarni analizi (*our samples*: Slovenija, $n = 4$; *Swiss samples*: Švica + Gran Paradiso, $n = 5$).

S Slike 24 je razvidno, da je ROH petih analiziranih kozorogov iz Slovenije bistveno in statistično značilno manjši v primerjavi z analiziranimi osebki iz Švice/Italije. Vendar poudarjamo, da gre za preliminaren rezultat, saj za zanesljivost trditve še nismo analizirali zadostnega števila osebkov, tj. vsaj 8 na populacijo. Zato moramo prikazane podatke trenutno interpretirati s previdnostjo in jih (še) ne moremo uporabiti za dokončne zaključke. Podobno velja tudi za ugotovitev glede genske diferenciacije (Slika 25) oz. populacijske strukture (Slika 26) analiziranih kozorogov: na podlagi trenutnih analiz se sicer nakazuje, da se kozorogi iz Slovenije jasno ločijo od kozorogov iz Švice in Italije, a je število vzorcev še premajhno, da bi lahko ugotovitve dokončno potrdili.



Slika 25. Genska diferenciacija analiziranih alpskih kozorogov, dobljena s PCA analizo (*our samples*: Slovenija, $n = 5$; *Swiss samples*: Švica + Gran Paradiso, $n = 5$).



Slika 26. Genetska struktura populacij, ugotovljena na podlagi majhnega števila analiziranih vzorcev ($n = 10$), nakazuje, da je v Sloveniji (vzorci z oznako LME) različno genetsko ozadje alpskih kozorogov v primerjavi s Švico oz. Italijo (SRR).

5. ZAKLJUČEK

Danes je alpski kozorog simbol uspešnih naravovarstvenih prizadevanj in ponovne vzpostavitve izgubljene naravne dediščine. Njegov trenutni habitat in dinamika populacij sta rezultat bogate zgodovine, ki obsega tako skorajšnje izumrtje vrste kot tudi vztrajno delo za njegovo ohranitev.

Za izboljšanje genetskega stanja in preprečevanje posledic parjenja v ožjem sorodstvu bi bile potrebne ponovne naselitve oz. doselitve osebkov z večjo genetsko raznolikostjo in drugačnim genetskim ozadjem. Medtem ko druge alpske države izvajajo aktivne varstvene ukrepe, vključno z naselitvami in povezovanjem populacij, Slovenija teh ukrepov zaradi – v nedavni preteklosti napačnega razumevanja izvornosti vrste – v zadnjih desetletjih ni mogla izvajati, kar ogroža dolgoročno preživetje alpskega kozoroga v Sloveniji. Vendar so nedavne arheološke in genetske analize potrdile, da je alpski kozorog pri nas domorodna vrsta (zbrano v [Nève Repe in sod. 2023](#)), zaradi česar sedaj ne bi smelo biti nobenih zadržkov za začetek izvajanja aktivnih varstvenih ukrepov, vključno z doselitvami osebkov z večjo gensko raznolikostjo in drugačnim genetskim ozadjem v obstoječe populacije, pa tudi za morebitno oblikovanje novih kolonij. Takšni ukrepi bi ne le povečali odpornost populacij na bolezni in okoljske spremembe, temveč bi tudi bistveno izboljšali povezljivost med populacijami ([Toigo in sod. 2020](#); [Bužan in sod. 2023](#)).

Priporočila za obnovo populacije ali za ustanovitev nove so naslednja:

- več izpuščenih osebkov pomeni večjo učinkovitost doselitve oz. ponovne naselitve; za maksimalno učinkovitost bi bilo zaželeno, da je število izpuščenih osebkov v primeru obnove/doselitve cca. 30 % številčnosti obstoječe populacije,
- novo populacijo lahko uspešno ustanovimo z vsaj 60 osnovatelji (kozorogi), pri čemer mora biti razmerje spolov izpuščenih osebkov v korist samic;
- v primeru doselitve je treba uporabiti osebkke iz drugačne genetske skupine od izvirne, v primeru novih naselitev pa osebkke iz različnih genetskih skupin.

Za zmanjšanje parjenja v ožjem sorodstvu v obstoječi populaciji je potrebno pri doselitvah:

- uporabiti osebkke iz dveh ali treh genskih skupin,
- v tem primeru je želeno enakomerno razmerje spolov doseljenih osebkov.

Za natančne genetske usmeritve glede nadaljnjih korakov za ohranitev trenutnih populacij alpskega kozoroga v Sloveniji je ključno dokončati analize že zbranih vzorcev (Poglavje 4.2, Preglednica 2) in iz tega pridobiti bolj relevantne podatke o parjenju v ožjem sorodstvu, pripadnosti genetski skupini in nukleotidni raznolikosti posamezne populacije. Na podlagi teh analiz bo mogoče oceniti stopnjo genetske povezanosti med populacijami in oblikovati natančnejše ter relevantne genetske usmeritve za smiselne in na znanstvenih izhodiščih utemeljene doselitve alpskih kozorogov v (že obstoječe populacije) v Sloveniji, vključno z identifikacijo/izborom potencialnih donorskih populacij; takšne doselitve so nujne za uspešno in znanstveno podprto bogatenje genskega sklada vrste. Poleg tega je pomembno upoštevati, da so za zmanjšanje negativnih učinkov parjenja v ožjem sorodstvu ključni osebki iz različnih genskih skupin, saj njihova vključitev prispeva k večji genetski raznolikosti in dolgoročnemu preživetju populacij. Upoštevanje specifičnega razmerja spolov izpuščenih osebkov (v korist samic pri osnovanju nove populacije oz. enakomerno spolno razmerje pri doselitvah v že obstoječe populacije) in vključitev večjega števila osebkov dodatno poveča učinkovitost izvedenih ukrepov.

Za doseg teh ciljev je potrebno kontinuirano izvajati genetski monitoring, spremljati demografske trende in vzpostaviti povezave med izoliranimi populacijami z uporabo habitatnih koridorjev. Na ta način bo mogoče dolgoročno ohranjati stabilne in genetsko zdrave populacije alpskih kozorogov v Sloveniji. Pomembno je tudi zagotavljanje trajnostnega upravljanja, ki bo omogočilo dolgoročno stabilnost populacij in s tem dolgoročno ohranitev te dragocene vrste in pomembnega sestavnega dela visokogorskega ekosistema Alp tudi Sloveniji.

6. VIRI IN LITERATURA

Andrews S (2010) FastQC: A quality control tool for high throughput sequence data. Povezava: <https://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc/>.

Biebach I, Keller LF (2010) Inbreeding in reintroduced populations: the effects of early reintroduction history and contemporary processes. *Conservation Genetics* 11: 527–538.

Biebach I, Keller LF (2009) A strong genetic footprint of the re-introduction history of Alpine ibex (*Capra ibex ibex*). *Molecular Ecology* 18(24): 5046–5058.

Biebach I (2024) 25. srečanje Evropske skupine strokovnjakov za alpskega kozoroga. Predavanje posredovano za interno rabo.

Boschin F (2020) Holocene macromammal remains from Grotta dell'Edera/Stenašca, Trieste Karst (excavations in 1990–2001). Ostanki velikih sesalcev holocenske starosti iz jame Stenašca/Grotta dell'Edera na Tržaškem Krasu (izkopavanja v letih 1990–2001). *Arheološki vestnik* 71: 321–357.

Bozzuto C, Biebach I, Muff S, Ives AR, Keller LF (2019) Inbreeding reduces long-term growth of Alpine ibex populations. *Nature Ecology & Evolution* 3: 1359–1364.

Brambilla A, Biebach I, Bassano B, Bogliani G, von Hardenberg A (2015) Direct and indirect causal effects of heterozygosity on fitness-related traits in Alpine ibex. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 282: 20141873.

Brambilla A, Keller L, Bassano B, Grossen C (2018) Heterozygosity–fitness correlation at the major histocompatibility complex despite low variation in Alpine ibex (*Capra ibex*). *Evolutionary Applications* 11: 631–644.

Brambilla A, von Hardenberg A, Nelli L, Bassano B (2020) Distribution, status, and recent population dynamics of Alpine ibex (*Capra ibex*) in Europe. *Mammal Review* 50(3): 267–277.

Bužan E, Toškan B, Zver L, Duniš L, Pokorny B (2022) Harmonizacija statusa alpskega kozoroga (*Capra ibex*) na obeh straneh meje. Projekt Dinalpconnect, Interreg Adrion. Poročilo. Fakulteta za varstvo okolja, Velenje, 47 str.

Bužan E, Duniš L, Bončina A, Horvat S, Pogorevc N, Brambilla A, Sölkner J, Burger P, Medugorac I, Pokorny B (2023) First insight into genetic diversity of Alpine ibex (*Capra ibex*) in Slovenia. *Slovenian Veterinary Research* 60(3): 161–72.

Carmignola G, Stefani P, Gerstgrasser L (2006) 6° Rapporto rognia sarcoptica. Ufficio caccia e pesca, Provincia autonoma di Bolzano, Italy.

Colas B, Thomas CD, Hanski I (2004) Adaptive responses to landscape disturbances: empirical evidence. In: *Evolutionary Conservation Biology* (eds Ferrière R, Dieckmann U, Couvet D), pp. 284–299. Cambridge University Press, Cambridge.

Couturier MAJ (1962) *Le Bouquetin des Alpes*. Grenoble, France.

Cregut-Bonnoure E (1992) Dynamics of bovid migration in Western Europe during the middle and late Pleistocene. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 153: 177–185.

De Danieli C, Sarasa M (2015) Population estimates, density-dependence and the risk of disease outbreaks in the Alpine ibex *Capra ibex*. *Animal Biodiversity and Conservation* 38: 101–119.

Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst. (The Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora - »The Habitat Directive«).

Espinosa J, Granados JE, Cano-Manuel FJ (2017) *Sarcoptes scabiei* alters follicular dynamics in female Iberian ibex through a reduction in body weight. *Vet Parasitol*; 243: 151–6.

Ewels P, Magnusson M, Lundin S, Käller M (2016) MultiQC: Summarize analysis results for multiple tools and samples in a single report. *Bioinformatics*, 32(19): 3047–3048.

Garnier A, Gaillard JM, Gauthier D, Besnard A (2016) What shapes fitness costs of reproduction in long-lived iteroparous species? A case study on the Alpine ibex. *Ecology* 97: 205–214.

Giacometti M (1991) Beitrag zur Ansiedlungsdynamik und aktuellen Verbreitung des Alpensteinbockes (*Capra i. ibex* L.) im Alpenraum. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft* 37: 157–173.

Giacometti M, Roganti R, De Tann D, Stahlberger-Saitbekova N, Obexer-Ruff G. (2004) Alpine ibex (*Capra ibex ibex*) x domestic goat (*C. aegagrus domestica*) hybrids in a restricted area of southern Switzerland. *Wildlife Biol*; 10(2): 137–43.

Grant PR, Grant BR, Petren K (2001) A population founded by a single pair of individuals: establishment, expansion, and evolution. *Genetica*, 112: 359–382.

Griffith B, Scott JM, Carpenter JW, Reed C (1989) Translocation as a species conservation tool – status and strategy. *Science*, 245: 477–480.

Grignolio S, Parrini F, Bassano B, Luccarini S, Apollonio M (2003) Habitat selection of adult males of Alpine ibex, *Capra ibex ibex*. *Folia Zoologica* 52: 113–120.

Grignolio S, Rossi I, Bertolotto E, Bassano B, Apollonio M (2007) Influence of the kid on space use and habitat selection of female Alpine ibex. *Journal of Wildlife Management* 71: 713–719.

Grodinsky C, Stüwe M (1987) With lots of help alpine ibex return to their mountains. *Smithsonian* 18: 68–77.

Grossen C, Biebach I, Angelone-Alasaad S, Keller LF, Croll D. (2018) Population genomics analyses of European ibex species show lower diversity and higher inbreeding in reintroduced populations. *Evol Appl*; 11(2): 123–39.

Grossen C, Guillaume F, Keller LF, Croll D. (2020) Purging of highly deleterious mutations through severe bottlenecks in Alpine ibex. *Nat Commun*; 11(1): 1-11.

Grossen C, Keller L, Biebach I, Croll D. (2014) Introgression from domestic goat generated variation at the major histocompatibility complex of Alpine ibex. *PLoS Genet*; 10(6): e1004438.

Hrovat S, Marolt M. (2022) Alpski kozorog in upravljanje z njim v Triglavskem narodnem parku (LPN Triglav Bled). V: Strokovni posvet Alpski kozorog v Sloveniji: včeraj, danes, jutri. Bled, Slovenija.

Hafner M, Černe B (2012) Letni načrt za II. Gorenjsko lovsko upravljavsko območje za leto 2012. Zavod za gozdove Slovenije, OE Kranj, OE Bled, Kranj, Bled. http://www.zgs.gov.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/lovstvo/Letni_nacrti_2012/II._Gorenjsko_LUO_2012.pdf.

Kazanskaya EY, Kuznetsova MV, Danilkin AA (2007) Phylogenetic reconstructions in the genus *Capra* (Bovidae, Artiodactyla) based on the mitochondrial DNA analysis. *Russian Journal of Genetics* 43: 181–189.

Kessler C, Brambilla A, Waldvogel D, Camenisch G, Biebach I, Leigh DM, Grossen C, Croll D (2022) A robust sequencing assay of a thousand amplicons for the high-throughput population monitoring of Alpine ibex immunogenetics. *Molecular Ecology Resources* 22(1): 66–85.

Konvencija o varstvu prosto živečega evropskega rastlinstva in živalstva ter njunih naravnih življenjskih prostorov, Dodatek III – Zaščitene živalske vrste, 1979, (Ur. l. RS 55/99, MP, št. 17).

Kos I, Potočnik H (2012) Tujerodne vrste sesalcev (Mammalia) v Sloveniji. V: CRP Neobiota Slovenije, končno poročilo, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta: 253–257.

Kryštufek B (1991) Sesalci Slovenije. Prirodoslovni muzej, Ljubljana: 1–294.

Manceau V, Després L, Bouvet J, Taberlet P (1999) Systematics of the genus *Capra* inferred from mitochondrial DNA sequence data. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 13: 504–510.

Marenče M (2004) Stanje gamsov in kozorogov v Triglavskem narodnem parku. *Lovec* 87(3): 124–125.

Marenče M. (2004) 80 let Triglavskega narodnega parka. *Lovec*; 87(7/8): 399–403.

Marenče M. (2004) Stanje gamsov in kozorogov v Triglavskem narodnem parku. *Lovec*; 87(3): 124–5.

Maudet C, Luikart G, Dubray D, von Hardenberg A, Taberlet P. (2004) Low genotyping error rates in wild ungulate faeces sampled in winter. *Mol Ecol Notes*; 4(4): 772–5.

Maudet C, Miller C, Bassano B (2002) Microsatellite DNA and recent statistical methods in wildlife conservation management: applications in Alpine ibex (*Capra ibex*). *Mol Ecol*; 11(3): 421–36.

Moroni B, Brambilla A, Rossi L, Meneguz PG, Bassano B, Tizzani P. (2022) Hybridization between Alpine ibex and domestic goat in the Alps: a sporadic and localized phenomenon? *Animals*; 12(6): e751.

Mick V, Le Carrou G, Corde Y, Game Y, Jay M, GarinBastuji B (2014) *Brucella melitensis* in France: persistence in wildlife and probable spillover from Alpine ibex to domestic animals. *PLoS ONE* 9(4): 94168.

Morris WF, Doak DF (2002) Quantitative Conservation Biology. Sinauer Associates, Sunderland.

Nève Repe A, Bužan E, Toškan B, Javornik J, Pokorny B, Arih A, Zver L, Prostor M, Krofel M, Stergar M, Jerina K, Potočnik H, Černe R, Poljanec A (2023) O domorodnosti alpskega kozoroga v Sloveniji. Gozdarski vestnik: slovenska strokovna revija za gozdarstvo 81(8/9): 271–285.

Pérez JM, López-Montoya AJ, Cano-Manuel FJ (2022) Development of resistance to sarcoptic mange in ibex. Journal of Wildlife Management 86(5): 22224.

Pidancier N, Jordan S, Luikart G, Taberlet P (2006) Evolutionary history of the genus *Capra* (Mammalia, Artiodactyla): discordance between mitochondrial DNA and Y-chromosome phylogenies. Molecular Phylogenetics and Evolution 40: 739–749.

Pixabay; franzschabreiter (2022) Alpine ibex Steinbock. Povezava: <https://pixabay.com/photos/alpine-ibex-steinbock-ibex-6964406/>.

Razpet P. (2022) Alpski kozorog v zahodnih Julijskih Alpah. V: Strokovni posvet Alpski kozorog v Sloveniji: včeraj, danes, jutri. Bled, Slovenija

Robin M, Ferrari G, Akgül G (2022) Ancient mitochondrial and modern whole genomes unravel massive genetic diversity loss during near extinction of Alpine ibex. Molecular Ecology 31(13): 3548–3565.

Spitzenberger F, Bauer K (2001) Die Säugetierfauna Österreichs (Let. 13). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 895 str.

Stüwe M, Nievergelt B (1991) Recovery of alpine ibex from near extinction: the result of effective protection, captive breeding, and reintroductions. Applied Animal Behaviour Science 29: 379–387.

Stüwe M, Scribner KT (1989) Low genetic variability in reintroduced alpine ibex (*Capra ibex ibex*) populations. Journal of Mammalogy 70: 370–373.

Toškan B (2022) Zgodovinska prisotnost alpskega kozoroga v Alpah in Sloveniji. Predavanje na strokovnem posvetu Alpski kozorog v Sloveniji včeraj, danes, jutri, Bled, 19. 10. 2022.

Toškan B, Dirjec J (2011) Sesalska makrofavna. V: Modrijan Z, Milavec T (ur.). Poznoantična utrjena naselbina Tonovcov grad pri Kobaridu. Najdbe = Late antique fortified settlement Tonovcov grad near Kobarid. Finds. Ljubljana: Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC: 303–388.

Toigo C, Brambilla A, Grignolio S, Pedrotti L. (2020) *Capra ibex*. The IUCN Red List of Threatened species.

Veternik D, Vesel Š. Alpski kozorog v Kamniško-Savinjskih Alpah. V: Strokovni posvet Alpski kozorog v Sloveniji: včeraj, danes, jutri. Bled, Slovenija.

Zakon o divjadi in lovstvu (ZDLov; Uradni list RS, št. 16/04, 120/06 – odl. US, 17/08, 46/14 –ZON-C, 31/18, 65/20, 97/20 – popr., 44/22 in 158/22).

ZGS (2021) Smernice za upravljanje divjadi v Sloveniji v obdobju 2021-2030, ZGS, Ljubljana: 42 str.