

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra myslivosti a lesnické zoologie



**Vytvoření variabilního modelu trvale udržitelného
hospodaření s černou zvěří**

Bakalářská práce

Autor: Michal Furmánek

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Hanzal, CSc.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bc. Michal Furmánek

Lesnictví
Provoz a řízení myslivosti

Název práce

Vytvoření variabilního modelu trvale udržitelného hospodaření s černou zvěří.

Název anglicky

Creating a variable model of sustainable management of wild boar

Cíle práce

Cílem práce je pomocí matematických metod zpracovat metodiku plánování odstřelu prasete divokého při zohlednění počtu jedinců v populaci, poměru pohlaví, koeficientu očekávané produkce a cílového věku trofejových kňourů.

Metodika

V práci se zaměřte zejména na:

- zpracování obsahové rešerše nejméně 30 publikací zaměřených na problematiku metod plánování hospodaření s populacemi zvěře
- s využitím prací Hromase a Zacha (1977, 1978 a 2001) vytvořte funkční matematické modely zastoupení kňourů, bachyní, lončáků a selat v populaci s předem definovatelnými parametry

Při práci se řiďte „Doporučenými pravidly pro zpracování bakalářských a diplomových prací na FLD“

Obsahovou rešerši předložte v elektronické podobě do konce srpna 2019 a vytištěný strukturovaný rukopis práce do 31.1.2020. Při zpracování věcné rešerše využijte služeb SIC na ČZU.

Po splnění stanovené povinnosti bude v příslušném semestru udělen zápočet za bakalářskou práci.

Doporučený rozsah práce

zhruba 30 str.

Klíčová slova

prase divoké, populace, matematický model hospodaření, myslivost

Doporučené zdroje informací

- BASKIN, L. AND DANELL, K. (2003), Ecology of Ungulates: A Handbook of Species in Eastern Europe and Northern and Central Asia, Springer Science & Business Media, pp. 15–38
- CARNEVALI, L., PEDROTTI, L., RIGA, F. AND TOSO, S. (2009). Ungulates in Italy. Status, distribution, abundance, management and hunting of ungulate populations in Italy. Report 2001 – 2005. Biol Conserv Fauna 117:1-168.
- FERNÁNDEZ-LLARIO, P.; MATEOS-QUESADA, P.: Population structure of the wild boar (*Sus scrofa*) in two Mediterranean habitats in the western Iberian Peninsula. Folia Zool. – 52(2): 143–148 (2003)
- HAGEN, R., HAYDN, A., SUCHANT, R., 2018. Estimating red deer (*Cervus elaphus*) population size in the Southern Black Forest: the role of hunting in population control. European Journal of Wildlife Research, 64(4). doi:10.1007/s10344-018-1204-z.
- HOMOLKA, M., KOUBEK, P., KAMLER, J., 2001. Návrh úpravy systému hospodaření se spárkatou zvěří. Folia venatoria, 30-31: 17-24.
- HROMAS, J., ZACH, J., 1977. Metoda stanovení struktury normovaných stavů zvěře. Folia venatoria, 7: 241 – 254.
- HROMAS, ZACH, J., 2001. Normální zastoupení samců spárkaté přežvýkavé zvěře ve věkových stupních a třídách včetně jejich plánovitých převodů. Folia Venatoria, 30-31: 235-242.
- PIRY, S., LUIKART, G. & CORNUET, J.-M. (1999) BOTTLENECK: a computer program for detecting recent reductions in the effective population size using allele frequency data. Journal of Heredity, 90, 502–503.
- WOLF, R., 2000. Rukověť chovu a lovu černé zvěře. 2. dopl. vyd. Matice lesnická, Písek. ISBN 80-86271-03-X.
- ZACH, J., HROMAS J., 1978. Možnosti použití matematických metod při plánování plynulého lovu trofejové zvěře v myslivecké praxi. Folia venatoria, 8: 71-88.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Vladimír Hanzal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Elektronicky schváleno dne 28. 5. 2019

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 11. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma "Vytvoření variabilního modelu trvale udržitelného hospodaření s černou zvěří" vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Hanzala, CSc. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Novém Jičíně dne 11.6.2020

Michal Furmánek

Poděkování

Děkuji vedoucímu této bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimírovi Hanzalovi, CSc za cenné rady a postřehy, které mi během psaní bakalářské práce poskytoval. Konzultace k bakalářské práci byly pro mě velkým přínosem a bez nich bych se v několika okamžicích ocitl ve slepé uličce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je pomocí matematických metod zpracovat metodiku plánování odstřelu prasete divokého při zohlednění počtu jedinců v populaci, poměru pohlaví, koeficientu očekávané produkce a cílového věku trofejových kňourů.

Jako základ k vytvoření matematického modelu odstřelu černé zvěře byly použity práce Hromase a Zacha (1977, 1978 a 2001), které se týkají metodiky plánování odstřelu spárkaté zvěře. Pro výpočet byl upraven vzorec hyperbolické křivky, protože nejlépe odpovídá empiricky vykonstruovaným pyramidám chovu zvěře. V rámci realizace variabilního modelu, byl vytvořen počítačový program v programovacím jazyce Python, který na základě vložených parametrů navrhne počty jedinců v jednotlivých věkových skupinách populace.

Pro správné hospodaření s černou zvěří je nutné se soustředit na věkovou skladbu populace. Vytvořený matematický model může pomoci při plánování odstřelu prasete divokého, aby bylo docíleno každoročního odlovu trofejově nejsilnějších kňourů ve zralém věku.

Klíčová slova: prase divoké, populace, matematický model černé zvěře, myslivost

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to use mathematical methods to develop a methodology for wild boar population planning and shooting. It has to take into account the number of individuals in population, sex ratio, expected production coefficient and target age of trophy wild boars.

Hromas and Zach (1977, 1978 and 2001) wrote research articles, which are related to the methodology of shooting planning for ungulates. Those research articles were used as the basis for the mathematical model creation. The formula for the hyperbolic curve was modified for the calculation, because it corresponds with the empirically constructed pyramids of ungulates. For mathematical model implementation, the computer program in the Python programming language was created. This computer program, based on the entered parameters, calculates and proposes the numbers of individuals in specific population age groups.

For sustainable management of wild boar population, it is necessary to focus on its age structure. Created mathematical model could help in management of wild boar population with target to yearly shoot trophy-strongest wild boars in mature age.

Keywords: wild boar, population, mathematical model of wild boar population, game management

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíl práce	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Černá zvěř.....	13
3.2	Stavy černé zvěře na území ČR a ve světě	14
3.3	Důvody intenzivního rozmnožování černé zvěře.....	15
3.4	Populační dynamika černé zvěře	15
3.5	Snížení populace černé zvěře.....	16
3.6	Studie populační struktury a dynamiky zvěře	17
4	Metodika	20
4.1	Matematický model.....	20
4.2	Počítačový program	21
5	Výsledky	25
5.1	Odvození počtu samic, samců a mláďat v populaci	25
5.2	Odvození počtu samců v jednotlivých letech života.....	29
5.3	Výsledky variabilního modelu pro různé kombinace vstupních proměnných	30
5.3.1	Příklad č. 1	30
5.3.2	Příklad č. 2	32
5.3.3	Příklad č. 3	33
5.3.4	Příklad č. 4	34
5.4	Stanovení normovaného stavu N při požadavku ulovit M jedinců v cílovém věku V.....	35
6	Diskuze	37
7	Závěr.....	40
8	Seznam literatury a použitých zdrojů	41
9	Seznam příloh.....	44

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Věkové třídy kňourů.....	13
Tabulka č. 2: Procentuální zastoupení samců, samic a mláďat pro dané koeficienty očekávané produkce.....	20
Tabulka č. 3: Popis proměnných použitých ve výpočtech	21

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Úvodní obrazovka programu.....	22
Obrázek č. 2: Rozhraní pro zadání vstupních proměnných, při daném normovaném stavu N.....	22
Obrázek č. 3: Rozhraní pro zadání vstupních proměnných pro lov M jedinců v cílovém věku V.....	23
Obrázek č. 4: Výstup aplikace.....	24
Obrázek č. 5: Náповěda aplikace.....	24
Obrázek č. 6: Věková pyramida černé zvěře.....	38

Seznam grafů

Graf č. 1: Odstřel černé zvěře v letech 1966–2016.....	14
Graf č. 2: Věková pyramida kňourů pro $K=3,5$, $S=1:1$, $N=50$, $V=9$	31
Graf č. 3: Věková pyramida kňourů pro $K=4$, $S=1:1$, $N=100$, $V=9$	32
Graf č. 4: Věková pyramida kňourů $K=5$, $S = 1:1$, $N=100$, $V=8$	33
Graf č. 5: Věková pyramida kňourů $K=3,5$, $S=0,5:1$, $N=100$, $V=7$	34
Graf č. 6: Věková pyramida kňourů pro $K=3,5$, $S = 1:1$, $V=8$, $M=2$	36

Seznam použitých zkratek a symbolů

A	počet samců
B	počet samic
C	počet mláďat
K	koeficient očekávané produkce
kg	kilogram
M	počet jedinců v cílovém věku V
N	normovaný stav zvěře
P	přírůst
Python	programovací jazyk
R	koeficient odlovu selat
S	poměr pohlaví
Sb.	sbírka zákonů
V	cílový věk kňoura
λ	lambda

1 Úvod

V médiích a mysliveckých periodikách se velice často můžeme dočíst o vysokých stavech prasete divokého (*Sus scrofa*) v honitbách, a o vysokých škodách na polních a lesních pozemcích, které tato zvěř způsobuje. Grafy odstřelů černé zvěře zobrazují rostoucí tendenci. Mohli bychom konstatovat, že myslivci dělají vše pro to, aby regulovali stavy černé zvěře. Skutečnost zvyšujícího se stavu černé zvěře, mohu potvrdit díky naší honitbě poblíž Nového Jičína, kde se s vysokými stavy černé zvěře rovněž potýkáme, a i přes zvyšující se počty ulovených jedinců se populace prasete divokého nesnižuje.

Dle mnoha autorů za současnou situaci mohou dva hlavní důvody. Jedním z nich je dostupná atraktivní potravní nabídka, která ústí ve vysoké množství dostupné biomasy. Druhým důvodem je nesprávná sociální struktura populace černé zvěře. Myslivci loví mnoho jedinců, otázkou ale zůstává, zda je odlov veden správným způsobem a zasahuje správné věkové kategorie. Na společných lovech bývají na výřadech dvouletí, tříletí a téměř vzácně čtyřletí kňouři, nikoliv ovšem sedmiletí či osmiletí trofejoví jedinci. I zde pozorujeme špatný odlov, protože právě dvouletí a tříletí kňouři by měli být loveni v co nejmenší míře, kvůli jejich nepostradatelné roli v populaci tak, jak následně uvádím v teoretické části bakalářské práce.

Bakalářskou prací se snažím adresovat problematiku odlovu a pomocí matematických metod zpracovat chovatelskou pyramidu odstřelu prasete divokého. Pro usnadnění výpočtu jsem vytvořil počítačový program, kde po zadání vstupních parametrů: počtu jedinců v populaci N , poměru pohlaví S , koeficientu očekávané produkce K a cílového věku trofejového kňoura V , je automaticky vypočítána optimální struktura černé zvěře. Tato struktura je reprezentována vygenerovanou chovatelskou pyramidou.

2 Cíl práce

Cílem práce je pomocí matematických metod zpracovat metodiku plánování odstřelu prasete divokého při zohlednění počtu jedinců v populaci, poměru pohlaví, koeficientu očekávané produkce a cílového věku trofejových kňourů.

3 Literární rešerše

3.1 Černá zvěř

Prase divoké (*Sus scrofa*) patří mezi nejrozšířenější kopytníky světa. Jeho původní rozšíření je v Euroasii a severní Africe, v současnosti se ale vyskytuje na všech kontinentech světa kromě Antarktidy (Scandura et al., 2011).

Říje (v myslivecké mluvě chrutí) probíhá zpravidla od listopadu do ledna, někdy ale také v jiných ročních obdobích. Bachyně je plná 16–20 týdnů a v jednoduše upraveném zálehu metá 3–12 selat, která hned po narození vidí a jsou čilá. Matka kojí přibližně dva měsíce, ale po 2 týdnech života se selata sama snaží hledat a sbírat potravu. Některé samice mohou pohlavně dospět již po 8. měsíci věku, samci dospívají o několik měsíců později. Mláďata se proto mohou zapojit do reprodukce už v prvním roce života (Vosátka, 2013; Gethöffer et al., 2007).

Černá zvěř žije v tlupách. Každá tlupa je vedena silnou bachyní, se kterou chodí její selata a dcery ve věku lončáků. Počátkem léta se spojuje několik vodících bachyní do společných velkých tlup (Hanzal, 2016).

Poměr pohlaví by měl být 1:1. Věková stavba populace by měla činit jednu třetinu kusů mladých a dvě třetiny kusů dospělých. Kňoury rozdělujeme do tří věkových tříd dle tabulky č. 1:

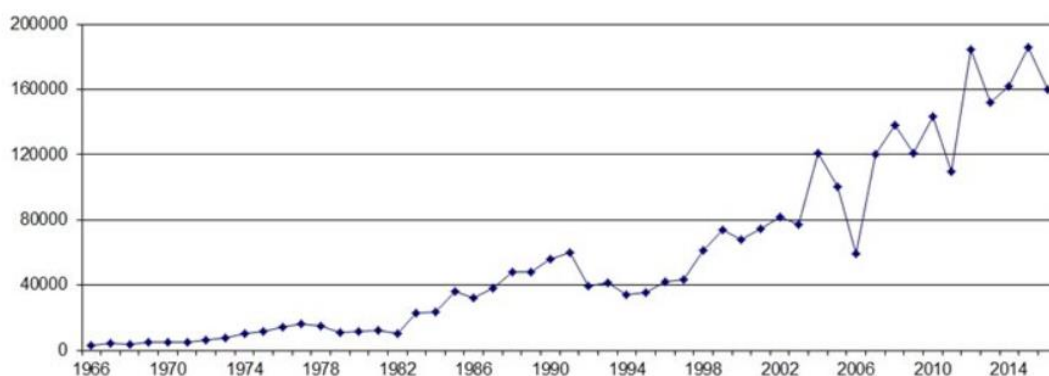
Tabulka č. 1: Věkové třídy kňourů (Zdroj: Vyhláška č. 491/2002 Sb)

Věková třída	Věk	Procentuální zastoupení
I. věková třída	do 2 let	28 %
II. věková třída	3–4 roky	46 %
III. věková třída	starší 5 let	26 %

Bachyně rozdělujeme na dvě věkové třídy: mladé – do dvou let a dospělé – 3 a více let (Bednář et al., 2018).

3.2 Stavby černé zvěře na území ČR a ve světě

Stavy černé zvěře se u nás v posledních desetiletích zvyšují (Podrázský, 2003; Hládíková et al., 2007). Graf č.1 udává odstřel černé zvěře, který má stoupající tendenci. V roce 2016 bylo uloveno 160 139 kusů na území České republiky. Hustota černé zvěře v roce 2016 byla 24 kusů na 1000 hektarů honebních pozemků (Zbořil, 2017), což se výrazně liší od doporučené hustoty 5 kusů na 1000 hektarů. Dle informací českého statistického úřadu bylo v období od 1. 4. 2018 do 31. 3. 2019 odloveno 137 823 kusů černé zvěře.



Graf č. 1: Odstřel černé zvěře v letech 1966–2016 (Zdroj: Myslivost.cz)

Například v oblasti Olomoucka rostly roční úlovky v letech 1964–2005 exponenciálně s průměrnou procentuální mírou růstu 11,6 % (Hládíková et al., 2007).

Trend zvyšující se populace černé zvěře není jen problémem České republiky, ale rovněž problémem ostatních zemí v Evropě. Fonseca et al. (2004) uvádí, že v Portugalsku bylo v roce 2001 uloveno 8 254 jedinců, což je výrazný nárůst oproti roku 1990, kdy bylo uloveno jen 423 jedinců.

Další zpráva zkoumala nárůst populace černé zvěře v Itálii, např. v roce 1999 bylo zaznamenáno 93 045 jedinců, o šest let později v roce 2005 bylo zaznamenáno 114 831 jedinců (Carnevali et al., 2009). I zde autoři sledovali trend zvyšující se populace černé zvěře.

3.3 Důvody intenzivního rozmnožování černé zvěře

Dle Vodňanského (2003) má intenzivní rozmnožování černé zvěře v současné době dva důvody. První z nich je způsoben současným stylem hospodaření v krajině, kde černá zvěř nachází velmi příznivé podmínky pro rozmnožování. Nárůst produkce biomasy v zemědělství a také změny v pěstovaných plodinách výrazně posilují stavy černé zvěře (Geiser a Rever, 2005; Gethöffer et al., 2007). V minulosti byl dle Kadlece (2007) jeden z nejvýznamnějších faktorů nárůstu populace výskyt semenných roků, protože zajistí potravu v době strádání. Dnes k semenným rokům ještě přibyla bohatá nabídka potravy během každého vegetačního období.

Druhým důvodem nárůstu populace černé zvěře je nedostatečná myslivecká regulace. Z grafu č. 1 je viditelné, že myslivci dělají vše pro to, aby snížili populační stavy černé zvěře. Nabízí se ovšem otázka, zda selekce při odlovu jedinců je správná.

3.4 Populační dynamika černé zvěře

Vodňanský et al. (2003) uvádí, že jedno z trvalých poškození v sociální organizaci populace černé zvěře je odstřel vedoucích bachyní, které jsou většinou nejstarší v tlupě. Nesprávný odstřel způsobí přerušení synchronizace doby chrutí v rodinných tlupách a zároveň potlačí synchronizaci termínů říje u níže postavených bachyň v tlupách, protože vedoucí bachyně určuje počátek doby chrutí celého rodinného společenstva (Feuereisel, 2003). Přibližně 14 dní před začátkem chrutí vedoucí bachyně označuje stromy a různé výhonky svými slinami a sekretem z očních žláz. Tím kňoury upozorňuje na přicházející dobu chrutí. Stejnou reakci to zároveň vyvolává u ostatních dospělých bachyní v tlupě. Říjnou tlupu většinou ovládne nejsilnější z kňourů, který žije v okolí a pokládá vzrůstem odpovídající a silné bachyně. Je důležité říci, že nevyspělé letošní a loňské bachyňky pomíjí a tím proběhne jejich říje naprázdno. Nejsilnější kňour také odhání slabší kňoury, kteří by se tyto mladé bachyňky snažili oplodnit. Tím dochází k přirozené kontrole plodnosti (Feuereisel, 2003).

Nesprávný odstřel mladých kňourů vyloučených z rodinné tlupy oslabuje stavy kňourů a významně se narušuje přirozený poměr pohlaví. Nesprávný lovecký zásah do stavu středně staré hlavní zvěře způsobuje poškozené stavy černé zvěře. Důkazem

kvality správného a přirozeného hospodaření se stavy černé zvěře je dostatečný počet kňourů ve věku zhruba 8 let (Vodňanský et al., 2003). Hromas (2003) uvedl, že se kňouři v českých podmínkách nedožívají odpovídajícího stáří 6 až 8 let. Zároveň později uvedl, že ponechání zejména kňourů do minimálně šestého roku jejich věku přináší záruku v kvalitě černé zvěře, která se promítá v jejich hmotnosti a zdravotním stavu (Hromas, 2005).

Herrero et al. (2008) zkoumali populaci černé zvěře v Pyrenejích. Zjistili, že ve vzorku zkoumané populace bylo pouze 6,7 % letošaček březích, na druhou stranu bachyně starší 2 let byly v 82,6 % březí (19 z 23 jedinců) a bachyně starší 36 měsíců byly březí v 73,9 % (17 z 23 jedinců).

Vodňanský (2003) rovněž konstatuje, že v současné situaci dosahují čisté roční přírůstky 150–200 % celkového jarního početního stavu. V Německu dokonce udávají hodnoty ročních přírůstků 280–300 % jarních kmenových stavů.

3.5 Snížení populace černé zvěře

K tomu, aby bylo správně navrženo snížení populace černé zvěře, nestačí jen znát celkový počet jedinců, ale také počet samců, samic a věkového zastoupení jedinců v populaci (Bieber and Ruf 2005; Servanty et al. 2011; Hromas et Zach, 1978).

Merli a Meriggi (2006) ve své studii uvádí, že má-li být populace prasete divokého úspěšně snížena, lovecký tlak musí eliminovat každoroční roční přírůstek a také minimálně 5 % dospělých bachyň z rozmnožovací populace (Vodňanský, 2003). Nízká intenzita loveckého tlaku v minulých letech v oblasti Itálie umožnila rozšíření populace divokých prasat, kdy jedním z důvodů byly špatné odhady stavů populace.

Gethöffer et al. (2007) konstatuje, že hlavním cílem pro efektivní management populace černé zvěře by mělo být snížení počtu selat, například intenzivním odlovem. Ten by se měl začít provádět, když selata dosáhnou živé váhy alespoň 10 kg. Lov letošáků a lončáků by se měl provádět v poměru 5:1. Podíl selat na celkovém úlovku by měl být minimálně 75 % (Vodňanský, 2003).

3.6 Studie populační struktury a dynamiky zvěře

Vzniklo několik studií a analýz, které se věnují metodám stanovení efektivní populace zvěře. Hromas a Zach (1997, 1978) se ve svých pracích věnují metodě stanovení struktury normovaných stavů zvěře a později matematickým metodám pro plánování lovu trofejové zvěře.

Fernandez a Mateos (2003) zkoumali populační strukturu černé zvěře na základě údajů ulovených kusů mezi roky 1994-2001 ve dvou oblastech Pyrenejského poloostrova. Uloveno bylo 972 kusů černé zvěře a průměrný věk byl 1,93 let. Počet ulovených samců byl 436 (42,7 %) a samic 536 (52,6 %). Největší počet ulovených kusů - 350 (208 samců a 142 samic) byl ve věkovém rozmezí 1,1–2 roky. Na druhou stranu byli uloveni jen dva kňouři starší 6 let. Fernandez a Mateos to přičítají tomu, že nejstarší kňoury je těžké lovit z důvodu jejich zkušeností, a to i v případech, kdy byly použity jiné lovecké techniky.

Další studii populace černé zvěře tentokrát v oblasti jižní Itálie provedli Massolo a Della Stella (2006). Celkově analyzovali data 2 773 jedinců ulovených v letech 1990-1996. Uloveno bylo 1 505 samců a 1 262 samic, 6 jedinců nebylo určeno. K tomu, aby mohli analyzovat trend populační struktury v šesti loveckých letech, rozdělili data do 4 věkových tříd (I. věková třída: 0–12 měsíců, II. věková třída: 13–24 měsíců, III. věková třída: 24–36 měsíců a poslední IV. věková třída patří jedincům starším 36 měsíců). Pomocí chí-kvadrát testu zjistili, že největší procento ulovených samců bylo ve II. věkové třídě, kde bylo uloveno téměř 40 % z celkového počtu ulovených samců, u samic to bylo zhruba 30 %. Ve čtvrté věkové skupině byl trend opačný, samců bylo uloveno 10 % z celkového počtu ulovených samců a samic zhruba 15 % z celkového počtu ulovených samic. Autoři studie si to vysvětlují tím, že lovci svůj odlov nezakládali na základě pohlaví a věkových tříd.

Focardi et al. (1996) zkoumali populační dynamiku dančí zvěře. V průběhu 5 let sledovali na vymezeném území v Itálii populační stavy, kdy v celkovém průměru napočítali 923 jedinců v populaci. Pro simulaci populační dynamiky použili Leslieho modely. Je-li rychlost růstu populace $\lambda < 1$ znamená to, že populace se snižuje. Na druhou stranu, když je $\lambda > 1$ populace se zvyšuje exponenciálně. Na základě vytvořeného modelu, byla $\lambda = 1,11$. To znamená, že by populace měla za 22 let přes 10 000 jedinců. Důležité je ale říci, že součástí modelu nebyly informace o ročních odlovech. Leslieho maticové

modely také použili Bieber a Ruf (2005), tentokrát ale pro určení dynamiky populace černé zvěře na základě přírodních podmínek, které rozdělili do tří kategorií – špatné, střední a dobré. Vycházeli z dat, které jsou založeny na plodnosti a míře přežití v jednotlivých věkových skupinách prasete divokého. Výsledek jejich výpočtů stanovil $\lambda = 0,85$ v případě špatných přírodních podmínek. V druhé kategorii – střední, byl výsledek $\lambda = 1,09$. V poslední kategorii – dobré přírodní podmínky byla $\lambda = 1,63$. Bieber a Ruf (2005) považují výsledek svých výpočtů za přijatelný a konstatují, že jejich vytvořené maticové modely mohou sloužit jako základ pro řešení základních a aplikovaných otázek týkajících se populační dynamiky druhu.

Zach a Hromas (1977) zpracovali metodiku použití matematických metod pro plánování plynulého lovu trofejové jelení zvěře. Jelikož jedním ze základních měřítek vyspělosti chovu je produkce hodnotných, vysokobodových trofejí, zaměřili se na metody plánování chovu a lovu zvěře, které umožní pravidelné získávání největšího počtu nejkvalitnějších trofejí. Cílový věk jelena je více než 12 let. Chov zvěře předpokládá, že se tohoto věku dožije co největší počet geneticky dobře založených jedinců, a to ovšem za předpokladu, že méně kvalitní, nemocní a trofejově slabí jedinci budou dříve odstranění průběrným odstřelem. Primárně vychází z předpokladu, že je stanoven normovaný stav zvěře celé populace a struktura normovaných stavů v rámci poměru pohlaví při známém koeficientu očekávané produkce (Hromas a Zach, 1977). Autoři rovněž na základě svých zkušeností prezentují názor, že průběrný odstřel má zasáhnout v co největší míře I. věkovou třídu zvěře, a to v minimálním počtu 50 %, a to z toho důvodu, aby se lovilo méně zvěře z II. věkové třídy – maximálně 20 %, a v důsledku se může ulovit více zvěře z III. věkové třídy – minimálně 30 %. K tomu, aby své úvahy mohli matematicky podložit, navrhli dvě matematické metody pro ideální věkové rozložení zvěře v normovaném stavu.

První navrhovaná metoda: regulace stavů zvěře pomocí jednorázového průběrného odstřelu – navrhuje ulovit všechnu nežádoucí zvěř průběrným odstřelem již v prvním roce života a ponechat k zestárnutí do cílového věku pouze jedince, kteří mají potenciál nejkvalitnějších trofejí. Aby bylo dosaženo odlovu jednoho jelena ve věku 12 let s kvalitním parožím, při předpokladech koeficientu očekávané produkce $K = 0,7$ a poměru pohlaví 1:1, je nutno mít v normovaném stavu 37 jedinců jelení zvěře, z nichž 15 bude jelenů, 15 laní a 7 kolouchů. Každoročně se za těchto podmínek budou lovit

4 jeleni, z nichž 3 budou v I. věkové třídě a 1 jelen bude dvanáctiletý s předpokládanou kvalitní trofej v III. věkové třídě. V II. věkové třídě se lov nepředpokládá. Tento způsob je v praxi ale těžko dosažitelný, protože se předpokládá vysoká odborná kvalifikace myslivců, kteří by měli na starosti odlov zvěře v I. věkové třídě.

Druhá metoda: regulace stavu zvěře pomocí plynulého průběžného odstřelu – je našim podmínkám v myslivecké praxi bližší, jelikož je obtížné odhadnout kvalitu budoucích trofejí již dle prvního paroží. Autoři navrhují posunutí odstřelu i do vyšších ročníků se stále stejným cílem – dosažení co nejvyššího počtu kvalitních trofejí. V případě použití této metody, kdy se má každoročně ulovit jelen ve stáří 12 let a při předpokladech poměru pohlaví 1:1 a koeficientu očekávané produkce 0,7 je třeba mít v normovaném stavu 65 jedinců jelení zvěře, z nichž 26 bude jelenů, 26 laní a 13 kolouchů. Věkové složení se zásadně liší od první použité metody – distribuce jedinců v jednotlivých letech je rozdílná. Narozdíl od první použité metody je zvěř lovena plynule a je možnost odstranit trofejově méně kvalitní jedince později. Na druhou stranu je nutné za stejných předpokladů a podmínek chovat v normovaném stavu téměř dvakrát více jelenů. Celkový každoroční úlovek bude 7 jelenů, kdy v I. věkové třídě to bude 5 jedinců (3 s prvním parožím, a po jednom s druhým a třetím parožím) v II. věkové třídě budeme to bude 1 jelen (s šestým parožím) a v poslední, cílové III. věkové třídě jen 1 jelen ve věku minimálně 12 let.

V praktické části jsou využity práce Hromase a Zacha (1977, 1978) k sestavení funkčních matematických modelů populace černé zvěře, a to při zohlednění počtu jedinců v populaci, poměru pohlaví, koeficientu očekávané produkce a cílového věku trofejových kňourů.

4 Metodika

K zpracování variabilního modelu byly dle zadání použity práce Hromase a Zacha (1977, 1978, 2001). Tyto práce obsahují výpočty, které byly upraveny pro použití u černé zvěře. Pro zadání vstupních proměnných a vizualizaci výsledků byl vytvořen počítačový program, který je dále popsán v podkapitole 4.2.

4.1 Matematický model

Pro stanovení procentuálního zastoupení samců, samic a mláďat černé zvěře v populaci pro jednotlivé koeficienty očekávané produkce, byla použita vyhláška č. 491/2002 Sb. – o způsobu stanovení normovaných stavů zvěře a o zařazování honiteb nebo jejich částí do jakostních tříd. V tabulce č. 2 je uveden přehled koeficientů očekávané produkce a procentuální zastoupení samců, samic a mláďat v populaci. Uvedené výsledné hodnoty byly zohledněny ve výpočtech.

Tabulka č. 2: Procentuální zastoupení samců, samic a mláďat pro dané koeficienty očekávané produkce (Zdroj: Vyhláška č. 491/2002 Sb.)

Koeficient očekávané produkce	Samci (%)	Samice (%)	Mláďata (%) (selata)
3,2	38	38	24
3,5	37,5	37,5	25
4	36	36	28
4,5	35	35	30

Vzorec od Hromase a Zacha (1978) byl použit k výpočtu optimální struktury populace černé zvěře. Tento vzorec ale při použití na černou zvěř vrací nesprávné údaje. Musel být tedy upraven, tak aby výstup výpočtů byl správný. K tomu, aby byl vzorec správně upraven muselo být čerpáno z předchozí práce autorů z roku 1977, která stanovuje předpoklady pro výpočet stavů spárkaté zvěře. Ve výpočtech jsou využity různé proměnné, jejich význam je uveden v tabulce č. 3. Použití a odvození těchto proměnných je detailně popsáno v kapitole 5.

V případě odlovu samic se předpokládá, že se základní selekce provádí v selatech a v jednoletých bachyňkách. Poté se uvažuje s odlovem starých samic. Tato bakalářská práce se především zaměřuje na chovatelskou pyramidu kňourů, pro bachyně je určen jejich každoroční odstřel v jedincích.

Tabulka č. 3: Popis proměnných použitých ve výpočtech

Proměnná	Význam
A	Počet samců
B	Počet samic
C	Počet mláďat
P	Přírůst
N	Normovaný stav zvěře
K	Koeficient očekávané produkce
R	Koeficient odlovu selat
S	Poměr pohlaví
V	Cílový věk kňoura
M	Počet jedinců v cílovém věku V

4.2 Počítačový program

K realizaci výpočtů byl vytvořen počítačový program, který byl naprogramován v programovacím jazyce Python. Programovací jazyk Python byl vybrán z toho důvodu, že obsahuje velké množství dodatečných knihoven, které umožňují vytvořit vše v jednom prostředí, bez nutnosti integrací na jiné platformy. Uživatelské prostředí bylo naprogramováno s použitím grafické knihovny tkinter a matematické grafy byly vytvořeny pomocí matematické knihovny matplotlib.

Program obsahuje tři hlavní obrazovky. Úvodní obrazovka s popisem programu zobrazena na obrázku č. 1, kde se po kliknutí na tlačítko *Začít* objeví hlavní obrazovka programu.



Obrázek č. 1: Úvodní obrazovka programu

Okno aplikace, které se zobrazí po stisknutí zmíněného tlačítka, slouží jako rozhraní pro zadání vstupních proměnných a je znázorněno na obrázku č. 2.

Obrázek č. 2: Rozhraní pro zadání vstupních proměnných, při daném normovaném stavu N

Zde se nachází dvě možnosti zadání, v prvním případě je určený normovaný stav N a jako vstupní proměnné slouží poměr pohlaví S , koeficient očekávané produkce K , cílový

věk kňoura V a normovaný stav zvěře N . Programem je poté automaticky dopočítán koeficient odlovu selat R .

Druhá možnost slouží pro případ, že v cílovém věku V chceme ulovit určitý počet jedinců M . V tomto případě, je na vstupu poměr pohlaví S , koeficient očekávané produkce K , cílový věk kňoura V a počet jedinců M , které chceme v cílovém věku V ulovit. Program poté automaticky dopočítá koeficient odlovu selat R a potřebný počet jedinců v normovaném stavu N . Toto rozhraní je zobrazeno na obrázku č. 3.

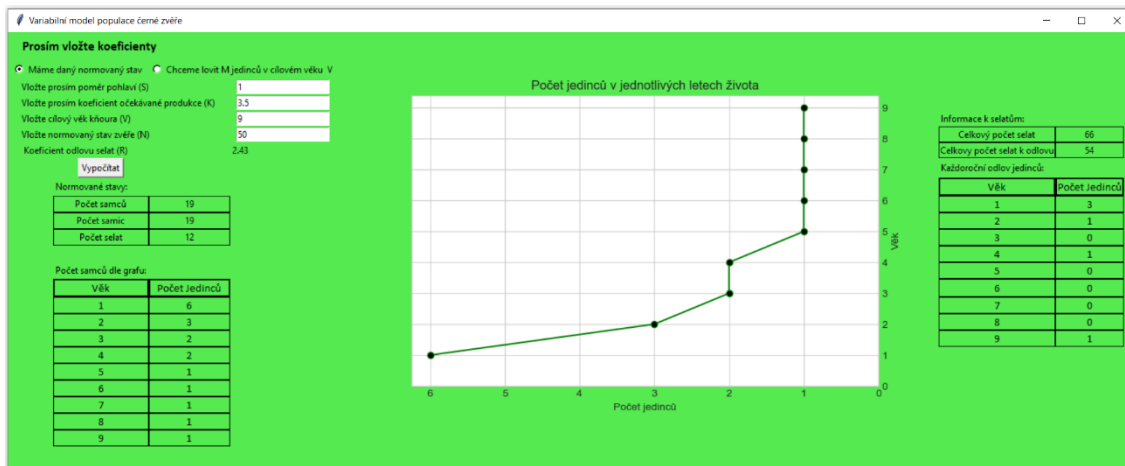
Text	Value
Vložte prosím poměr pohlaví (S)	1
Vložte prosím koeficient očekávané produkce (K)	3.5
Vložte cílový věk kňoura (V)	8
Vložte počet jedinců v cílovém věku (M)	2

Obrázek č. 3: Rozhraní pro zadání vstupních proměnných, pro lov M jedinců v cílovém věku V

Stisknutím tlačítka *Vypočítat* dojde k jednotlivým výpočtům. Tento krok obsahuje také validaci vstupů, které kontrolují vstupní hodnoty vložené uživatelem. Nemůže tedy dojít k situaci, kdy uživatel nevyplnil některou vstupní hodnotu nebo naopak vyplnil vstupní hodnotu nesprávně např. koeficient očekávané produkce je zadán jako 100 a podobně.

Na obrázku č. 4 je zobrazen kompletní výstup aplikace. Nachází se zde aktuální hodnoty vstupních proměnných. V levé části jsou vypočítané normované stavy samců, samic a mláďat v populaci. Hlavní komponentou je graf, který určuje počet jedinců v jednotlivých letech života a jejich každoroční odlov. Pro usnadnění čtení grafu, je pro koncového uživatele programu, zobrazena v levé části tabulka s jednotlivým počtem jedinců z osy x v daném věku z osy y .

V pravé části výstupu se nachází tabulka s informacemi k selatům, jejich celkový počet a jejich doporučený každoroční odlov. Dále zde uživatel najde údaj o počtech jedinců, které se musí ulovit v daném věku.



Obrázek č. 4: Výstup aplikace

Poslední obrazovkou programu je nápověda, která se zobrazí stisknutím stejnojmenného tlačítka umístěného na hlavní obrazovce programu. V nápovědě jsou popsány koeficienty a jejich správný postup použití.

Nápověda

Vložení koeficientů - v případě použití desetinné čárky, použijte prosím jako oddělovač tečku

Poměr pohlaví (S):
Vložte prosím jako číslo - příklady následovně:
 V případě, že je poměr pohlaví 1:1 (samec:samice) je S=1.
 V případě, že je poměr pohlaví 0,5:1 (samec:samice) je S=0.5.
 V případě, že je poměr pohlaví 1:0,5 (samec:samice) je S=2.

Koeficient očekávané produkce (K):
Koeficient očekávané produkce musí být roven nebo vyšší 3.2 a menší než 5.

Cílový věk kňoura(V)
Určuje cílový věk kňoura, kterého chceme lovit.

Normovaný stav zvěře (N):
Určuje počet jedinců v populaci.

Koeficient odlovu selat (R):
Koeficient je dopočítán automaticky programem, není nutno zde dělat výpočty.

Počet jedinců v cílovém věku (M):
Určuje počet jedinců, které chceme v cílovém věku V lovit.

Obrázek č. 5: Nápověda aplikace

5 Výsledky

5.1 Odvození počtu samic, samců a mlád'at v populaci

K sestavení vzorců pro výpočet normovaných stavů černé zvěře, byly dle zadání bakalářské práce použity práce Hromase a Zacha (1977, 1978), kde v první práci autoři sestavují vzorce pro počet samců, samic a mlád'at v populaci pro spárkatou zvěř. V druhé práci autoři sestavují vzorec pro výsledný počet jedinců v jednotlivých letech života, na jehož základě je stanoven odlov. Tyto vzorce při aplikaci na černou zvěř ovšem v grafu zobrazují nesprávné hodnoty a musely být tudíž upraveny.

V následujících odstavcích je vysvětlen princip výpočtů, z jakého důvodu vzorce pro černou zvěř nefungují, a hlavně jakým způsobem byly upraveny tak, aby výsledky byly směrodatné.

Přírůst v populaci je definován jako součin koeficientu očekávané produkce K a počtu samičí zvěře B (Hromas a Zach, 1977).

$$P = B \cdot K$$

Pro případ černé zvěře se musí každoročně ulovit celý přírůst, lov zvěře nesmí být v žádném případě menší než její přírůst.

Každoročně je uloven takový počet selat, jenž převyšuje normovaný stav mladých C . Odlov mlád'at L_c bude dle Hromase a Zacha (1977) vyjádřen vzorcem:

$$L_c = P - C = B \cdot K - C$$

Je nutno ovšem také lovit určitý počet samců A a samic B . V tomto případě autoři vzorců určují, že bude možno z počtu lovených samic:

$$L_B = \frac{C}{2}$$

Možno lovit mladých:

$$L_c = \frac{C}{2} \cdot K$$

S předpokladem, že také platí:

$$\frac{C}{2} \cdot K = B \cdot K - C$$

V tomto případě, po dosazení do vzorce, tato rovnice nevychází, jelikož například pro koeficient očekávané produkce $K = 4$ a po dosazení údajů z tabulky č.2 rovnice vychází následovně:

$$\frac{C}{2} \cdot K = B \cdot K - C$$

$$\frac{28}{2} \cdot 4 = 36 \cdot 4 - 28$$

$$56 \neq 116$$

V levé části vzorce je nutno tedy ulovit větší počet mlád'at, než je dáno v uvedeném předpokladu. Na základě tohoto zjištění, byla vytvořena nová konstanta odlovu selat R , která určuje násobek mlád'at, které musí být uloveny pro to, aby se tato rovnice rovnala a zároveň, aby vše bylo v souladu s údaji v tabulce č. 2. Je tedy nutné každoročně lovit mladých:

$$L_c = \frac{C}{2} \cdot R \cdot K$$

Poté bude rovnice upravena následovně:

$$\frac{C}{2} \cdot R \cdot K = B \cdot K - C$$

Dále se v odvození pracuje s nově zavedeným koeficientem odlovu selat R . Tato konstanta je automaticky programem dopočítána. V tabulce č. 4 jsou stanoveny hodnoty konstanty odlovu selat R pro jednotlivé koeficienty očekávané produkce K . Konstanta R byla získána zpětným propočtem dle normovaných stavů z tabulky č. 2.

Z tabulky č. 4 je zřetelně viditelné, že čím vyšší je koeficientem očekávané produkce K , tím nižší je koeficient odlovu selat R .

Tabulka č. 4: Koeficient odlovu selat R pro dané koeficienty očekávané produkce K

Koeficient očekávané produkce (K)	Koeficient odlovu selat (R)
3,20	2,54
3,30	2,52
3,40	2,47
3,50	2,43
3,60	2,35
3,70	2,31
3,80	2,18
3,90	2,14
4,00	2,07
4,10	2,04
4,20	1,97
4,30	1,94
4,40	1,91
4,50	1,89
4,60	1,86
4,70	1,84
4,80	1,81
4,90	1,75
5,00	1,73

Pomocí základních matematických úprav je z předchozího vzorce odvozen koeficient očekávané produkce pro černou zvěř jako:

$$K = \frac{B \cdot K - C}{\frac{C \cdot R}{2}}$$

Poměr ulovených selat k počtu ulovených samic bude tedy roven:

$$\frac{C}{B} = \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}$$

Poměr pohlaví lze dle Hromase a Zacha (1977) vyjádřit pomocí konstanty S , a to podílem počtu samců A v čitateli a počtu samic B ve jmenovateli:

$$S = \frac{A}{B}$$

Tento vzorec je dále používán v různých jeho variantách, vyplývá z něho, že:

$$A = B \cdot S$$

A také:

$$B = \frac{A}{S}$$

Normovaný stav N , lze vyjádřit jako:

$$N = A + B + C$$

Součet těchto tří proměnných se rovná normovanému stav N , který je zadán jako vstupní proměnná ve vytvořeném programu.

Tím se dostáváme k vyjádření počtu samic, v případě, kdy je na vstupu počet jedinců v populaci N , poměr pohlaví S , koeficient očekávané produkce K a koeficient odlovu selat R . Všechny tyto údaje jsou vstupními proměnnými v programu. Z uvedených vzorců lze vyjádřit počet samic B následovně:

$$N = A + B + C$$

Kde:

$$A = B \cdot S$$

A zároveň:

$$C = \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2} \cdot B$$

Po dosazení tedy vychází:

$$N = B \cdot S + B + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2} \cdot B$$

Následně vytkneme B :

$$N = B \cdot \left(S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2} \right)$$

Zde už dokážeme vyjádřit počet samic B jako:

$$B = \frac{N}{S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}}$$

Z tohoto vzorec dokážeme vyjádřit počet samců A jako:

$$A = \frac{N \cdot S}{S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}}$$

A zároveň počet mladých C jako:

$$C = \frac{N \cdot \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}}{S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}}$$

Výše uvedené vzorce jsou klíčovým předpokladem pro další výpočty v předložené bakalářské práci.

5.2 Odvození počtu samců v jednotlivých letech života

Dle práce Hromase a Zacha (1978), byl pro výsledný počet jedinců v jednotlivých letech života použit vzorec, který vychází z hyperbolické křivky. Hyperbolický tvar dle zmíněných autorů nejlépe odpovídá empiricky sestaveným pyramidám chovu zvěře. Důležité je poznamenat, že tento vzorec musel být upraven pro potřeby černé zvěře, jelikož jeho původní tvar nelze použít pro populaci černé zvěře.

Hromas a Zach (1978) odvodili vzorec pro výpočet počtu jedinců x v jednotlivých letech života y v jejich práci následovně:

$$x = \frac{V \cdot \frac{C}{2} - A}{V - \ln(2 \cdot V + 1)} \cdot \frac{1}{y} + \frac{A - \frac{C}{2} \cdot \ln(2 \cdot V + 1)}{V - \ln(2 \cdot V + 1)}$$

Jelikož vstupní proměnné v programu jsou pouze koeficient očekávané produkce K , cílový věk V , poměr pohlaví S , normovaný stav N a koeficient odlovu černé zvěře R , je nutné dosadit za veličiny A a C . Tyto veličiny byly vyjádřeny v předchozí podkapitole, tudíž po úpravě vyjde finální vzorec, který je také základem pro sestavení variabilního modelu černé zvěře, konkrétně věkové pyramidy samců.

$$x = \frac{1}{V - \ln(2 \cdot V + 1)} \cdot \frac{N}{S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}} \cdot \left\{ \frac{K}{K \cdot R + 2} \cdot \left[\frac{V}{y} - \ln(2 \cdot V + 1) \right] + S \cdot \left(1 - \frac{1}{y} \right) \right\}$$

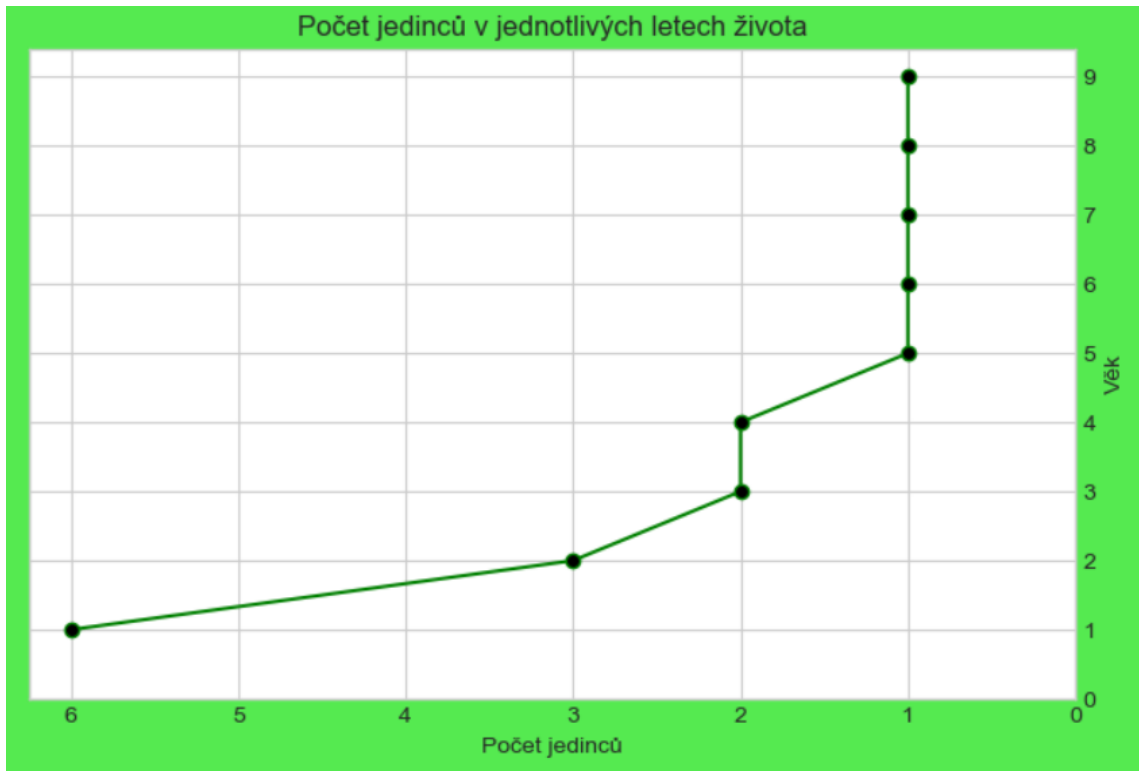
V uvedeném případě je počet jedinců x v programu zaokrouhlen, proto u výsledné křivky není z prvního pohledu jasný její hyperbolický tvar. V grafu mít být vždy celá hodnota, nelze lovit například 4,6 jedince, z tohoto důvodu musí být výsledná hodnota, dle matematických pravidel zaokrouhlena nahoru.

5.3 Výsledky variabilního modelu pro různé kombinace vstupních proměnných

5.3.1 Příklad č. 1

Při prvotním spuštění programu, jsou již nastaveny výchozí hodnoty proměnných. Tento vstupní případ je rozebrán v této části bakalářské práce. Pro koeficient očekávané produkce $K = 3,5$, poměru pohlaví $S = 1:1$, normovaného stavu $N = 50$ a optimálního věku trofejového kňoura $V = 9$ let, vychází dle variabilního modelu normovaný počet

samců $A = 19$, samic $B = 19$ a mladých $C = 12$, jenž je v souladu s informacemi v referenční tabulce č. 2.



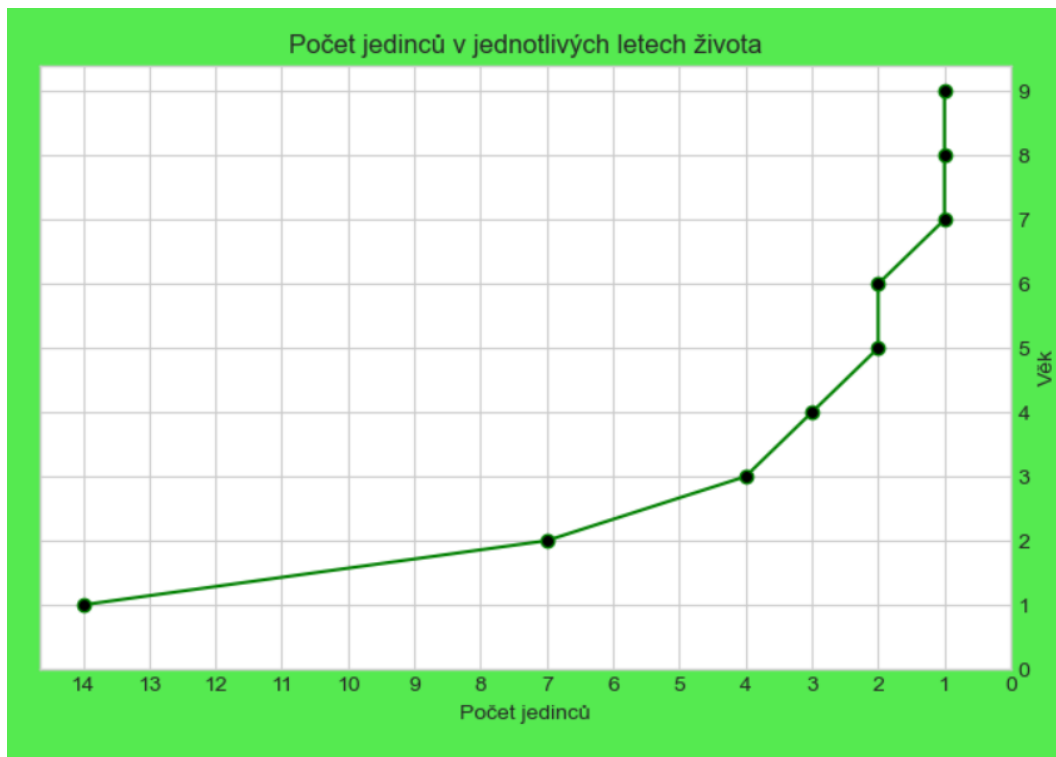
Graf č. 2: Věková pyramida kňourů pro $K=3,5$, $S=1:1$, $N=50$, $V=9$

Přírůst P je roven 66 selatům. Musíme tudíž každoročně ulovit 66 jedinců v populaci, protože je nutné ulovit celý přírůst. Největší počet jedinců ulovíme v selatech a to celých 80 % narozených selat, v tomto případě to znamená ulovení 54 selat. Zároveň ještě musíme ulovit 12 jedinců v dospělé populaci. Při zvoleném poměru pohlaví $S = 1:1$, ulovíme každoročně 6 samců a 6 samic. Dle grafu č. 2 ulovíme 3 jednoleté kňoury, jednoho dvouročního kňoura, jednoho čtyřletého kňoura, a konečně jednoho trofejového devítiletého kňoura. Budeme-li tedy dodržovat zásady odlovu dle výsledků z variabilního modelu, dosáhneme vytyčeného cíle ze zadání a každoročně odlovíme jednoho devítiletého kňoura.

Celý výsledek z programu s přehledem všech výstupních hodnot je uveden v příloze č.1.

5.3.2 Příklad č. 2

V druhém případě, jsme zvýšili koeficient očekávané produkce na $K = 4$, ponechali stejný poměr pohlaví $S = 1:1$ a také jsme zvýšili normovaný stav na $N = 100$, a to při zachování cíle mít v populaci trofejového kňoura ve věku $V = 9$ let.



Graf č. 3: Věková pyramida kňourů pro $K=4$, $S=1:1$, $N=100$, $V=9$

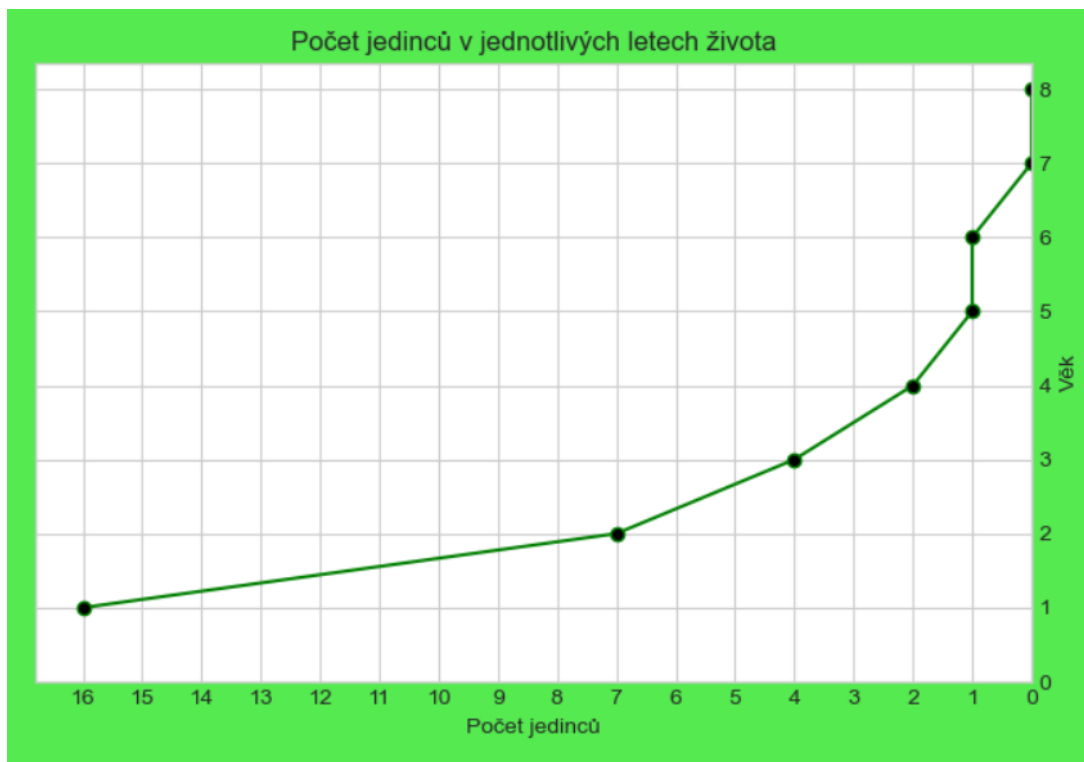
Dle výsledků z variabilního modelu budeme mít v normovaném stavu v populaci 36 samců, 36 samic a 28 selat. Celkový přírůstek bude 144 jedinců, abychom dodrželi normovaný stav selat z tabulky č. 2, musíme ulovit 116 selat, to je celých 80 % přírůstu selat tak, jako v prvním příkladě. Zároveň ještě ulovíme 14 samců a 14 samic z dospělé populace. V případě kňourů ulovíme dle grafu č. 3 nejvíce jednoletých kňourů a to celých 7 jedinců, dále 3 dvouleté kňoury, po jednom tříletém, čtyřletém a šestiletém kňourovi a zůstane nám každoročně k odlovu jeden trofejový devítiletý kňour.

Podobně jako v prvním případě bude největší lovecký zásah v selatech a lončácích, od dvou let děláme už jen průběrný odstřel.

Přehled výstupu programu pro tento případ se všemi potřebnými údaji je zobrazen v příloze č.2.

5.3.3 Příklad č. 3

Nyní zvyšujeme koeficient očekávané produkce na $K = 5$. Je ponechán poměr pohlaví $S = 1:1$ a normovaný stav $N = 100$, s cílem mít v populaci trofejového kňoura ve věku $V = 8$ let.



Graf č. 4: Věková pyramida kňourů $K=5$, $S = 1:1$, $N=100$, $V=8$

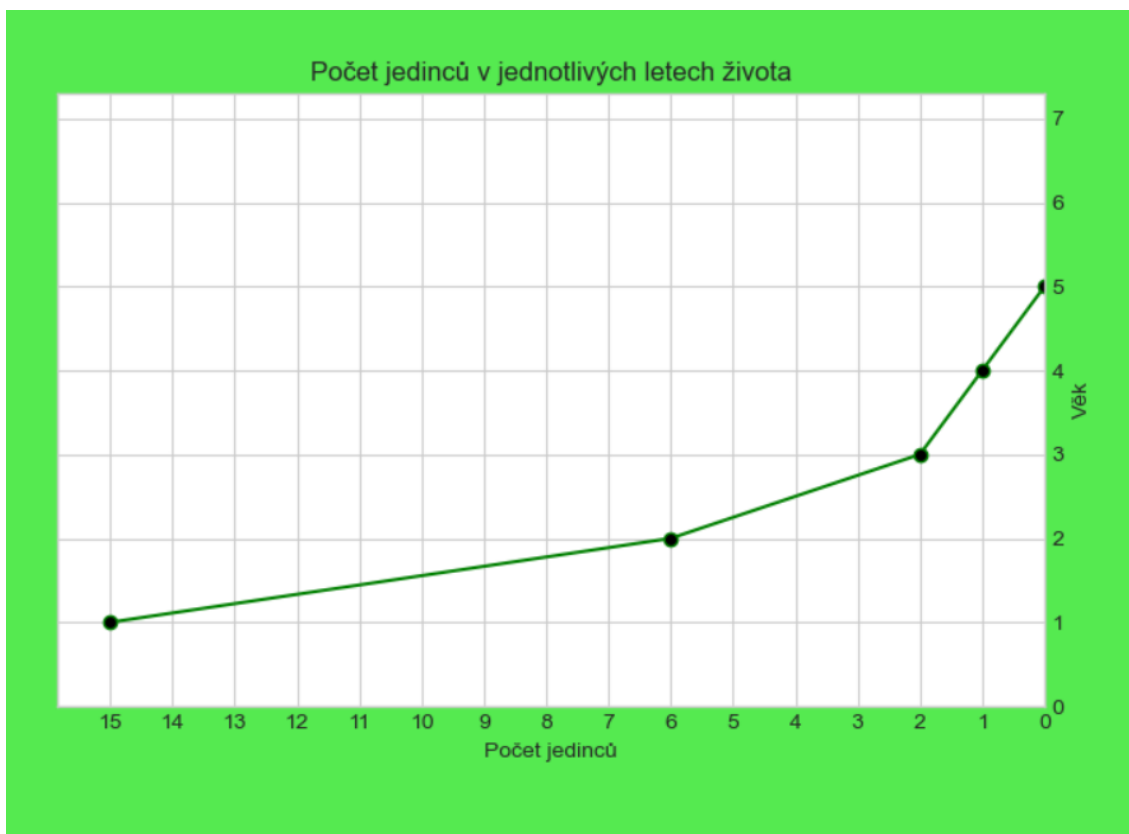
Pro tento koeficient očekávané produkce $K = 5$ nemáme dle tabulky č. 2 určené procentuální zastoupení samců, samic a mláďat. Koeficient odlovu selat R byl tedy odvozen dle předchozího trendu výsledků, jak je určeno v tabulce č. 3. V normovaném stavu budeme mít 34 samců, 34 samic a 32 mláďat. Přírůst vzhledem k vysokému koeficientu očekávané produkce $K = 5$ bude 170 jedinců a každoročně bude nutno odlovit 138 selat. Zároveň bude nutno ulovit 16 samců a 16 samic. Dle grafu č. 4 každoročně ulovíme devět jednorozných kňourů, tři dvouleté kňoury, dva tříleté kňoury a jednoho čtyřletého kňoura a jednoho šestiletého kňoura. Při těchto hodnotách vstupních parametrů nedocílíme odlovu osmiletého kňoura. Toto chování matematického modelu je dále diskutováno v příslušné kapitole 6.

Kompletní výstup programu pro příklad č. 3 je uveden v příloze č. 3.

5.3.4 Příklad č. 4

V posledním, čtvrtém příkladě určujeme poměr pohlaví $S = 0,5:1$ ve prospěch bachyní. Koeficient očekávané produkce je nastaven na 3,5, normovaný stav $N = 100$ a s cílem mít v populaci trofejového kňoura ve věku 7 let.

Výsledek je zobrazen v grafu č. 5. Za těchto vložených podmínek vstupních koeficientů, je dle výsledků programu obtížné mít v populaci šestileté a sedmileté kňoury. V normovaném stavu budeme mít 23 samců, 46 samic a 31 selat. Vzhledem k velkému množství samic, budeme mít každoroční přírůst 162 mláďat. Každoročně ulovíme 9 jednoletých kňourů, 4 dvouleté kňoury, a po jednom tříletém a čtyřletém. Neulovíme už ale žádného pětiletého, šestiletého a sedmiletého kňoura, tudíž nedosáhneme stanoveného cíle odlovu trofejového jedince. V kapitole 6 je tento příklad podrobněji rozebrán.



Graf č. 5: Věková pyramida kňourů $K=3,5$, $S=0,5:1$, $N=100$, $V=7$

Kompletní výstup programu pro příklad č. 4 je uveden v příloze č. 4.

5.4 Stanovení normovaného stavu N při požadavku ulovit M jedinců v cílovém věku V

Další funkcionalitou programu je stanovení struktury samčí populace, kdy chceme lovit kňoury nejen v cílovém věku V , ale také jejich určitý počet M . Program to umožňuje přepnutím funkcionality v části, kde se zadávají vstupní proměnné – funkcionalita byla popsána v kapitole 4. Abychom mohli stanovit počet jedinců M v cílovém věku V , je nutné upravit výchozí vzorec pro stanovení počtu jedinců x . V tomto případě je neznámou proměnnou normovaný stav N . Úprava vychází z práce Hromase a Zacha (1978), vzorec byl ovšem modifikován, dle odvození z podkapitoly 5.2.

$$N = \frac{x \cdot [V - \ln(2 \cdot V + 1)] \cdot [S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}]}{\frac{K}{K \cdot R + 2} \cdot [1 - \ln(2 \cdot V + 1)] + S \cdot (1 - \frac{1}{V})}$$

Za x dosadíme vstupní proměnnou M a vyjde nám konečná podoba vzorce. Potřebujeme tudíž zjistit, jaký musí být normovaný stav zvěře N , abychom mohli lovit určitý počet jedinců M v cílovém věku V :

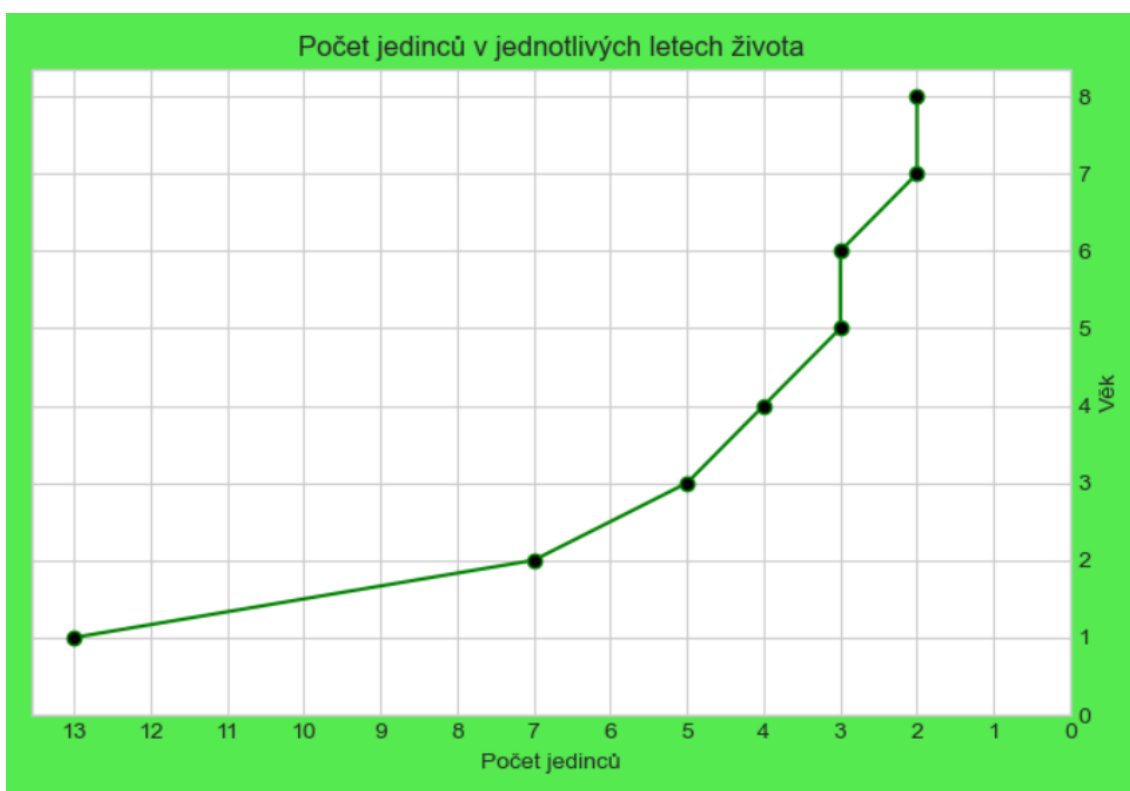
$$N = \frac{M \cdot [V - \ln(2 \cdot V + 1)] \cdot [S + 1 + \frac{2 \cdot K}{K \cdot R + 2}]}{\frac{K}{K \cdot R + 2} \cdot [1 - \ln(2 \cdot V + 1)] + S \cdot (1 - \frac{1}{V})}$$

Jako příklad si určíme, že každoročně chceme lovit 2 jedince v cílovém věku 8 let. Jako vstupní proměnné použijeme poměr pohlaví $S = 1:1$, koeficient očekávané produkce $K = 3,5$, cílový věk kňoura $V = 8$ let a počet jedinců $M = 2$. Koeficient odlovu selat R bude v tomto případě 2,43 (tato hodnota je automaticky dopočítaná programem).

Dle výsledků v programu bude cílová populace mít v normovaném stavu 104 jedinců. Z toho bude 39 kňourů, 39 bachyní a 26 mlád'at. Každoročně se narodí 136 mlád'at, z toho 110 mlád'at ulovíme. Zároveň ještě musíme ulovit 26 jedinců

v dospělé populaci, čímž odlovíme zbytek přírůstu. V tomto případě ulovíme 13 kňourů a 13 bachyní.

Z grafu č. 6 můžeme stanovit, že každoročně ulovíme 6 jednoletých kňourů, 2 dvouleté kňoury, po jednom tříletém, čtyřletém a šestiletém kňourovi a dosáhneme cíle, kdy každoročně ulovíme 2 osmileté kňoury. Kompletní výstup programu pro tento případ, je uveden v příloze č. 5.



Graf č. 6: Věková pyramida kňourů pro $K=3,5$, $S = 1:1$, $V=8$, $M=2$

6 Diskuze

Vytvořený počítačový program umožňuje zadání kombinace různých hodnot vstupních proměnných, a to koeficientu očekávané produkce K , normovaného stavu zvěře N , poměru pohlaví S , věku cílového kňoura V a dodatečně počtu jedinců M v cílovém věku V . Na základě těchto vstupních proměnných je pomocí matematických metod navržena optimální struktura populace černé zvěře a její doporučený odlov.

Pro příklad č. 1 a příklad č. 2 byly zvoleny standardní hodnoty vstupů. Cílový věk $V=9$, byl zvolen na základě tvrzení autorů Vodňanského et al. (2003), kteří konstatují, že důkazem správného a přirozeného hospodaření se stavy černé zvěře je dostatečný počet kňourů ve věku zhruba 8 let. Dle výstupů z programu a grafů č. 2 a 3 je většina odlovu směřována v populaci selat (celých 80 % každoročního přírůstu) a lončáčích, ve vyšším věku se dělá jen průběrný odstřel. Vytvořený matematický model tedy dokáže navrhnout optimální strukturu populace černé zvěře na základě vložených vstupních proměnných tak, aby výsledky v normovaných stavech byly v souladu s vyhláškou č. 491/2002 Sb., a zároveň aby bylo možné odlovit určitý počet jedinců v cílovém věku V .

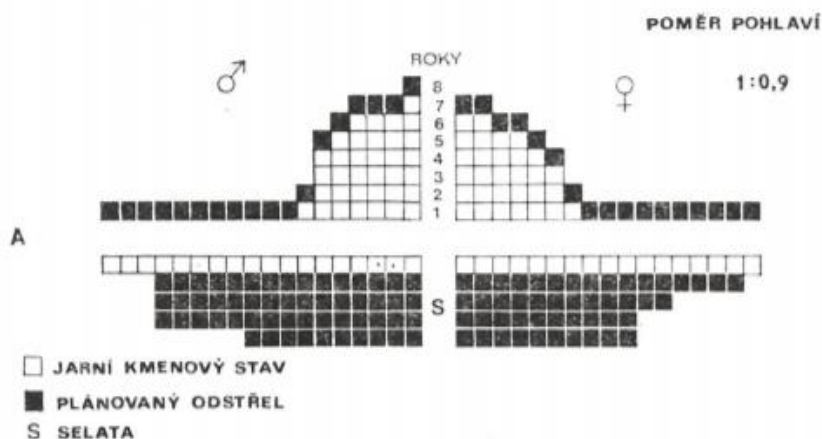
V příkladu č. 3 byl použit vysoký koeficient očekávané produkce $K=5$. Podle prvotního pohledu na graf č. 4 lze usuzovat, že se jedná o limitaci matematického modelu a vytvořeného programu, jelikož nebylo dosaženo vytyčeného cíle odlovit osmiletého kňoura. Důvod, proč byl použit koeficient očekávané produkce $K=5$, vychází z tvrzení Vosátky (2013) a Gethöffera et al. (2007), kteří udávají, že se mláďata mohou zapojit do reprodukce již v prvním roce života. Tento předpoklad ve vstupních proměnných vytvořeného modelu chybí. V případě, že se mláďata zapojí do reprodukce, tak se zároveň zvýší koeficient očekávané produkce. Ve variabilním modelu byl tento faktor aplikován navýšením koeficientu očekávané produkce na hodnotu z příkladu č. 3.

Tato situace ovšem nastává v případě, kdy je narušená optimální struktura populace černé zvěře. Vytvořený matematický model ovšem předpokládá, že je populace optimální a má díky správnému hospodaření s černou zvěří správnou strukturu. Fungují zde přírodní zákony, které například definoval Feuereisel (2003), jež dle svého zkoumání konstatoval, že říjnou tlupu většinou ovládne nejsilnější z kňourů žijící v okolí a pokládá vzrůstem odpovídající a silné bachyně. Zároveň také pomíjí nevyspělé letošní a loňské bachyňky a tím proběhne jejich říje naprázdno. Nejsilnější kňour rovněž odhání slabší kňoury, kteří

by se tyto mladé bachyňky snažili oplodnit. Tím dochází k přirozené kontrole plodnosti. S tímto předpokladem bylo počítáno v našem modelu, jelikož dle předchozích výstupů z programu budeme mít při uvážlivém a plánovaném odstřelu černé zvěře optimální strukturu populace a tento silný kňour se tudíž v okolí bude nacházet. Lze tedy konstatovat, že byl porušen základní předpoklad vytvořeného variabilního modelu a chování modelu v tomto případě není směrodatné. Je důležité poznamenat, že se jedná o jednu z možných kombinací experimentálních vstupních proměnných.

V příkladu č. 4 byl upraven poměr pohlaví $S = 0,5:1$ ve prospěch bachyní. Zde lze pozorovat netypický průběh křivky, který se téměř rovná aktuální situaci kňourů v populaci černé zvěře. Z důvodu podstatného nepoměru pohlaví v populaci nebude uloven žádný trofejový kňour. Výsledek programu se dá také interpretovat v souvislosti se snahou plošně snižovat stavy černé zvěře bez ohledu na věk lovených kňourů – za těchto podmínek je poté v populaci tak velký nepoměr pohlaví, jež byl uveden jako vstupní parametr pro výpočet chovatelské pyramidy.

Pro porovnání výsledků variabilního modelu s ostatními pyramidami pro černou zvěř, byly v literatuře hledány odpovídající modely populace černé zvěře. V publikaci Wolfa a Rakušana (1977) se nachází věková pyramida černé zvěře, která je zobrazena na obrázku č. 6. Tato věková pyramida je v předpokladech velice blízko výsledku z příkladu č. 2. Autoři tuto pyramidu ale sestavili empiricky, bez použití matematických metod. Dle obrázku č. 6 očekávali Wolf a Rakušan (1977) přírůstek ve výši 280 % z kmenového stavu zvěře, a to v poměru pohlaví 1:0,9. V tomto případě počítali



Obrázek č. 6: Věková pyramida černé zvěře (Zdroj: Wolf a Rakušan, 1977)

v populaci s 53 kusy samčího a 47 kusy samičího pohlaví. Celkově je při zmíněných předpokladech každoroční přírůst v počtu 140 setat, z toho 67 bachyněk a 73 kňourků. V součtu mají tedy 240 kusů černé zvěře před odlovem. V modelu mají dospělé kňoury od 5 let v počtu 16 kusů, dospívající kňoury ve věku od 2 do 4 let v počtu 19 kusů a mladé jednoleté kňoury v počtu 18 kusů. Zároveň je stanoveno, že se z kmenového stavu uloví 18 kusů samčího pohlaví, kde 1 kňour bude trofejový osmiletý kňour, dále 3 sedmiletí a po jednom šestiletém a pětiletém. Z mladé samčí počítají s odstřelem 1 dvouletého kňourka, přičemž se jedná o odstřel průběrný a s odstřelem 11 jednoletých kňourků. Je tedy ještě nutno ulovit 105 setat v poměru 55:50. Autoři předpokládají každoroční odstřel ve výši 75 % narozených setat.

V porovnání s výsledkem dle příkladu č. 2 byl každoroční přírůst 144 setat a bylo stanoveno, že se uloví 80 % narozených setat, tudíž o 5 % více než v diskutovaném případě. Podstatný rozdíl je v odlovu dvouletých kňourů, kde Wolf a Rakušan (1977) navrhuje ulovit pouze 1 dvouletého kňoura, v porovnání s výsledkem z příkladu č. 2, je navrženo ulovit 3 dvouleté kňoury. Vodňanský et al. (2003) ve své práci upozorňují, že by dvouletí kňouři měli být loveni v minimálním počtu, tj. v uvedeném příkladě č. 2 bychom měli tento odlov posunout do vyššího věku a tyto dvouleté kňourky si v populaci zachovat. Tento výsledek v grafu č. 3 vychází z hlavního předpokladu, a to použití hyperbolické křivky. Variabilní model musí fungovat pro různé kombinace vstupních proměnných, proto v některých případech dochází k těmto hraničním situacím. Zde je již na schopnostech koncového uživatele programu, tyto dané situace posoudit a výsledný odstřel upravit.

7 Závěr

Cílem práce bylo pomocí matematických metod zpracovat metodiku plánování odstřelu prasete divokého, při zohlednění počtu jedinců v populaci, poměru pohlaví, koeficientu očekávané produkce a cílového věku trofejových kňourů.

V teoretické části jsou popsány důvody intenzivního rozmnožování černé zvěře a její populační dynamika. Jsou zde uvedeny studie populační struktury černé zvěře od různých autorů.

V praktické části je pomocí matematických metod určen vzorec pro výpočet chovatelské pyramidy prasete divokého. Na základě poznatků a vzorců Hromase a Zacha (1977, 1978) byl odvozen vzorec pro výpočet odlovu prasete divokého v jednotlivých letech života. Byl zaveden nový koeficient R , který respektuje rozdílný průběh hyperbolické křivky pro populaci černé zvěře v porovnání s populací jelení zvěře.

Pro realizaci chovatelské pyramidy byl vytvořen počítačový program v programovacím jazyce Python, který při zadání vstupních parametrů – počtu jedinců v populaci N , koeficientu očekávané produkce K , poměru pohlaví S a cílového věku kňourů V vypočte optimální strukturu populace s návrhem na odlov v jednotlivých letech života kňourů. Zároveň je vypočítán počet selat a bachyní v normovaném stavu a jejich doporučený odlov. Další funkcionalitou programu je výpočet chovatelské pyramidy, pro případ, kdy je požadováno ulovit určitý počet jedinců M v daném věku V . Program vypočte optimální počet jedinců v normovaném stavu, aby bylo dosaženo stanoveného cíle odlovu trofejových kňourů.

Vytvořený program, který je součástí bakalářské práce, může být využíván v oborách s chovem černé zvěře. Zaměstnanec obory může program využívat pro správné plánování chovu a lovu černé zvěře. Program mohou využívat rovněž myslivečtí hospodáři v případě, že ve své honitbě mají určeny normované stavy černé zvěře.

Možnosti pokračování této bakalářské práce jsou v rozšíření vytvořeného programu o další spárkatou zvěř, kdy po zadání vstupních parametrů bude automaticky vypočítána chovatelská pyramida pro daňčí, jelení, mufloní a kamzičí zvěř. Tato funkcionalita může být doprogramována v rámci dodatečného modulu ve vytvořeném programu.

8 Seznam literatury a použitých zdrojů

BEDNÁŘ, Vladimír, Jaroslav ČERVENÝ, Jan DVOŘÁK, et al. *Penzum: myslivost pro teorii a praxi*. XV. vydání. Praha: Druckvo, spol. s r.o., 2018. Myslivosť pro praxi. ISBN 978-80-87668-36-8.

BIEBER, C. a T. RUF. Population dynamics in wild boar *Sus scrofa*: ecology, elasticity of growth rate and implications for the management of pulsed resource consumers. *Journal of applied ecology* [online]. 2005, **42**(6). ISSN 00218901.

Carnevali, Lucilla & Pedrotti, Luca & Riga, Francesco & Toso, S. (2009). Ungulates in Italy: Status, distribution, abundance, management and hunting of Ungulate populations in Italy - Report 2001-2005. *Biol. Cons. Fauna*. 117. 1-168.

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD [ČSÚ]. Základní údaje o honitbách, stavu a lovu zvěře - od 1. 4. 2018 do 31. 3. 2019 [online]. Praha: Český statistický úřad.

FEUEREISEL, J. 2003. Vliv sociální struktury na populační dynamiku černé zvěře. *Myslivosť*, 2003 (7): 14

FERNANDEZ-LLARIO, P. a P. MATEOS-QUESADA. Population structure of the wild boar (*Sus scrofa*) in two Mediterranean habitats in the western Iberian Peninsula. *Folia Zoologica (Czech Republic)* [online]. 2003, **42**(2), 143-148. ISSN 01397893.

FOCARDI, S., S. TOSO a E. PECCHIOLI. The population modelling of fallow deer and wild boar in a Mediterranean ecosystem. *Forest Ecology and Management (Netherlands)* [online]. 1996, **88**(1-2), 7-14. ISSN 03781127.

GEISSER, Hannes a Heinz-ulrich REYER. The influence of food and temperature on population density of wild boar *Sus scrofa* in the Thurgau (Switzerland). *Journal of Zoology* [online]. 2005, **267**(1), 89-96. DOI: 10.1017/S095283690500734X. ISSN 09528369.

GETHÖFFER, Friederike, Gunter SODEIKAT a Klaus POHLMAYER. Reproductive parameters of wild boar (*Sus scrofa*) in three different parts of Germany. *European*

Journal of Wildlife Research [online]. 2007, **53**(4), 287-297. DOI: 10.1007/s10344-007-0097-z. ISSN 16124642.

HAGEN, R., HAYDN, A., SUCHANT, R., 2018. Estimating red deer (*Cervus elaphus*) population size in the Southern Black Forest: the role of hunting in population control. *European Journal of Wildlife Research*, **64**(4). doi:10.1007/s10344-018-1204-z.

HANZAL, Vladimír. *Myslivost I*. I. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze ve spolupráci s Druckvo, spol. s r.o., 2016. ISBN 978-80-213-2637-8.

HERRERO, Juan, Alicia GARCÍA-SERRANO a Ricardo GARCÍA-GONZÁLEZ. Reproductive and demographic parameters in two Iberian wild boar *Sus scrofa* populations. *Acta Theriologica* [online]. 2008, **53**(4), 355-364. ISSN 00017051.

HLADÍKOVÁ, Blažena, Jiří ZBOŘIL a Emil TKADLEC. Populační dynamika prasete divokého (*Sus scrofa*) na střední Moravě (Artiodactyla: Suidae). *Lynx, series nova* [online]. 2008, **39**(1), 55-62. ISSN 00247774.

HROMAS, J.: Vývoj populací zvěře v České republice. *Myslivost*, 2003, č.2.

HROMAS, J.: Situace černé zvěře v ČR. *Myslivost*, 2005, č.4.

HROMAS, J., ZACH, J., 1977. Metoda stanovení struktury normovaných stavů zvěře. *Folia venatoria*, 7: 241 – 254.

HROMAS, ZACH, J., 2001. Normální zastoupení samčí spárkaté přežvýkavé zvěře ve věkových stupních a třídách včetně jejich plánovitých převodů. *Folia Venatoria*, 30-31: 235-242.

MASSOLO, Alessandro a Roberto mazzoni DELLA STELLA. Population structure variations of wild boar *Sus scrofa* in central Italy. *Italian Journal of Zoology* [online]. 2006, **73**(2), 137-144. DOI: 10.1080/11250000600727717. ISSN 11250003.

MERLI, Enrico a Alberto MERIGGI. Using harvest data to predict habitat-population relationship of the wild boar *Sus scrofa* in Northern Italy. *Acta Theriologica* [online]. 2006, **51**(4), 383-394. ISSN 00017051.

MERTA, Dorota, Bogusław BOBEK, Marzena ALBRYCHT a Jakub FURTEK. Age structure and sex ratio in wild boar (*Sus scrofa*) populations as determined by

observations of free-roaming populations and by harvests of collective hunts in southern Poland. *European journal of wildlife research* [online]. 2015, **61**(1). DOI: 10.1007/s10344-014-0867-3. ISSN 16124642.

SCANDURA, M., L. IACOLINA a M. APOLLONIO. Genetic diversity in the European wild boar *Sus scrofa*: Phylogeography, population structure and wild x domestic hybridization. *Mammal Review* [online]. 2011, **41**(2), 125 - 137. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2010.00182.x. ISSN 13652907.

SERVANTY, Sabrina, Jean-michel GAILLARD, Francesca RONCHI, Stefano FOCARDI, Éric BAUBET a Olivier GIMENEZ. Influence of harvesting pressure on demographic tactics: implications for wildlife management. *Journal of Applied Ecology* [online]. 2011, **48**(4), 835-843. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2011.02017.x. ISSN 00218901.

TKADLEC, E.: Stavý černé zvěře: vrcholu jsme ještě nedosáhli. *Svět myslivosti*, 2007, 10/07.

VODŇANSKÝ, M.: Zásady správného hospodaření s černou zvěří. *Myslivost*, 2003, č.9, s.10-13.

VODŇANSKÝ, M., KRČMA, J., ZABLOUDIL, F. *Zhodnocení vývoje populace černé zvěře a vypracování návrhů na její účinnou regulaci*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Institut ekologie zvěře, 2003, 34 s.

VOSÁTKA, Josef. *Myslivost: ochrana přírody, chov zvěře a zvířat, lov*. Ilustroval František LIEBL, ilustroval Miroslav MÍČA, ilustroval Bohumil SIEGL. Praha: Druckvo, 2013. *Myslivost pro praxi*. ISBN 9788087668085.

WOLF, Robert. *Rukojet' chovu a lovu černé zvěře*. Písek: Matice lesnická, 1995. ISBN 80-900042-2-9.

WOLF, Robert a Ctirad RAKUŠAN. *Černá zvěř*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1977. *Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství*.

ZACH, J., HROMAS J., 1978. Možnosti použití matematických metod při plánování plynulého lovu trofejové zvěře v myslivecké praxi. *Folia venatoria*, 8: 71-88.

ZBOŘIL, J.: *Myslivecká statistika za rok 2016*. *Myslivost*, 2017.

9 Seznam příloh

Příloha č. 1: Výstup programu pro $K=3,5$, $S=1:1$, $N=50$, $V=9$

Příloha č. 2: Výstup programu pro $K=4$, $S=1:1$, $N=100$, $V=9$

Příloha č. 3: Výstup programu pro $K=5$, $S=1:1$, $N=100$, $V=8$

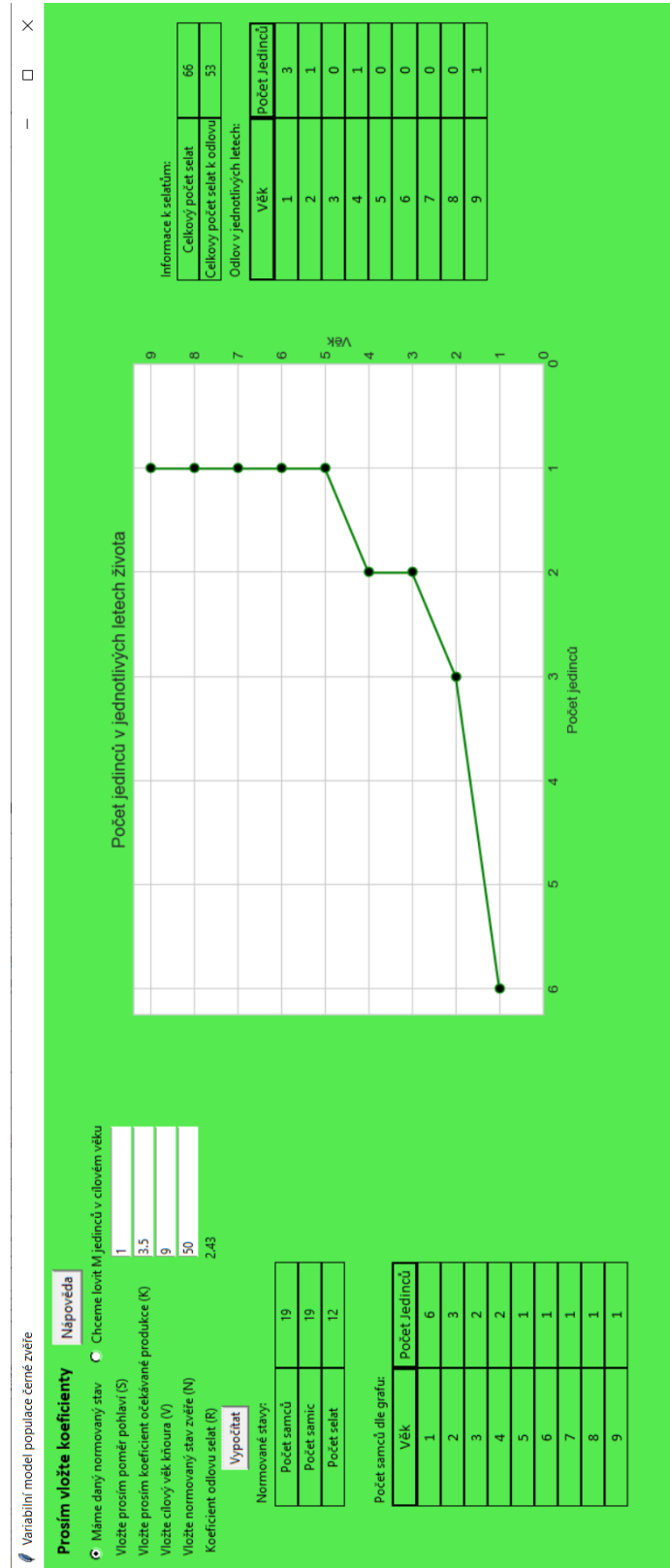
Příloha č. 4: Výstup programu pro $K=3,5$, $S=0,5:1$, $N=100$, $V=7$

Příloha č. 5: Výstup programu pro $K=3,5$, $S = 1:1$, $V=8$, $M=2$

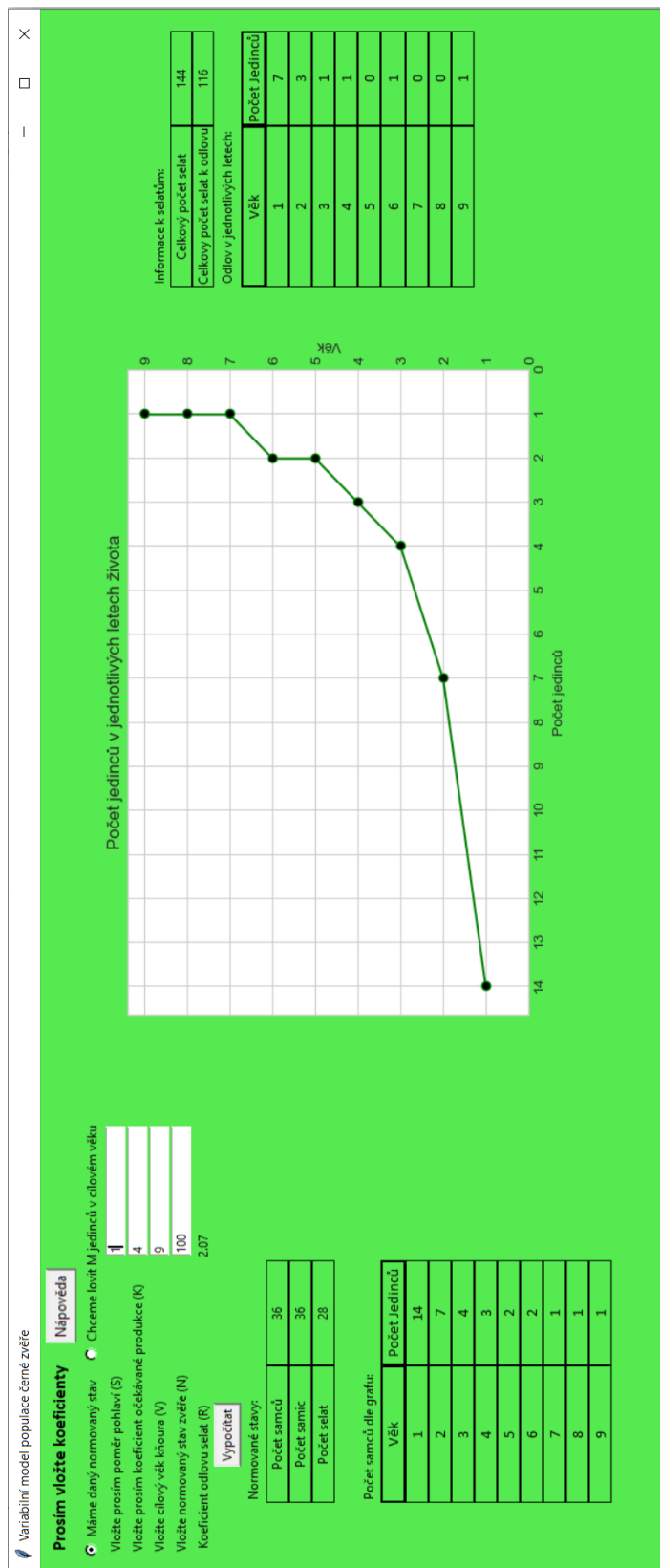
Příloha č. 6: Obsah přiloženého CD

Přílohy

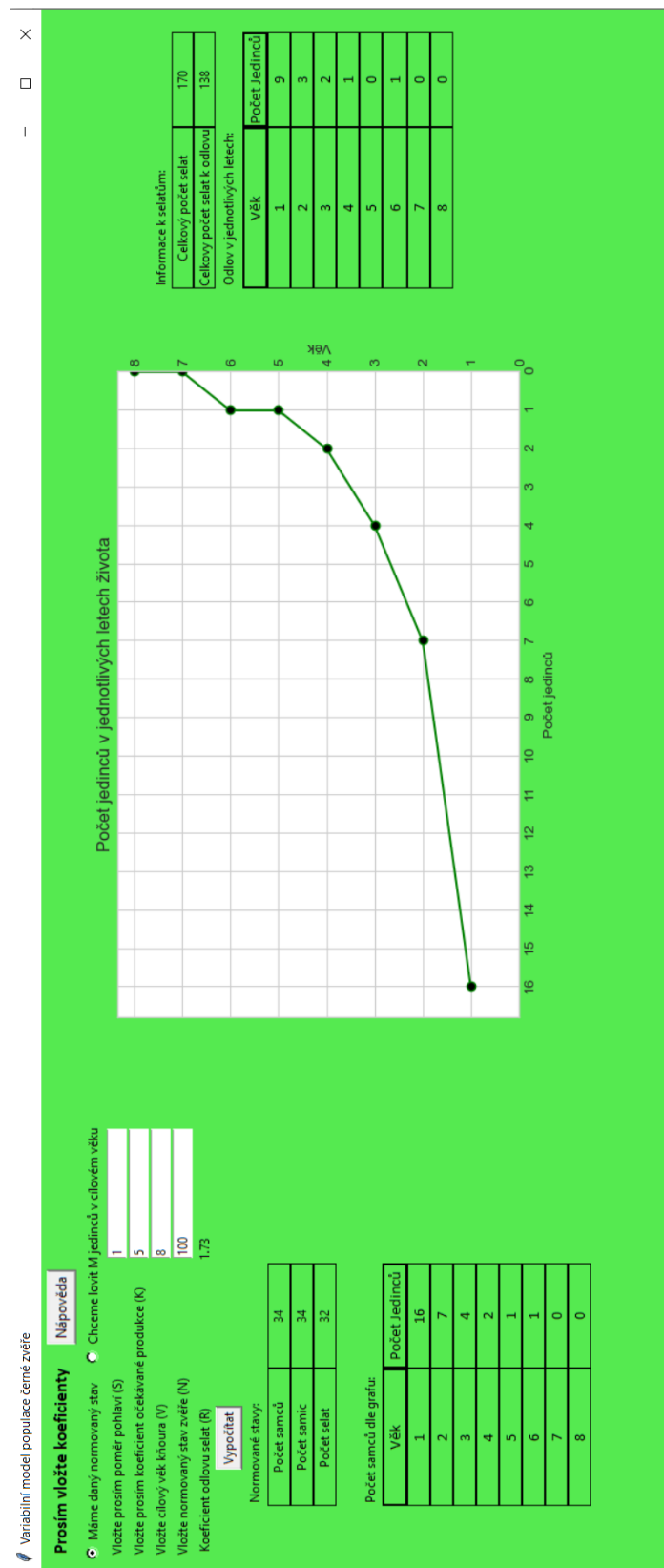
Příloha č. 1: Výstup programu pro K=3,5, S=1:1, N=50, V=9



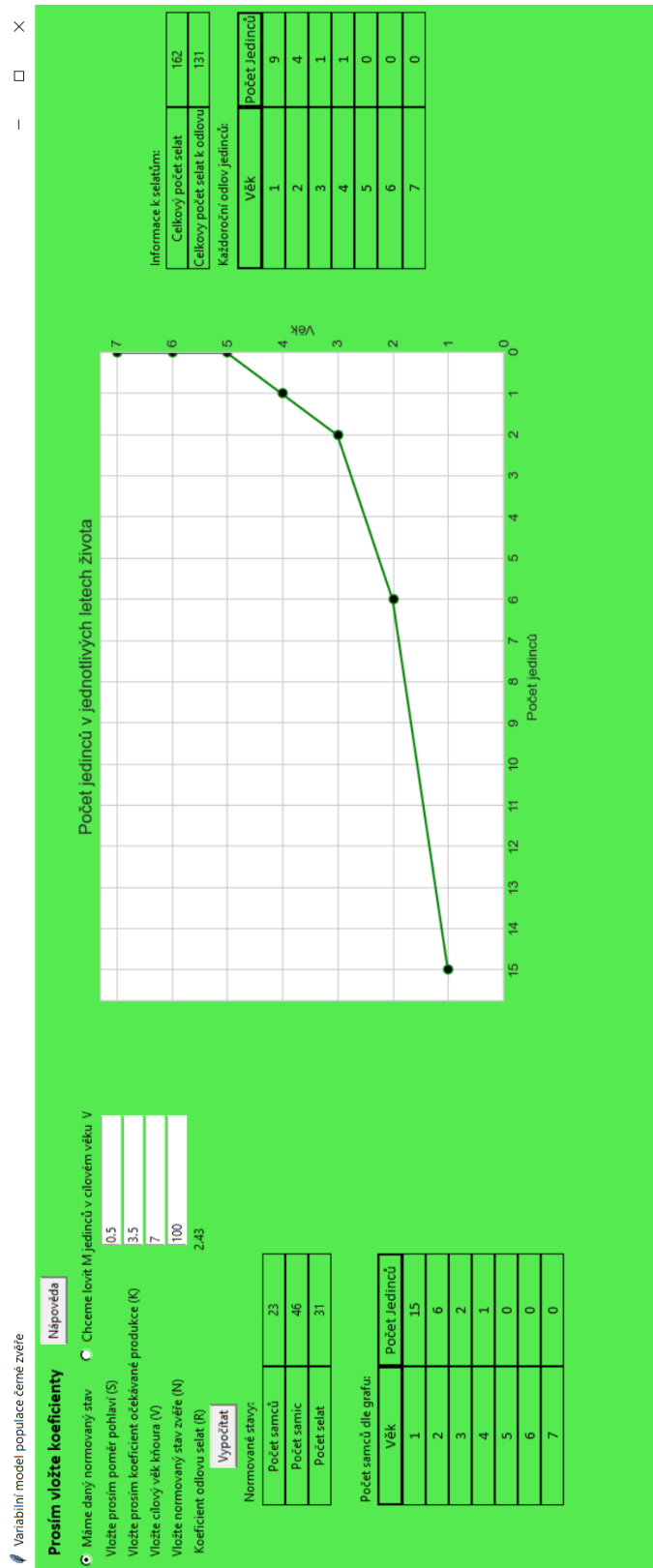
Příloha č. 2: Výstup programu pro K=4, S=1:1, N=100, V=9



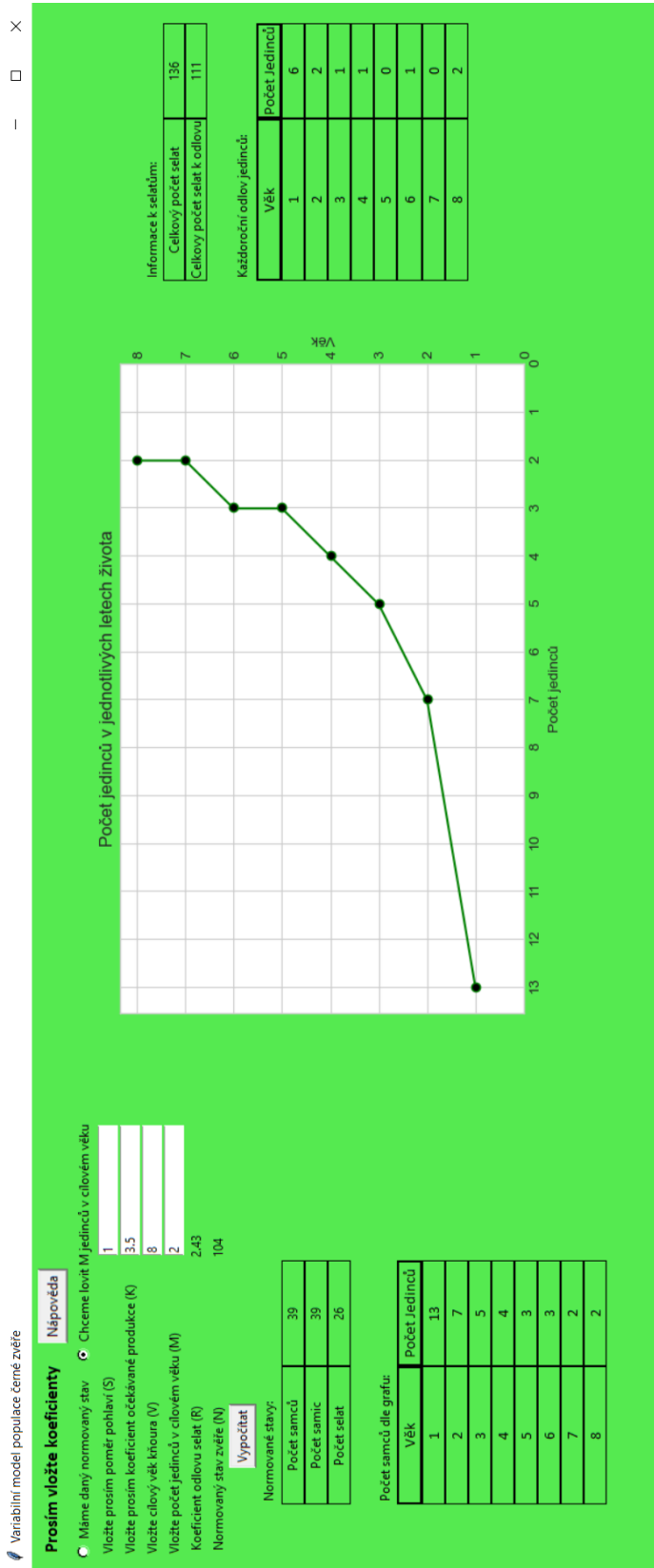
Příloha č. 3: Výstup programu pro $K=5$, $S=1:1$, $N=100$, $V=8$



Příloha č. 4: Výstup programu pro $K=3,5$, $S=0,5:1$, $N=100$, $V=7$



Příloha č. 5: Výstup programu pro $K=3,5$, $S = 1:1$, $V=8$, $M=2$



Příloha č. 6: Obsah přiloženého CD

Readme.txt – stručný obsah CD

VariableModel.py – zdrojový kód v programovacím jazyce Python

VariabilniModel_CernaZver.exe – program aplikace variabilního modelu černé zvěře ve formátu .exe