

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra obecné zootechniky a etologie**



**Dědičnost mutace Red-Eyed Devil u potkana  
v zájmovém chovu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Markéta Čacká**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Lukáš Jebavý, CSc.**

© 2013 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Dědičnost mutace Red-Eyed devil u potkana v zájmovém chovu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 9. 4. 2013 \_\_\_\_\_

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Evě Dudíkové a René Bastiaansovi za informace, chovatelkám Ing. Haně Havránkové, Miroslavě Veselé, Věrice Kabrdové, Mgr. Barboře Veselé a Karolíně Šormové za poskytnutí dat o provedených vrzích, a svému vedoucímu diplomové práce, doc. Ing. Lukáši Jebavému, CSc., za podporu.

# Dědičnost mutace Red-Eyed Devil u potkana v zájmovém chovu

---

## Heredity of Red-Eyed Devil mutation in pet Norway rats

### Souhrn

Práce se zabývá mutací zbarvení nově objevenou u potkanů (*Rattus norvegicus*) chovaných v zájmovém chovu. Pro nové zbarvení je charakteristická tmavá barva srsti, zatímco oči jsou jasně červené. Cílem práce bylo zjistit, jakým způsobem se mutace red-eyed devil dědí, a ověřit hypotézu, že nové zbarvení je mutací v genu kódujícím tyrosinázu. Za tímto účelem byla provedena statistická analýza 14 vrhů, která potvrdila, že skutečný štěpný poměr fenotypů se neliší od očekávaného štěpného poměru stanoveného na základě hypotézy dalšího prvku alelické série na lokusu C.

**Klíčová slova:** potkan, zájmový chov, mutace, kuní zbarvení

### Summary

The subject of this work is newly discovered colour variation of fancy rats. The main characteristic of this variation is dark tone of fur color, while eyes are bright red, the so called "red-eyed devil". The main focus is on heredity of red-eyed devil mutation. Main hypothesis is that the mutation is in the tyrosinase coding gene. For this task, a statistical analysis of 14 fancy rat litters was performed, which confirmed that the real and expected phenotypic ratio do not differ, based on hypothesis concerning the next element of alelic series of the C-locus.

**Keywords:** fancy rat, mutation, marten colour, red-eyed devil

## Obsah

1. Úvod.....	7
2. Cíl práce a hypotéza.....	8
2.1 Hypotéza.....	8
3. Literární rešerše .....	9
3.1 Specifika zájmového chovu potkanů .....	9
3.1.1 Ubikace .....	9
3.1.2 Výživa .....	10
3.1.3 Reprodukce .....	11
3.1.4 Identifikace zvířat.....	12
3.2 Přehled mutací vzhledu v zájmovém chovu .....	13
3.2.1. Variety dle stavby těla.....	13
3.2.2 Variety dle typu srsti .....	15
3.2.3 Bílá kresba .....	17
3.2.4 Barva srsti.....	19
3.2.5 Barevné efekty .....	23
3.2.6 Stínování a související zbarvení.....	24
3.3 Mutace red-eyed devil.....	27
3.3.1 Historie mutace .....	27
3.3.2 Popis zbarvení.....	28
3.3.3 Genetika kuního zbarvení.....	31
3.3.4 Kuní zbarvení ve Standardu zbarvení a variet potkanů .....	34
4. Materiál a metody.....	35
5. Výsledky .....	37

6. Diskuze .....	42
6.1 Působení mutace red-eyed devil.....	43
7. Závěr.....	44
8. Použitá literatura.....	45
9. Seznam obrázků a tabulek.....	49
9.1 Seznam obrázků.....	49
9.2 Seznam tabulek.....	50
10. Přílohy.....	51
10.1 Přehled genů vzhledových mutací v zájmovém chovu .....	51
10.2 Vývoj kuního zbarvení s postupujícím věkem .....	52
10.3 Přehled vrhů mutace red-eyed devil.....	53
10.4 Faksimile rodokmenu vrhu VP5 Utahraptor .....	58

## 1. ÚVOD

Potkani (*Rattus norvegicus*) jsou nejen oblíbený laboratorní model a krmivo pro terarijní zvířata, ale hrají velkou roli i jako domácí mazlíčci. Jejich výhody jsou nesporné, jsou poměrně inteligentní a relativně nenároční na prostor, výživu i angažovanost majitele. Jsou vhodné do bytových jednotek i k dětem. Není tedy divu, že se chov potkanů rozmáhá a organizuje.

Nicméně někteří lidé mají stále k potkanům averzi, zejména pokud je v původním, divokém zbarvení. Proto je pro zájmové chovatele klíčové odchovávat potkany v různých mutacích vzhledu, kterými se od původní formy odlišují a nevzbuzují u lidí takové obavy. Každá nová mutace vzhledu, zejména pokud je subjektivně lidmi vnímána jako líbivá, je okamžitě středem zájmu chovatelů.

Pro výběr vhodných rodičovských zvířat je nutné mít obecné znalosti zákonů dědičnosti a pak také samozřejmě znát konkrétní způsob dědění kýženého znaku. U nových mutací je tedy důležité zjistit, jakým způsobem se na potomky přenáší. V zájmovém chovu se obvykle postupuje metodou pokus – omyl a rodiče vrhu se často vybírají spíše na základě subjektivních domněnek než objektivně zjištěných faktů.

## 2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA

Cílem práce je průzkum dědičnosti nové mutace barvy srsti u potkanů, která se označuje jako mutace red-eyed devil. Tato mutace způsobuje u potkanů charakteristický vzhled, zvířata mají srst tmavou, v odstínech šedé, zatímco oči mají jasně červené.

Práce je zaměřena na zájmový chov, který má své unikátní přístupy k chovu a výzkumu. V první řadě bylo potřeba vůbec definovat, co to je zájmový chov a jaké jsou jeho jedinečné rysy. Ty měly velký vliv na metodiku zkoumání nové mutace.

Velká část literární rešerše je věnována dosud známým vzhledovým mutacím u zájmově chovaných potkanů. Snaží se je zasadit do kontextu znalostí o jejich dědičnosti a mechanismu konkrétního působení, tedy toho, jak je možné, že ta která mutace má právě takový efekt na vzhled potkana a další jeho vlastnosti.

Hlavní část práce se potom soustředí na mutaci red-eyed devil. K ověření hypotézy o způsobu dědičnosti mutace byla využita statistická analýza uskutečněných vrhů, což je v zájmovém chovu poněkud netradiční přístup, obvykle se dědičnost nových mutací zkoumá jen náhodně a bez jasně formulovaných hypotéz.

Kromě statistické analýzy se práce věnuje nové mutaci jako takové, včetně její historie a popisu zbarvení, které mutace vyvolává. Dále se snaží porovnat novou mutaci s již známými mutacemi u potkanů či jiných druhů.

### 2.1 Hypotéza

Na základě pozorovaných skutečností a v souvislosti s obdobnými mutacemi u jiných zvířat byla stanovena hypotéza, že nová mutace je mutací v genu kódujícím tyrosinázu. Tedy že se nejedná o nový mutovaný gen, ale jde o další prvek alelické série již známého genu.



## 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Specifika zájmového chovu potkanů

Zájmovým chovem se obecně rozumí chov zvířat, kde cílem není hospodářský efekt, ale jedná se o zvířata využívaná lidmi jako společníci (zákon č. 246/1992 Sb.). Obvykle zájmový chov probíhá v běžných domácnostech a nikoliv ve speciálně k chovu vybudovaných místnostech či zařízeních. Jako takový má zájmový chov svá specifika a omezení, se kterými se v jiných typech chovů (pokusných nebo produkčních) nesetkáváme.

Zájmový chov potkanů je v České republice organizován v rámci Českého svazu chovatelů (ČSCH) především v Základní organizaci chovatelů morčat a jiných drobných hlodavců (ZO CHMH), která svou odborností spadá pod Ústřední odbornou komisi chovatelů morčat a jiných drobných hlodavců (ÚOK CHMH). ÚOK CHMH koordinuje chov potkanů a vydává doporučení či pravidla chovu. Pravidla chovu potkanů jsou pro členy ČSCH závazná a jsou součástí Standardu zbarvení a variet potkanů (dále jen Standard), který stanovuje ideální popis všech chovaných potkaních variet a barev.

**Obr. 1 Logo ÚOK CHMH (<http://potkani.rodent.cz>)**



#### 3.1.1 Ubikace

Potkani v zájmových chovech jsou umístováni do skupin rozdělených dle pohlaví. Počet jedinců ve skupině závisí na velikosti ubikace, většinou jde o 3 – 9 zvířat. Někteří chovatelé rozdělují i skupiny dle věku, kdy starší jedince umísťují do ubikací vybavených tak, že snižují riziko poranění starých a již ne tak pohyblivých zvířat.

Nejčastějším typem ubikace používaným v zájmovém chovu jsou kovové klece s plastovým dnem. Minimální rozměry ubikace pro dva potkany by měly odpovídat rozměru 60 x 40 x 50 cm (délka x šířka x výška), s tím, že se pro dospělá zvířata

nedoporučuje nejmenší rozměr ubikace pod 30 cm (Heinová et al., 2013). Pro srovnání, chov pokusných potkanů stanovuje pro jednoho potkana o váze nad 600 g minimální podlahovou plochu 600 cm<sup>2</sup> a minimální výšku ubikace 18 cm (vyhláška č. 419/2012 Sb.).

Klece bývají umístěny v domácnosti v běžných pokojových teplotách kolem 18° - 22°C a chovatelé se snaží vyhnout průvanu. K typickému vybavení klecí patří pístová nebo kuličková napáječka na vodu, keramické či kovové misky na krmivo a různé typy prolézaček, závěsné hamaky či tunely. Jako podestýlka se nejčastěji používají hobliny pro hlodavce, lisované dřevěné válečky a jiné typy podestýlek určené přímo pro potkany.

**Obr. 2** Typické vybavení ubikace pro 4 – 6 potkanů (foto autorka, 2012)



### 3.1.2 Výživa

K výživě potkanů v zájmových chovech se používají různé druhy krmiv. Jen málokterý chovatel používá speciální granule určené pro potkany ve velkochovech, většinou se buď nakupují hotové komerční směsi, nebo si někteří chovatelé krmnou směs sestavují sami. Potkani jsou krmeni ad libitum a často ještě kromě základní směsi příkrmováni různými pamlsky, což vede k obezitě a ke vzniku s ní souvisejících zdravotních problémů, mezi které mimo jiné patří potíže se zabřezáváním a porody u samic (Fox, 1983).

### 3.1.3 Reprodukce

Pro reprodukci se vybírají plně vzrostlá zvířata, samci musí mít alespoň 6 měsíců věku a váhu 450 g (s výjimkou některých variet), u samic je minimum 5 měsíců a 300 g, zároveň samice nesmí být starší 1,5 roku. Počet vrhů za život se u samic omezuje na 1 – 2, max. 3, samci mají povoleno krýt maximálně sedmkrát (Heinová et al., 2013). Kromě toho by zvířata určená pro další chov měla vzhledem odpovídat popisu variety a zbarvení danému Standardem. Chovatelé také dbají na to, aby pro další chov nepoužívali zvířata z linií se zdravotními problémy či s nevyrovnanými reakcemi na okolní podněty.

V zájmovém chovu se využívá převážně nepříbuzenská plemenitba, za kterou se u potkanů považuje minimum 3 generace bez společného předka. Z metod příbuzenské plemenitby se někdy využívá vzdálená příbuzenská plemenitba, pravidla chovu povolují v rodokmenu maximálně jedno individuální jméno dvakrát ve 3. generaci nebo jednou ve 2. a jednou ve 3. generaci (Heinová et al., 2013).

Pro připouštění se používá metoda individuálního připuštění tzv. „z ruky“, popřípadě dojde k dočasnému ubytování vybraného samce s jedinou samicí. Při připouštění „z ruky“ se samec a říjná samice vypustí na neutrální území, kde posléze dojde ke kopulaci. Tento způsob je výhodný, protože je známo přesné datum zabřeznutí. Samice i samec se potom vrací do svých domovských skupin.

**Obr. 3 Krytí v přepravce (foto autorka, 2008)**



Březost trvá v průměru 21 – 25 dnů. Den či dva před očekávaným datem porodu je březí samice oddělena zvlášť, protože odděleně rodící samice mívají více mléka a jejich mlád'ata větší přírůstky (Fox 1997). Jako porodní ubikace slouží menší klec nebo různé plastové boxy, které jsou vybaveny jen minimálně. Kromě misky na krmení a napáječky je nezbytné samici poskytnout materiál na stavbu hnízda.

Odchov probíhá nejprve odděleně, po druhém týdnu věku, kdy už mlád'ata otevřela oči, se obvykle samice i s mlád'aty přemístí do společné ubikace, aby se mlád'ata naučila soužití i s dalšími potkany. Odstav probíhá samovolně po dosažených 4 týdnech věku, obvykle se mlád'ata předávají novým majitelům v 5 týdnech.

**Obr. 4 Samice s mlád'aty** (foto autorka, 2008)



### 3.1.4 Identifikace zvířat

Jednotlivá zvířata se v zájmovém chovu identifikují jménem, které se sestává ze dvou částí. Jedna část je vlastní jméno potkana, druhá část obsahuje název chovatelské stanice, ze které potkan pochází. K identifikaci slouží také rodokmen, kde bývá kromě výpisu předků uveden popis konkrétního zvířete, tedy jeho varieta a typ zbarvení, někdy je i přiložena fotka. Vystřihávání srsti nebo značení speciálním fixem se nepoužívá kvůli výstavám, jiné způsoby značení chovatelé odmítají z etických důvodů. Identifikace zvířat je tedy poněkud vágní a nebrání záměně dvou zvířat totožného vzhledu, ale pro účely zájmového chovu stačí.

## 3.2 Přehled mutací vzhledu v zájmovém chovu

Pro zájmový chov je svým způsobem charakteristické šlechtění různých barevných či jiných odchylek od vzhledu původní formy. Cílem takového chovu je mimo jiné odchov zvířat v požadovaných barvách, různého typu srsti atd., tak, jak jsou stanovené Standardem.

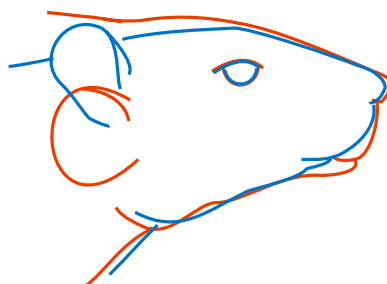
U potkanů se neseťkáváme s plemeny jako u jiných druhů zvířat (např. psi, kočky), což je způsobeno tím, že zatím nedošlo na striktní rozdělení na skupiny jedinců určitého typu, kteří by se dále rozmnožovali pouze mezi sebou. Stále tedy ještě dochází k výměně genů napříč celou populací zájmově chovaných potkanů. Tradičně se rozdělují vzhledové mutace na pět skupin - variety dle stavby těla a dle typu srsti, barvy, barevné efekty a typy bílé kresby (Heinová et al., 2013).

### 3.2.1. Variety dle stavby těla

Variabilita tvaru těla potkanů se nedá srovnat s variabilitou jiných domestikovaných druhů, jako jsou například psi. U psů za velkou část variability morfologických znaků mohou tři oblasti genů kvantitativních znaků (Boyko, 2010), kterými potkani buď nedisponují, nebo v nich zatím nedošlo k dostatečnému počtu mutací.

Běžně rozšířenou mutací ve stavbě těla je tzv. dumbo mutace, která byla nazvána podle animovaného filmu o slůněti Dumbo. Mutace se poprvé vyskytla u potkanů kmene Wistar a je autozomálně recesivní. Charakteristické jsou pro ni změny v postavení uší, které jsou umístěny pod linií očí (standardně jsou postaveny nad touto linií), uši jsou plošší a okrouhlé a celkově stavba lebky vykazuje odlišnosti, horní a dolní čelist je mírně zkrácená, hlava působí kratším a širším dojmem (Louryan et al., 2010). Za rozdíly ve stavbě hlavy je pravděpodobně zodpovědná odlišná exprese genů *Msx1* a *Dlx1* (Katerji et al., 2009).

**Obr. 5** Položení uší u variety standard (modře) a dumbo (kresba autorka, 2013)

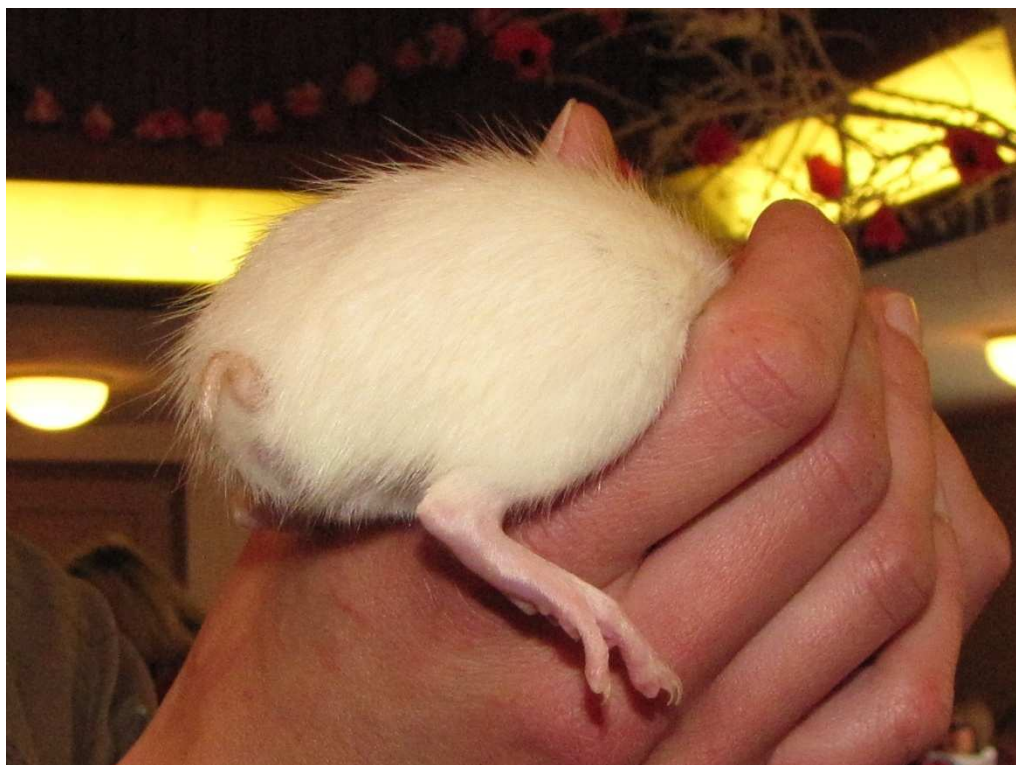




Další z autozomálně recesivních mutací je trpasličí mutace. Tito potkani se označují jako dwarf či minipotkan a vykazují obvyklé znaky dwarfismu, dosahují cca 1/3 velikosti normálních potkanů, v poměru k tělu mají kratší končetiny i ocas a velké až vypouklé oči (Heinová et al., 2013). Mutace se vyskytla poprvé v roce 1985 v chovné kolonii laboratorních potkanů kmene Lewis a způsobuje nedostatečnou sekreci somatotropinu (Charlton et al., 1988).

Sporadicky se v zájmovém chovu také vyskytují potkani s vrozenou deficiencí ocasu, která je někdy důsledkem chybného embryonálního vývoje a někdy se jedná o autozomálně recesivní mutaci. Potkani s touto mutací mohou kromě chybějícího ocasu trpět deformací pánve a zadních končetin, proto se tato mutace cíleně nechová a její záměrný odchov je považovaný minimálně za neetický, ne-li přímo hraničící s týráním zvířat.

**Obr. 6 Detail zadní části potkana s vrozenou deficiencí ocasu (foto autorka, 2011)**



### 3.2.2 Variety dle typu srsti

Standardní potkani mají hladkou přiléhavou srst, kterou tvoří krátká hustá podsada a dlouhá krycí srst. Mutací, které pozměňují strukturu srsti, je známo velké množství a ne všechny jsou zcela prozkoumány, panuje i nejistota, zda mutace chované v zájmovém chovu jsou totožné s mutacemi známými u laboratorních kmenů nebo se jedná o zcela jiné typy mutací s podobnými projevy. V zájmovém chovu se rozlišuje kudrnatá srst typu rex a velvetýn, bezsrsté variety fuzz a sphynx, dlouhosrstá, saténová a standardní srst.

Srst typu rex je zkadeřená a na pohmat hrubá, i vibrisy jsou zkroucené (Heinová et al., 2013). Jedná se o autozomálně semi-dominantní mutaci. Dominantní homozygoti jsou osrstění na hlavě, kolem kořene ocasu a na nohách, po těle jim roste srst řídká a bývá krátká, cyklicky může vypadávat a narůstat na různých místech. Dle popisu by se mohlo jednat o rexoidní mutaci popsanou v roce 1981, ale už v té době byly známy další čtyři podobné (Robinson, 1981).

Srst typu velvetýn je na první pohled podobná, od srsti typu rex se odlišuje tím, že je na dotek jemná a měkká, vibrisy bývají rovné a pouze na koncích stočené (Heinová et al., 2013). Mutace je autozomálně dominantní.

**Obr. 7 Srst typu rex** (foto autorka, 2011)



Pro bezsrstou varietu fuzz je charakteristická krátká jemná srst, která může v dospělosti chybět. Vibrisy jsou krátké a stočené. Zvířata s touto mutací jsou subtilnější než jiné variety a dosahují nižší váhy (Heinová et al., 2013). Mutace je autozomálně recesivní a jsou s ní spojeny problémy s odchovem mláďat, fuzz samice jsou méně mléčné a v průměru odchovají 2/3 vrhu oproti jiným varietám (Lužná, 2011).

Další bezsrstá mutace, sphynx, se v zájmovém chovu vyskytuje sporadicky. Sphynx potkani jsou prakticky holí, jen někdy se jim po těle vyskytují okrsky krátkých a tvrdých štětín. Mohou jim chybět i vibrisy, což potkanům neumožňuje normální orientaci v prostoru, a také často trpí na záněty očí v důsledku chybějících řas kolem oka. Mutace je autozomálně recesivní. Ani fuzz ani sphynx mutaci se nepovedlo ztotožnit s mutacemi v laboratorních chovech.

**Obr. 8 Bezsrstý potkan typu fuzz (foto autorka, 2012)**



Začátkem 21. století se v USA objevila nová mutace, která způsobuje srst výrazně delší, než u standardních potkanů (Gangi, 2009). Dlouhosrstí potkani mají jemnou a rovnou srst, nebo ji mohou mít mírně zvlněnou díky spolupůsobení rex nebo velvetyn genu (Heinová et al., 2013). V liniích dlouhosrstých potkanů se také často vyskytuje saténová mutace, pro kterou je charakteristický vysoký lesk srsti. Saténové chlupy obsahují uvnitř vzduch, a proto jinak odráží světlo (Heinová et al., 2013). Obě mutace jsou autozomálně recesivní a pravděpodobně se vyskytují pouze v zájmovém chovu.

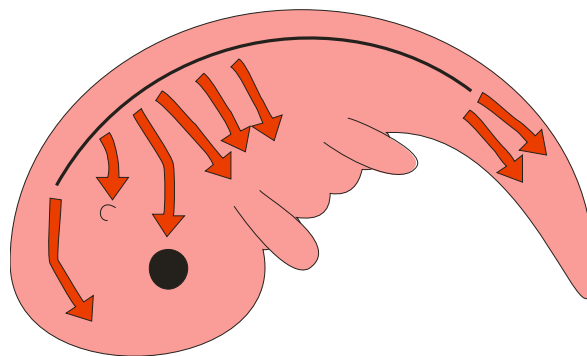


### 3.2.3 Bílá kresba

Strakatost čili bílou kresbu obecně způsobují mutace, které ovlivňují během vývoje embrya migrační toky buněk - budoucích melanocytů ale i ganglií hlavových nervů, buněk štítné žlázy, gliových buněk a dalších. Melanocyty mají více funkcí než jen produkci barviva ve chlupech, najedeme je například i mezi buňkami mozku. Proto mají mutace ovlivňující migraci buněk celou plejádu účinků, souvisí s vrozenými defekty trávicího traktu (Garipey et al., 1996), hluchotou (Cattanach, 1999) a také s mírnější povahou (Trut et al., 1997).

Buňky putují z neurální lišty z několika specifických oblastí. Tyto oblasti jsou párové, vyskytují se poblíž ucha, oka, vrchu hlavy, další potom podél trupu, konce těla a kolem kořene ocasu. Nejpozději se pigmentové buňky dostávají do distálních částí končetin a ocasu. Pokud pigmentové buňky nedorazí na své místo ve folikulu chlupů, folikul není schopen vyrábět barvivo a chlup zůstane bílý. Rozložení bílých oblastí odpovídá tedy migračním tokům (Cattanach, 1999).

**Obr. 9 Náčrt migračních tras buněk** (kresba autorka, 2012)



Za největší část bílých kreseb u potkanů jsou zodpovědné mutace genu nazvaného hooded podle jedné z typických kreseb. První informace o tomto genu pocházejí už z 19. století a mutace se zřejmě vyskytovala již u divoké populace potkanů (Castle, 1947). Gen tvoří alelickou sérii, vztahy mezi jednotlivými alelami jsou často kodominantní nebo neúplně recesivní či dominantní. V současné době známe celkem sedm alel tohoto genu. Původní alela nemá žádný vliv na podíl bílé barvy. Bílou skvrnu na spodní části těla mezi předními končetinami tvoří alela irish. Alela hooded soustředí bílou kresbu na spodní části těla v oblasti od ramen dále, recesivní homozygoti mají zbarvenou hlavu a ramena až k předním končetinám, na zádech se jim potom táhne podél páteře barevný pruh až

na ocas, zbytek těla je bílý (Robinson, 1965). Další alela, označovaná notched nebo notch, omezuje zbarvení prakticky pouze na oblast hlavy, zbytek potkana je bílý (Castle, 1951). Alela extreme je ještě radikálnější, homozygoti pro tuto alelu jsou prakticky celí bílí, vyskytují se u nich jen zbarvené oči popřípadě drobné oblasti barvy kolem uší a očí (Robinson, 1989). Další dvě alely, restricted a robert, jsou v homozygotním stavu letální, embrya odumírají v druhém týdnu březosti. Pro alelu restricted je typická variabilní bílá kresba po těle i na hlavě, kde vytváří různé hlavové skvrny a nepravidelné lysiny. Samci s touto alelou mají menší velikost varlat a po půl roce věku u nich nastává sterilita (Gill et al., 1984). Alela robert tvoří malé bílé skvrny na hlavě i po těle, charakteristická je postupná změna odstínu barvy, na hřbetu je barva nejtmavší, směrem k břišní části na bocích postupně zesvětluje.

**Obr. 10 Bílá kresba způsobená kombinací alel genu hooded (foto autorka, 2012)**



Bílé skvrny na hlavě vytváří i jiný, samostatný gen, nazývaný head spot, který pravděpodobně ovlivňuje pouze migraci hlavového toku buněk. Jedná se o autozomálně recesivní mutaci. Vytváří kulatou či oválnou bílou skvrnu na čele potkana (Robinson, 1998). Tento gen je pravděpodobně zodpovědný i za vytváření bílých lysiny zasahujících až po lůžko hmatových vousků.

Další gen, který se podílí na vytvoření některých pěkných chovatelsky ceněných kreseb, se označuje jako down under. Ve skutečnosti tento gen netvoří bílé oblasti, ale naopak, na spodní části těla vytváří barevnou skvrnu v oblasti, která by jinak působením genu hooded byla bílá (Perez, 2004). Mutace je dominantní a někteří chovatelé o ní tvrdí, že je letální.

### 3.2.4 Barva srsti

Zbarvení potkaní srsti závisí na dvou složkách barviva, černohnědém eumelaninu a žlutooranžovém feomelaninu, tyto pigmenty jsou vytvářeny melanocyty a ve formě zrníček se ukládají do kůry chlupů. Divocí potkani jsou zbarveni stejně jako většina hlodavců nenápadnou maskovací hnědou barvou, v zájmovém chovu se setkáváme s různými barvami srsti, které vznikají působením několika málo genů a jejich kombinací.

Pro divoké zbarvení nazývané aguti je charakteristické střídání barevných oblastí po délce chlupu. Špička chlupu je obvykle nejtmaší (černá), pak následuje světlý (žlutooranžový) pruh a u kořene chlupu je zase chlup tmavý (černohnědý). Toto pruhování se označuje jako ticking (Heinová et al., 2013). Ticking způsobuje střídání syntézy obou barviv, což regulují dvě složky. Jednou je melanocyty stimulující hormon (MSH), který se váže na melanokortin-1 receptor (MCR1) a stimuluje melanocyty ke tvorbě eumelaninu. Druhou složkou je aguti protein, který zabraňuje MSH se navázat na receptor a melanocyt tedy produkuje feomelanin. Po vyčerpání aguti proteinu melanocyt opět produkuje eumelanin (Lu et al., 1994). Recesivní mutace v aguti genu vytváří nefunkční aguti protein, což vede k tomu, že nedojde ke střídání obou barviv, ale melanocyty stále produkují eumelanin. Chlupy jsou zbarvené jednolitě a zbarvení potkana je černé.

**Obr. 11 Černě zbarvený potkan** (foto autorka, 2009)



Další autozomálně recesivní mutací je čokoládové zbarvení. Jde o mutaci v genu TRP1, který kóduje protein příbuzný tyrosináze. Protein působí jako enzym katalyzující přeměnu hnědého 5,6 - dihydroxyindolu na černohnědý eumelanin. Kvůli mutaci se enzym nevytváří vůbec nebo jen v malých dávkách, takže není schopný katalyzovat závěrečnou přeměnu a tmavé barvivo zůstává hnědé (Sarangarajan et al., 2000). Srst i oči získávají barvu hořké čokolády.

Hnědé zbarvení, díky kterému získá potkaní srst barvu podobnou zbarvení norka, vytváří i další z recesivních mutací, popsaná v roce 1994. Označuje se jako mink (Robinson, 1994). Srst potkanů s touto mutací je šedohnědá s nádechem do modra, oči jsou černé (Heinová et al., 2013). Existuje ale i varianta, kdy šedohnědá srst má teplejší odstín až červený nádech a oči jsou tmavě rudé, rubínové (Heinová et al., 2013). Při křížení obou variant se rodila černá mláďata, čímž bylo zjištěno, že se jedná o zbarvení způsobené dvěma různými mutacemi, které mají téměř totožný vliv na fenotyp. Jak konkrétně obě mutace pracují a co přesně způsobují, zatím nebylo popsáno. Pro rozlišení se původní mink gen popsaný v Británii označuje jako britský mink, druhý byl poprvé zaznamenán u chovatelů v USA a proto je nazýván americký mink. Gen pro americký mink byl u potkana lokalizován na prvním chromozomu (Kuramoto et al., 2010).

S mink geny úzce souvisí i další mutace, která je autozomálně dominantní a letální. Vůči jiným genům pro barvy se chová hypostaticky, ve fenotypu se projeví pouze v případě, že je potkan recesivní homozygot v jednom z mink genů (Robinson, 1994). Vytváří

stříbřitou srst s krémovým nádechem, pro kterou jsou typické šedé špičky chlupů, zatímco kořen bývá světlý. Odstín srsti vykazuje velkou variabilitu od světlé, téměř bílé, až po tmavošedou či nahnědlou barvu. Zbarvení se označuje jako perlové (Heinová et al., 2013). Letálnost mutace se projevuje během vývoje embrya, při křížení dvou heterozygotů dochází během březosti ke vstřebání dominantně homozygotních embryí (Kuramoto et al., 2010).

**Obr. 12 Perlové zbarvení (foto autorka, 2009)**



Mezi chovateli velice oblíbené patří modré barvy. Ty vznikají mutací v genu pro myosin-V, který je nezbytnou součástí mechanismu transportu pigmentových zrníček do dendritů. Mutace narušuje normální průběh transportu a barvivo je v chlupcích ukládáno nepravidelně, čímž srst získává šedý, jako by vymytý nádech (Wu et al., 1998; Wei et al., 1997). V zájmovém chovu se vyskytuje těchto mutací několik. Americká modrá je velice variabilní v typu, odstín srsti se pohybuje od tmavé břidlicově šedé až po světlou modrošedou. Ruská modrá je nazvaná podle podobně zbarveného plemene koček a vyznačuje se tmavou modrošedou barvou s kovovým leskem (Heinová et al., 2013). Fenotypem téměř neodlišitelná od ruské modré je ještě tzv. německá modrá, ale při křížení ruské a německé modré dochází k narození černých mláďat, tudíž tyto mutace nejsou identické. Všechny jsou autozomálně recesivní.



**Obr. 13 Americká modrá barva (foto autorka, 2011)**



Další dvě mutace způsobují světlou barvu očí a srsti. Obě jsou pravděpodobně autozomálně semi-recesivní, protože heterozygoti bývají světlejší než dominantní homozygoti, ale jsou výrazně tmavší než recesivní homozygoti. Podle efektu, jaký mají na barvu očí, se geny označují jako mutace zesvětlující barvu očí na rubínovou (ruby-eyed dilution) a mutace zesvětlující barvu očí na růžovou (pink-eyed dilution). Zvířata s rubínovou mutací mají temně rudé oči, které se při normálním osvětlení mohou jevit téměř černě, a světlou, žlutohnědou srst. Zbarvení se označuje jako béžové (Heinová et al., 2013). Mutace způsobuje omezené ukládání pigmentu do srsti a byla identifikována na prvním chromozómu jako gen Rab38 (Oiso, 2004). Druhá mutace vzniká delecí exonů 17 a 18 v genu kódujícím protein, který je součástí membrány eumelanozomů (Kuramoto et al., 2005). Membrána reguluje vstup aniontů do melanozomu, čímž ovlivňuje hodnotu pH uvnitř. Kyselé prostředí je nezbytné pro správnou funkci tyrozinázy, která stojí na začátku celého řetězce syntézy pigmentů (Puri et al., 2000). Mutace zabraňuje normální tvorbě tmavého eumelaninu, feomelanozomy mají jinak kódovanou bílkovinu membrány a tak jejich produkci neovlivňuje. Potkani s touto mutací mají růžové oči a velmi světlou, narůžovělou barvu srsti, zbarvení se označuje jako šampaňské (Heinová et al., 2013).

**Obr. 14 Běžové zbarvení (vpředu) a jeho aguti varianta (foto autorka, 2010)**



### 3.2.5 Barevné efekty

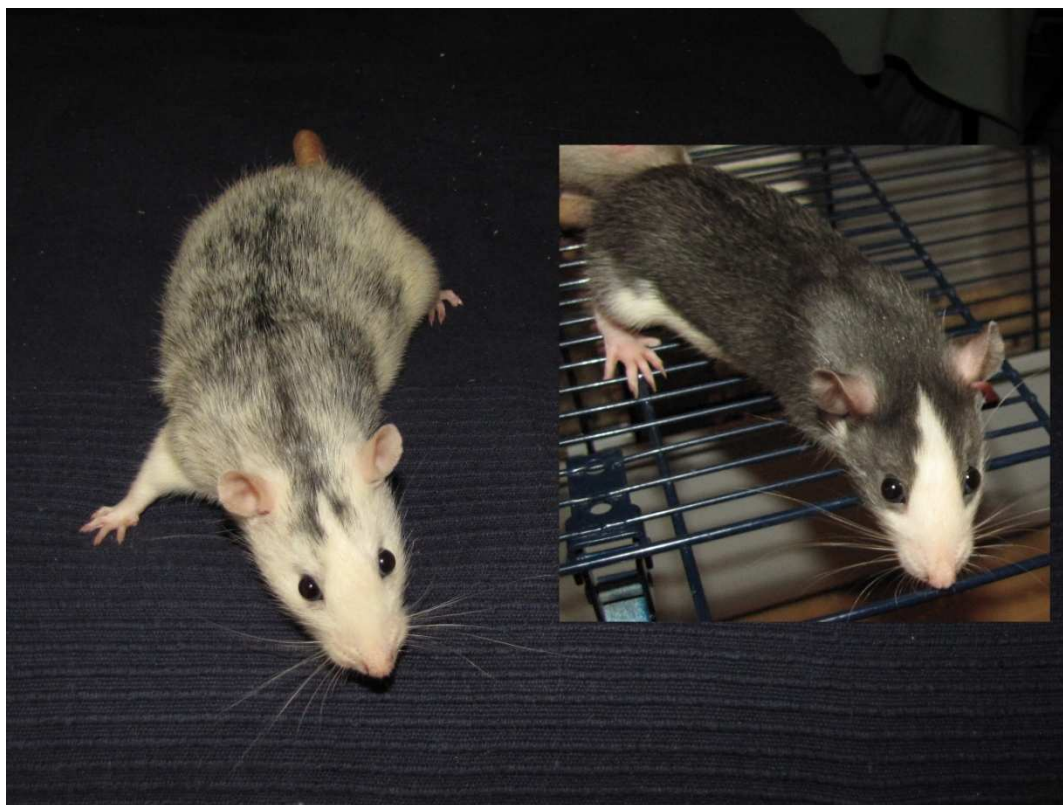
Jako barevné efekty se označují mutace, které samy o sobě nevytváří nějakou z barev, ale ovlivňují její vzhled. V zájmovém chovu se objevuje postříbření, mramorování a husky. Pro většinu těchto mutací není dostatek podkladů v odborných textech.

Husky efekt se označuje podle plemene psů, jemuž se fenotyp potkanů podobá. Dříve se zařazoval mezi bílé kresby, ale bylo zjištěno, že se může vyskytovat s jakoukoliv bílou kresbou a není na ně vázaný. Efekt je charakteristický postupným prokvétáním barevné srsti bílými chlupy, podíl bílých chlupů se v závislosti na věku zvyšuje. Husky potkani se mohou rodit v jakékoliv barvě a kresbě, typická je pro ně široká lysina na hlavě, která přesahuje i lůžka hmatových vousků a téměř zasahuje oči. Často mívají také bílé břicho a část končetin. V době první výměny srsti se začne objevovat prokvétání, bílé chlupy rovnoměrně přibývají s každou výměnou srsti. Prokvétání začíná po stranách hlavy a těla, postupně postupuje směrem ke hřbetu (Heinová et al., 2013). Staří husky potkani mohou být někdy téměř celí bílí. Mutace je autozomálně recesivní a její popis odpovídá popisu mutace silver objevené v roce 1959 (Robinson, 1965).

Bílé krycí chlupy v srsti se vyskytují i u efektu postříbření, ale zde nedochází s věkem k postupnému přibývání počtu bílých chlupů. Někteří chovatelé uvádí, že se nejedná o samostatnou mutaci, ale pouze o důsledek selekce přirozené variability v barvě srsti. Pokud jde o samostatnou mutaci, je tato autozomálně recesivní.

Pro mramorování alias merle jsou typické tmavší skvrny na základní barvě srsti. Jedná se o autozomálně recesivní mutaci, která já přímo závislá na mink mutacích. Mramorování se ve fenotypu projeví pouze v případě, že je potkan zároveň recesivní homozygot alespoň v jednom z mink genů. Na rozdíl od merle mutace u psů není letální.

**Obr. 15 Husky efekt – totéž zvíře ve věku 1,5 měsíce a 1,5 roku (koláž autorka, 2013)**



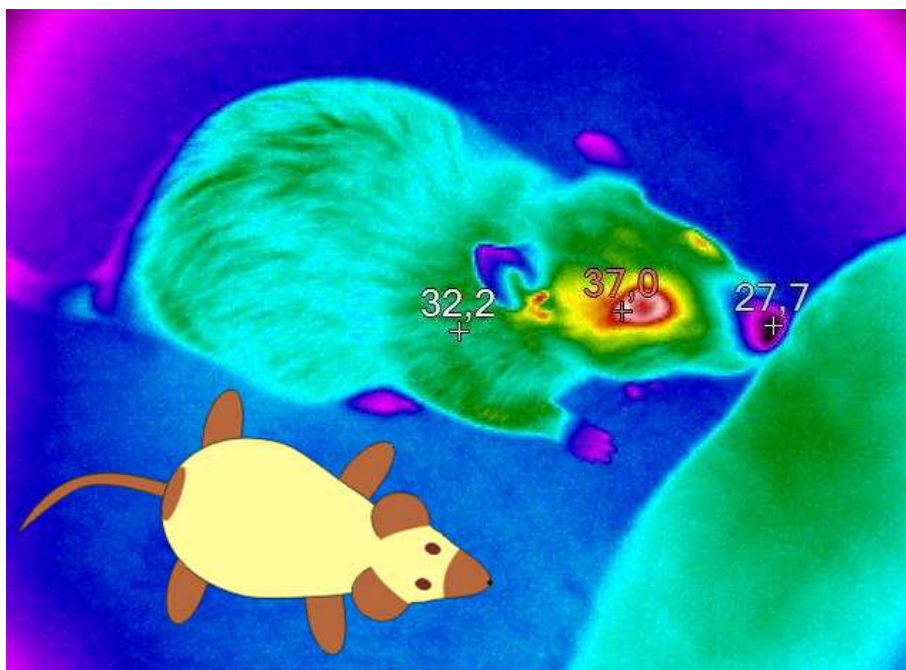
### 3.2.6 Stínování a související zbarvení

Stínovaná zbarvení patří také mezi barevné efekty, ale často se jako skupina vyčleňují zvlášť. Stínováním se rozumí specifické rozložení pigmentu, kdy je trup zbarvený světlejší barvou a čumák, uši, kořen ocasu, ocas a končetiny jsou tmavší. Jedná se tedy o akromelanismus způsobený změnou v genu kódujícím enzym tyrosinázu, která je klíčová v procesu syntézy pigmentu. Výsledným produktem mutace je termolabilní tyrosináza, takže syntéza pigmentu je závislá na teplotě, pigment se při vyšší teplotě rozpadá (Kwon et al., 1989). Rozložení zbarvených částí koresponduje s povrchovou teplotou těla. V zájmovém chovu je dobře známý i fakt, že stínování je výrazněji viditelné u potkanů žijících v nižších teplotách (v zimě nebo chladnější místnosti). Mutace je autozomálně recesivní vůči nemutované alele. Zbarvení recesivních homozygotů se



označuje jako siamské, oči jsou tmavě červené, základní barva srsti je v odstínech béžové a tmavěji zbarvené znaky jsou zbarvené podle příslušných mutací pro barvu srsti (Heinová et al., 2013).

**Obr. 16 Snímek z termokamery a náčrt rozložení stínování (koláž autorka, 2013)**



U genu pro tyrosinázu je dlouho známá i další mutace, která u potkanů způsobuje albinismus. Albinotická zvířata mají čistě bílou srst a jasně růžové oči v důsledku toho, že nejsou schopna vyrábět žádný pigment. (Blaszczyk et al., 2005). Mutace se ve vztahu k původní alele chová recesivně, k alele akromelanistické semi-recesivně. Recesivní heterozygot se označuje jako himálajské zbarvení a na rozdíl od siamského je základní barva těla bílá a oči světle červené (Heinová et al., 2013). Další rozdíl je v tom, že himálajští potkani se rodí bílí a znaky získávají až od 3 týdne věku, zatímco siamští se rodí tmaví a s postupem věku jim barva trupu světlá.

Siamští a himálajští potkani se mohou vyskytovat ještě v jedné variantě – jejich oči mají místo červené barvu černou. Gen za to zodpovědný se označuje jako gen pro černé oči a jeho působení je specifické, ve fenotypu se projeví pouze u zvířat, která nedisponují ani jednou dominantní alelou genu kódujícího tyrosinázu. Gen pro černé oči tedy ovlivňuje pouze siamské, himálajské a albinotické potkany. Dříve si chovatelé mysleli, že se jedná o další alelu genu pro tyrosinázu, ale z výsledků odchovů vyplývá, že se jedná o samostatnou autozomálně dominantní mutaci (Kuramoto et al., 2010).

**Obr. 17 Červenooký a černooký stínovaný potkan (koláž autorka, 2013)**



Kromě stínovaných potkanů se světlou základní barvou těla existují v zájmovém chovu i stínovaní potkani, jejichž základní barva těla je relativně tmavá. Zbarvení se obecně označuje jako barmské a vytváří celou škálu variant. Mutace se stejně jako mutace pro černé oči projevuje pouze u siamských, himálajských a albinotických zvířat. Dříve se myslelo, že se jedná o další samostatnou semi-dominantní mutaci, v dnešní době se chovatelé přiklánějí k názoru, že barmské zbarvení je alelické s mutací pro černé oči. Nasvědčují tomu výsledky křížení barmských potkanů s červenookými siamskými, kde se v jednom vrhu nevyskytují siamští potkani s červenýma i černýma očima zároveň. Barmská alela se vůči černooké chová dominantně. Zbarvení dominantních homozygotů se označuje jako sobolí a je velmi tmavé, stínování je nepatrně tmavší. Dominantní heterozygoti mají základní barvu světlejší a stínování je výrazněji patrné.

### 3.3 Mutace red-eyed devil

Tato mutace se objevila v zájmovém chovu poměrně nedávno. Je zvláštní tím, že potkani s touto mutací mají červené oči, ale relativně tmavou barvu srsti. Většina dosud známých mutací, které zesvětlovaly barvu očí na červené, obvykle zároveň zesvětlily barvu srsti do odstínů béžové.

**Obr. 18 Potkani s mutací red-eyed devil (foto autorka, 2011)**



#### **3.3.1 Historie mutace**

Do zájmového chovu v Evropě tato mutace pronikla kolem roku 2008 prostřednictvím chovatele René Bastiaanse z Holandska, z jehož chovu většina potkanů s touto mutací pochází. První jedince získal z Německa, údajně od přítele, kterému se mutace vyskytla v chovu krmných potkanů původem z některého německého laboratorního chovu (Bastiaans, 2013).

V roce 2009 bylo několik jedinců s mutací red-eyed devil poprvé dovezeno do České republiky prostřednictvím chovatelské stanice Mandarin's přímo z holandského chovu firmy Rebas (majitel René Bastiaans). Mezi nimi byl i samec pojmenovaný Rebas's Činghischán, jeden ze zakladatelů českého chovu této mutace. Další zvířata (samci i samice) byla importována v průběhu roku 2010 panem Bastiaansem nebo do chovu získána od něj. V roce 2011, v souvislosti s únikem geneticky modifikovaných potkanů

mezi zájmové chovatele (Awwadová, 2011), vyvstala obava, že i v tomto případě se jedná o únik GMO. Dvě samice s mutací red-eyed devil byly následně na ústředí České inspekce životního prostředí otestovány speciálním UV zářičem a bylo potvrzeno, že jde o přirozenou mutaci, nikoliv důsledek genové manipulace.

Ačkoliv obecně platí, že barvy s červenýma očima jsou méně oblíbené, kontrast mezi tmavým zbarvením a červenýma očima si získal velký počet příznivců. Chov této mutace se rozšířil z Holandska a Německa do Anglie a Francie, přes Českou republiku a Slovensko až do Polska a Ruska. V současné době se toto zbarvení chová v Holandsku pod názvem red-eyed devil a ve Velké Británii jako marten a silver agouti. V České republice bylo na základě podobnosti s plemenem králíků zbarvení uvedeno do Standardu pod názvem kuní (Heinová et al., 2013). Je tedy možné těmto potkanům vystavovat oficiální průkazy původu a účastnit se s nimi výstav v oficiálních kategoriích.

Zajímavé je, že ačkoliv byla mutace red-eyed devil v zájmovém chovu do nedávna neznámá, podobný nebo stejný typ zbarvení uváděný jako ruby-eyed dilute grey byl znám pensylvánským vědcům již v roce 1916 (Whiting et King, 1918). Další podobné zbarvení se označovalo jako činčila (chinchilla) a v ČR se nechová vůbec, v zahraničí je rozšířené jen málo a chovatelé se shodují, že se jedná o zcela jinou mutaci.

### 3.3.2 Popis zbarvení

Zbarvení potkanů s mutací red-eyed devil je variabilní a konkrétní odstín záleží na spolupůsobení dalších genů. Některé odlišné kombinace genů se ve fenotypu dají rozeznat jen stěží. Platí to zejména pro světlé varianty zbarvení, vznikající spolupůsobením akromelanistické či albinotické mutace.

Pro zbarvení je charakteristický světlejší odstín barvy okolo čumáku a lůžka vousků, kolem očí a za ušima, to u jiných zbarvení u potkana nenalezneme. U mlád'at se na hlavě mohou vyskytovat světlejší a tmavší skvrny, tzv. „mramorování“. Obecně platí, že mlád'ata jsou tmavší, než je jejich barva v dospělosti.

Žlutooranžový pigment v srsti pravděpodobně chybí nebo je silně redukován, odstíny tmavého pigmentu se pohybují od tmavošedé až k téměř stříbřitě šedé. Jednotlivé chlupy jsou u kořene nejsvětlejší, naopak špičku mají zbarvenou tmavě. V rámci zbarvení způsobeného red-eyed devil mutací můžeme rozeznat tyto barevné varianty:



### **Červenooká kuní**

Nejtmavší varianta, mláďata se rodí skoro černá, oči mají jasně červené. V dospělosti má srst sytý, tmavošedý odstín, břicho a oblast kolem očí, čumáku a uší jsou o odstín světlejší.

### **Červenooká kuní aguti**

Srst je stříbrošedá, kolem očí, lůžka vousků a za ušima je opět světlejší. Jednotlivé chlupy mají světlou základnu, stříbřitou prostřední část a špička je tmavohnědá či tmavošedá. Oči jsou červené.

**Obr. 19 Rozdíl mezi non-aguti (vpravo) a aguti variantou (foto autorka, 2011)**



### **Siamská červenooká kuní**

V mládí je prakticky nerozeznatelná od červenooké kuní, ale v dospělosti je srst světlejší než u předchozí varianty a zejména na čumáku a u kořene ocasu je přítomné výrazné tmavší stínování. Ve srovnání s červenookou variantou mají oči světlejší červenou barvu.

### **Siamská červenooká kuní aguti**

U dospělých zvířat je celkově odstín srsti ještě světlejší než u předchozích barev. Na čumáku a u kořene ocasu je patrný náznak stínování, které ale není příliš rozsáhlé a má sépiovou barvu. Červené oči jsou opět světlejší než u červenooké kuní.

**Obr. 20 Siamská kuní –výrazné stínování na čumáku** (foto autorka, 2011)



### **Černooká kuní**

Zbarvení srsti vždy odpovídá jednomu z již vyjmenovaných typů, liší se pouze v barvě očí, které jsou černé. Můžeme tedy rozlišit zbarvení černooká kuní, černooká kuní aguti, siamská černooká kuní a siamská černooká kuní aguti.

Kromě těchto existuje ještě tzv. barmská kuní, ale toto zbarvení není chovateli preferováno, protože v dospělosti se nedá příliš odlišit od klasického barmského stínování. Srst je nahnědlá, stínování nevýrazné.

**Obr. 21 Černooká a červenooká kuní** (foto autorka, 2012)



### Ruská modrá kuní

Mláďata mají světlou modrošedou barvu, která v dospělosti ještě více zesvětlá. Oči jsou červené. Zbarvení se může vyskytovat i ve stínované variantě. V chovu si příliš velkou oblibu nezískalo, protože dospělá zvířata jsou často příliš světlá a připomínají albíny.

**Obr. 22 Ruská modrá siamská kuní – přesrst'ující mládě (foto autorka, 2011)**



### 3.3.3 Genetika kuního zbarvení

Protože první potkani s mutací red-eyed devil se stavbou těla ani kondicí chovateli v Holandsku příliš nezamlouvali, zkřížil je s jednou ze svých dlouhodobě chovaných linií, která byla ruská modrá. Křížení ale dávala zvláštní výsledky, někdy se nová mutace chovala jako recesivní, jindy zase dominantní (Bastiaans, 2013). Prvotní domněnka byla, že mutace je nějakým způsobem závislá na ruské modré mutaci, už proto, že vzdáleně výsledná barva připomínala modrá (šedá) zesvětlení. Toto se ale nepotvrdilo.

Dalším chovem byl přece jen jistý vzorec odhalen, mutace se dědila recesivně v kříženích s plně zbarvenými potkany, zatímco při kříženích s albinotickými a akromelanistickými zvířaty se dědila dominantně. Vystala otázka, zda je mechanismus dědičnosti založený na podobném principu, jako je např. dědičnost barmského zbarvení, které se může projevit pouze v případě, že potkan není nositelem dominantního genu pro tyrosinázu.

Jistou indicii poskytla odborná práce z roku 1918, která pojednávala o podobné mutaci, zjištěné v areálu papírny poblíž Pensylvánské Univerzity. V roce 1916 zde bylo



odchyceno celkem 22 potkanů divokého typu a 9 potkanů s mutací. Potkani byli umístěni ve Wistarově Institutu a dále rozmnoženi, aby mutace mohla být prozkoumána. Výzkum tehdy prokázal, že se jedná o mutaci na albinotickému lokusu (gen pro tyrosinázu), která se vůči albínům chová dominantně, vůči původní nemutované alele recesivně. V té době to byla u potkanů třetí známá alela tohoto genu (Whiting et King, 1918). Akromelanistická alela byla popsána až v roce 1973 (Moutier et al., 1973).

### 3.3.3.1 Gen kódující tyrosinázu

Mutace genu pro tyrosinázu jsou známy u většiny domestikovaných savců, způsobují částečný nebo úplný albinismus. V genu se často vytváří alelické série, proto se někdy označuje i jako albinotická série. Gen se také nazývá lokus C z anglického chinchilla nebo color point restriction. Z hlediska mutace red-eyed devil u potkanů jsou zajímavá některá zbarvení králíků, morčat, myší a koček. Společné mají to, že u nich dochází k potlačení žlutého pigmentu a zesvětlení černého, ačkoliv se výsledné zbarvení liší vzhledem ke specifickým způsobům utváření barvy srsti u jednotlivých druhů.

U králíků je známo 6 alel tohoto genu. Alela  $c^{chi}$  v některých kombinacích vytváří fenotypem velice podobné zbarvení – jde o kuní plemena (Šiler et al., 2012). V závislosti na dalších barevných genech mohou být kuní králíci zbarveni od tmavých odstínů po světlé, s tmavšími odznaky na koncových částech těla. Oko se jeví při určitém osvětlení červené. Kolem oka a nad očima je srst světlejší.

**Obr. 23 Plemeno velký kuní – králík (foto autorka, 2012)**





Kuní zbarvení najdeme i u morčat, barva je popisovaná jako variabilní od šedé po černou, oči jsou tmavě červené. Opět ji způsobují mutace na lokusu C, zde konkrétně působí v kombinacích alely  $c^d$ ,  $c^r$ ,  $c^a$ .

Albinotická série u myší obsahuje dokonce 7 alel. Opět se zde vyskytuje alela označená  $c^{hi}$ , která se podílí na barvách srsti, které působí obdobným dojmem jako ta způsobená mutací red-eyed devil u potkanů. Typický je světlejší odstín břicha a světlejší oblast nad očima, ale u myší se nesetkáváme s červenou barvou očí.

Zajímavé je také kouřové zbarvení koček. Alela  $c^{ch}$  zde zabraňuje produkci feomelaninu a snižuje intenzitu černé barvy, kočky v této alele homozygotní mají jednotlivé chlupy světlé s tmavou špičkou. Kočky mají v sérii celkem 5 alel (Šiler et al., 2012).

### 3.3.3.2 Genotyp kuního zbarvení

Zdá se tedy, že mutace red-eyed devil je mutací v genu pro tyrosinázu. Narušuje normální utváření pigmentu, feomelanin zcela chybí nebo se vytváří málo a eumelaniny jsou ukládány v nedostatečném množství, takže výsledná barva není sytě černá, ale v odstínech šedé. Alela se označuje  $c^d$ . Vůči původní alele C je recesivní, k alelám  $c^h$  a  $c$  se chová kodominantně. Fenotyp jedinců s homozygotní sestavou  $c^d c^d$  je tmavší než u jedinců  $c^d c^h$  a  $cc^d$ . Sestava  $c^d c^h$  má siamské odznaky na čumáku a zadní části těla, sestava  $cc^d$  má tělo zbarvené stejně, ale odznaky jí chybí. Zejména u jedinců s dominantní alelou genu pro aguti je fenotyp způsobený  $cc^d$  špatně odlišitelný od fenotypu tvořeného kombinací  $c^d c^h$ . Základní fenotypy kuního zbarvení vznikají spolupůsobením genů pro aguti (A) a alespoň jedné alely genu pro černé oči (Be) .

**Tab. 1** Jednotlivé kombinace genotypu a příslušný fenotyp (autorka, 2013)

Genotyp	Fenotyp
$Cc^d$ bebe aa	plná barva
$c^d c^d$ bebe aa	červenooká kuní
$cc^d$ bebe aa	červenooká kuní (fenotypem siamská kuní bez tmavších odznaků)
$c^d c^d$ bebe A-	červenooká kuní aguti
$cc^d$ bebe A-	červenooká kuní aguti (fenotypem siamská kuní aguti bez odznaků)
$c^d c^h$ bebe aa	siamská červenooká kuní
$c^d c^h$ bebe A-	siamská červenooká kuní aguti
$c^d c^d$ Bebe aa	černooká kuní
$cc^d$ Bebe aa	černooká kuní (fenotypem siamská kuní bez tmavších odznaků)
$c^d c^d$ Bebe A-	černooká kuní aguti
$cc^d$ Bebe A	černooká kuní aguti (fenotypem siamská kuní aguti bez odznaků)
$c^d c^h$ Bebe aa	siamská černooká kuní
$c^d c^h$ Bebe A-	siamská černooká kuní aguti

Základní genotyp barmského kuního zbarvení by byl  $c^{dc^h} Be^{Bu} aa$ . A na vzniku ruské modré kuní se podílí ještě recesivně homozygotní sestava v genu pro ruskou modrou (D). Základní genotyp by vypadal tedy takto -  $c^{cd} bebe aa dd$ . Z něj je potom možné analogicky odvodit i další genotypové možnosti, ale jednotlivé fenotypy jsou prakticky nerozeznatelné.

### 3.3.4 Kuní zbarvení ve Standardu zbarvení a variet potkanů

Dle Standardu se zatím nerozlišují všechny podtypy kuního zbarvení a to z toho důvodu, že v současné době je stále ještě malá chovná základna těchto zbarvení a je obtížné odlišit jednotlivé konkrétní podtypy, často je jen malý rozdíl mezi fenotypy zvířat. Předpokládá se, že za několik let se kuní zbarvení stabilizuje natolik, že následně dojde k rozlišení dalších podtypů. Dle standardu se tedy kuní zbarvení dělí na černooké a červenooké a dále na kuní a kuní aguti. Přítomnost či nepřítomnost stínovaných znaků se pomíjí.

**Obr. 24 Ukázka ze Standardu zbarvení a variet potkanů (Heinová et al., 2013)**

<b>ČERNOOKÁ KUNÍ (BLACK EYED DEVIL/BLACK EYED MARTEN)</b>	
Barva základní	Sytá tmavošedá, světlejší kolem očí, čumáku a za ušima. V případě přítomnosti stínování je základní barva světlejší.
Barva znaků	Pokud jsou přítomny, barva je sytá tmavošedá.
Rozložení znaků	Pokud jsou znaky přítomny, měly by být zřetelné zejména v oblasti čumáku a zadní části těla.
Barva břicha	Může být světlejší než základní barva.
Barva očí	Černé.
Lehké vady	Nerovnoměrnost barvy. Mírná nazrzlost.
Hrubé vady	Barva srsti, která odpovídá spíše jinému zbarvení v nedostatečné kvalitě.

<b>ČERVENOOKÁ KUNÍ AGUTI (RED EYED DEVIL AGOUTI)</b>	
Barva základní	Stříbrošedá, připomíná zbarvení činčil. Barva může působit dojmem lehkého tickingu. V případě přítomnosti stínování je základní barva ještě světlejší.
Barva znaků	Pokud jsou přítomny, barva je světlá sépiově hnědá.
Rozložení znaků	Pokud jsou znaky přítomny, měly by být zřetelné alespoň kolem kořene ocasu a lehký náznak na čumáku.
Barva břicha	Může být světlejší než základní barva.
Barva očí	Červené.
Lehké vady	Nerovnoměrnost barvy. Mírná nazrzlost.
Hrubé vady	Barva srsti, která odpovídá spíše jinému zbarvení v nedostatečné kvalitě.

## 4. MATERIÁL A METODY

Pro analýzu byla z chovatelských stanic získána data celkem o 14 vrzích potkanů s mutací red-eyed devil. Vrhů jsou označeny dle konvence v zájmovém chovu písmenem, číselným pořadím a názvem chovatelské stanice. Jednalo se o tyto vrhy (řazeno chronologicky):

VP3 Utahraptor (narozen 21. 11. 2010)  
VP1A Beris (narozen 7. 4. 2011)  
U5 Navel (narozen 3. 6. 2011)  
VP1 Womi (narozen 8. 6. 2011)  
A2 Percy (narozen 21. 6. 2011)  
VP4 Utahraptor (narozen 7. 7. 2011)  
A6 Navel (narozen 27. 9. 2011)  
VP1B Beris (narozen 14. 11. 2011)  
F1 Butterfly (narozen 28. 11. 2011)  
G2 Percy (narozen 2. 3. 2012)  
VP5 Utahraptor (narozen 9. 3. 2012)  
N6 Navel (narozen 1. 5. 2012)  
B7 Navel (narozen 22. 11. 2012)  
H7 Navel (narozen 28. 2. 2013)

Vrhy byly vybrány se zřetelem na to, aby rodičovská zvířata měla genotyp známý buď z předchozích vrhů, nebo byl alespoň na základě jejich rodokmenu bez pochyb stanovitelný. U jednotlivých vrhů byly zaznamenány tyto údaje – jméno a fenotyp rodičů, datum narození vrhu, počet mlád'at a počet jednotlivých fenotypů mlád'at. Vzhledem k obtížnosti určení konkrétních fenotypů u mlád'at se fenotyp red-eyed devil mutace rozlišoval pouze na zbarvení čerenoooké kuní a čerenoooké kuní, další fenotypy byly označeny jako albín, himálajský (čereno- i čerenoooký), siamský (čereno- i čerenoooký) a černý, nerozlišovala se tedy přítomnost aguti faktoru ani přítomnost dalších recesivních kombinací genů barev. Konkrétní údaje jednotlivých vrhů jsou shrnuty v příloze.

Vzhledem ke specifikům zájmového chovu nebylo možné použít některé obvyklé postupy jako je zpětné křížení F<sub>1</sub> generace nebo vzájemné křížení jedinců z F<sub>2</sub> generace. V zájmovém chovu potkanů jsou tyto metody považovány za neetické. Z toho důvodu byla pro ověření hypotézy použita statistická analýza očekávaných a skutečných fenotypových štěpných poměrů.

Očekávaný štěpný poměr fenotypů byl získán metodou Mendelistického čtverce, tedy schematického zobrazení křížení, kdy se do řádku a sloupce vypíší jednotlivé gamety, jež jsou rodiče schopni tvořit a v jednotlivých polích se potom sestavují všechny možné genotypy potomků.

**Tab. 2 Schéma Mendelistického čtverce** (autorka, 2013)

	SAMEC		
SAMICE	gamety		
		genotyp potomka	genotyp potomka
		genotyp potomka	genotyp potomka

Pro otestování shody se skutečným štěpným poměrem byl využit výpočet rozdělení  $\chi^2$  (chí kvadrát) dle vzorce:

$$\chi^2 = \sum \frac{(P - O)^2}{O}$$

Vypočtená hodnota  $\chi^2$  byla srovnána s kritickými hodnotami  $\chi^2$  testu pro odpovídající počet stupňů volnosti a hladinu významnosti  $\alpha = 0,01$ .

**Tab. 3 Kritické hodnoty  $\chi^2$  testu** (autorka, 2013)

<b>f</b>	<b><math>\alpha = 0,01</math></b>
1	6,64
2	9,21
3	11,34
4	13,28

## 5. VÝSLEDKY

Jeden z prvních vrhů red-eyed devil mutace v ČR byl vrh VP3 Utahraptor. Otcem vrhu byl samec Rebas' Činghischan dovezený v roce 2009, matkou se stala samice Galactica z Hamaku, která pocházela z českého chovu.

**Tab. 4 Údaje k vrhu VP3 Utahraptor (autorka, 2013)**

Vrh:	VP3 Utahraptor	Počet mlád'at: 13
Datum:	21. 11. 2010	Zbarvení:
Otec:	Rebas' Činghischan	červenooké kuní
Matka:	Galactica z Hamaku	albín
Potomci:	4	červenooké kuní
	9	červenooké himálajské

Nejprve byl proveden výpočet teoretických štěpných poměrů za předpokladu, že se jedná o mutaci samostatného genu. Pro znázornění hypotetického genu bylo zvoleno označení De. Vzhledem k tomu, že samice byla albín a tudíž homozygotní na recesivní alelu c, musí samec nést alelu c<sup>h</sup> a nemohl být homozygotní na red-eyed devil mutaci, protože se ve vrhu objevilo i himálajské zbarvení.

**Tab. 5 Vrh VP3 Utahraptor – teoretické štěpné poměry pro samostatný gen (autorka, 2013)**

	samice – genotyp: cc dede, fenotyp: albín	
	gamety	c de
samec genotyp: cc <sup>h</sup> Dede fenotyp: červenooký kuní	c De	cc Dede
	c de	cc dede
	c <sup>h</sup> De	cc <sup>h</sup> Dede
	c <sup>h</sup> de	cc <sup>h</sup> dede

Očekávaný fenotypový štěpný poměr červenooký kuní : albín : himálajský je 2 : 1 : 1, po přepočítání na počet narozených mláďat odpovídá 6,5 : 3,25 : 3,25.

Pozorovaný fenotypový štěpný poměr byl červenooký kuní : albín : himálajský 4 : 0 : 9.

$$\chi^2 = \frac{(4 - 6,5)^2}{6,5} + \frac{(0 - 3,25)^2}{3,25} + \frac{(9 - 3,25)^2}{3,25} = 14,31$$

Tabulková hodnota  $\chi^2$  pro  $f = 2$  a  $\alpha = 0,01$  je 9,21, je tedy menší a mezi očekávaným a praktickým štěpným poměrem je statisticky významný rozdíl.

Následovalo zjištění předpokládaných štěpných poměrů za předpokladu, že red-eyed devil mutace je mutací genu C a tedy jednou z jeho alel.

**Tab. 6 Vrh VP3 Utahraptor – teoretické štěpné poměry pro alelickou hypotézu (autorka, 2013)**

	samice – genotyp: cc, fenotyp: albín	
samec	gamety	c
genotyp: c <sup>h</sup> c <sup>d</sup>	c <sup>h</sup>	cc <sup>h</sup>
fenotyp: červenooký kuní	c <sup>d</sup>	cc <sup>d</sup>

Očekávaný fenotypový štěpný poměr červenooký kuní : himálajský je 1 : 1, po přepočítání na počet narozených mláďat odpovídá 6,5 : 6,5.

Pozorovaný fenotypový štěpný poměr byl červenooký kuní : himálajský 4 : 9.

$$\chi^2 = \frac{(4 - 6,5)^2}{6,5} + \frac{(9 - 6,5)^2}{6,5} = 1,92$$

Tabulková hodnota  $\chi^2$  pro  $f = 1$  a  $\alpha = 0,01$  je 6,64, je tedy větší než vypočtená a mezi očekávaným a pozorovaným štěpným poměrem není statisticky významný rozdíl.

Samice Gerda Utahraptor z vrhu VP3 Utahraptor byla kryta opět samcem z českého chovu jménem Xingling of Nippyland. Vznikl vrh VP4 Utahraptor.

**Tab. 7 Údaje o dalším vrhu, VP4 Utahraptor (autorka, 2013)**

Vrh:	VP4 Utahraptor	Počet mláďat: 14
Datum:	7. 7. 2011	Zbarvení:
Otec:	Xingling of Nippyland	černooké siamské
Matka:	Gerda Utahraptor	červenooké kuní
Potomci:	7	černooké himálajské
	7	černooké kuní

Tento samec byl v genu C recesivní homozygot na  $c^h$  alelu a dominantní homozygot v genu pro černé oči.

**Tab. 8 Dihybridní křížení homozygota s heterozygotem VP4 Utahraptor (autorka, 2013)**

	samec – genotyp: $c^h c^h$ BeBe, fenotyp: černooký siamský	
samice genotyp: $cc^d$ bebe fenotyp: červenooká kuní	gamety	$c^h$ Be
	c be	$cc^h$ Bebe
	$c^d$ be	$c^d c^h$ Bebe

Očekávaný fenotypový štěpný poměr je stejný jako pozorovaný štěpný poměr.

Z vrhu VP4 Utahraptor byla pro další chov vybrána samice jménem Satanella Utahraptor a pro krytí byl zvolen samec Rebas' Devil March, jeden ze samců importovaných v roce 2010. Samice porodila vrh VP5 Utahraptor.

**Tab. 9 Vrh VP5 Utahraptor – informace o vrhu** (autorka, 2013)

Vrh:	VP5 Utahraptor	Počet mlád'at: 10
Datum:	9. 3. 2012	Zbarvení:
Otec:	Rebas' Devil March	červenooké kuní
Matka:	Satanella Utahraptor	černooké kuní
Potomci:	4	červenooké kuní
	3	černooké siamské
	2	červenooké siamské
	1	černooké kuní

Satanella Utahraptor byla heterozygot v genu pro černé oči. O samci Rebas' Devil March bylo předpokládáno, že je v genu C homozygotní na red-eyed devil mutaci, ale vrh prokázal, že samec je heterozygot a předává akromelanismus.

**Tab. 10 Dihybridní křížení heterozygotů ve vrhu VP5 Utahraptor** (autorka, 2013)

	samec – genotyp: $c^d c^h$ bebe, fenotyp: červenooký kuní		
gamety	$c^d$ be	$c^h$ be	
genotyp: $c^d c^h$ Bebe	$c^d$ Be	$c^d c^d$ Bebe	$c^d c^h$ Bebe
fenotyp: černooká kuní	$c^d$ be	$c^d c^d$ bebe	$c^d c^h$ bebe
	$c^h$ Be	$c^d c^h$ Bebe	$c^h c^h$ Bebe
	$c^h$ be	$c^d c^h$ bebe	$c^h c^h$ bebe

Teoretický štěpný poměr fenotypů černooký kuní : červenooký kuní : černooký siamský : červenooký siamský je 3 : 3 : 1 : 1, po přepočítání na narozený počet mlád'at je 3,75 : 3,75 : 1,25 : 1,25.

Pozorovaný štěpný poměr černooký kuní : červenooký kuní : černooký siamský : červenooký siamský byl 1 : 4 : 3 : 2.



$$\chi^2 = \frac{(1 - 3,75)^2}{3,75} + \frac{(4 - 3,75)^2}{3,75} + \frac{(3 - 1,25)^2}{1,25} + \frac{(2 - 1,25)^2}{1,25} = 4,94$$

Tabulková hodnota  $\chi^2$  pro  $f = 3$  a  $\alpha = 0,01$  je 11,34, mezi očekávaným a pozorovaným štěpným poměrem fenotypů tedy není statisticky významný rozdíl.

Stejným způsobem byly provedeny výpočty  $\chi^2$  pro každý vrh a výsledky porovnány s kritickou hodnotou  $\chi^2_{\text{tab.}}$  při hladině významnosti 0,01.

**Tab. 11 Výsledné hodnoty  $\chi^2$  pro všech 14 vrhů** (autorka, 2013)

Vrh	$\chi^2_{\text{vyp.}}$	f	$\chi^2_{\text{tab.}}$
VP3 Utahraptor	1,92	1	6,64
VP1A Beris	0	0	-
U5 Navel	4	1	6,64
VP1 Womi	5,3	1	6,64
A2 Percy	0,09	1	6,64
VP4 Utahraptor	0	1	6,64
A6 Navel	2,27	1	6,64
VP1B Beris	0,33	1	6,64
F1 Butterfly	4,4	3	11,34
G2 Percy	0	1	6,64
VP5 Utahraptor	4,94	3	11,34
N6 Navel	2,78	1	6,64
B7 Navel	1,285	1	6,64
H7 Navel	6,38	3	11,34

Mezi očekávaným štěpným poměrem jednotlivých vrhů a pozorovaným štěpným poměrem fenotypů nebyl shledán statisticky významný rozdíl.

## 6. DISKUZE

Z výsledků analýzy jednotlivých vrhů vyplývá, že u zkoumaných vrhů se skutečný fenotypový štěpný poměr nelišil od předpokládaného, což svědčí pro hypotézu, že mutace red-eyed devil je alelou genu kódujícího tyrosinázu. To je i v souladu se způsobem vzniku podobných typů zbarvení u jiných druhů zvířat.

Nicméně většina analyzovaných vrhů měla společný jeden faktor – téměř vždy se jednalo o křížení mezi zvířaty s mutací red-eyed devil a zvířaty s genotypem prokazatelně obsahující recesivní alely genu pro tyrosinázu. Zde zapůsobily ekonomické faktory, na které při plánování vrhu musí chovatel brát zřetel. Konkrétně prodejnost mlád'at, protože v zájmovém chovu je eticky nepřijatelné nežádaná mlád'ata usmrtit či prodat jako krmivo pro terarijní zvířata. Poptávku po mlád'atech ovlivňují subjektivní vjemy jako je líbivost vzhledu, často záleží i na novosti a módě. I v zájmovém chovu se dají vysledovat módní trendy. Dříve byla velká poptávka po strakatých a modrých potkanech, před několika lety vzrostl zájem o černoooké stínované a barmské potkany a v současné době je opět poptávka po strakatých zvířatech, pravděpodobně i proto, že jsou obtížněji sehnatelní.

Obecně je známo, že potkani v divokém zbarvení jsou hůře prodatelní, zvláště pokud jsou standardní variety. Vliv má i barva očí, většina lidí dává přednost potkanům s očima tmavými, obvykle na základě subjektivního dojmu než by objektivně konstatovali například fakt, že zvířata s červenými očima hůře vidí. V tomto ohledu je červenooké kuní zbarvení výjimečné, že si získalo oblibu, částečně má na to vliv novost mutace a lidská touha mít doma něco raritního, neobvyklého. To je poznat i z rozložení analyzovaných vrhů v čase, více než polovina vrhů byla odchována v roce 2011, kdy bylo v ČR zbarvení nové, v současné době zájem o něco klesl a odchovy provádí jen několik chovatelských stanic.

Vzhledem k výše uvedenému je tedy zřejmé, že při plánování vrhů dali chovatelé přednost jistotě, že se jim narodí alespoň část mlád'at v požadovaném zbarvení, před snahou prozkoumat lépe dědičnost nové mutace. I u vrhů, kde došlo ke křížení kuního zbarvení s plnobarevným potkanem, byl vždy plnobarevný potkan vybrán tak, že měl prokazatelně jednu z recesivních alel genu. Ze 14 vrhů byly takové vrhy jen 3.

Kromě výběru rodičovských zvířat mohou být výsledky analýzy zkreslené i celkovým počtem analyzovaných vrhů. Odhadem bylo za období 2010 – 2013 uskutečněno kolem 20 vrhů s mutací red-eyed devil, ale k některým nebylo možné získat potřebná data, jelikož šlo o chovatele mimo rámec ČSCH. Pro větší počet vrhů, ve kterém by byla rovnocenně zastoupena i páření dominantních homozygotů v genu C a heterozygotů, by analýza mohla dospět k odlišným výsledkům. V této souvislosti je třeba zmínit, že podobný efekt na štěpné poměry fenotypů, jako je hypotéza alelická, by mohly mít některé typy genových interakcí, například komplementární faktory.

Genové interakce by mohly vysvětlovat i některá neověřená tvrzení chovatelů, že se jim ve vrhu narodilo zvíře ve zbarvení, které by dle genotypu rodičů nemělo být možné. Zde je ale potřeba zmínit, že tato tvrzení jsou neověřitelná, protože nebylo možné získat relevantní informace o vrhu např. z důvodu špatné kredibility chovatele. Obecně se v zájmovém chovu někdy stává, že dojde k narození mláďat se zbarvením zdánlivě neodpovídajícím genetickým předpokladům i u dlouho chovaných a dobře známých mutací. Většinou je potom prokázáno, že u chovatele došlo k nesprávnému určení fenotypu a následně i genotypu rodičovského zvířete, někdy i k záměrnému podání nepravdivé informace.

## 6.1 Působení mutace red-eyed devil

Ze vzhledu srsti můžeme soudit, že mutace ovlivňuje syntézu pigmentu tím způsobem, že se feomelanin syntetizuje velice málo či vůbec, zatímco syntéza eumelaninu sice probíhá, ale zřejmě ne v takové míře, protože výsledná barva srsti není černá, ale nabývá odstínů od tmavě šedé po stříbřitě šedou. Přesný mechanismus, jak dochází k rozdílům v množství syntetizovaných feomelaninů a eumelaninů není znám, ale je možné, že je to důsledek odlišných metabolických drah. Možná, že tyrosináza vyráběná mutací red-eyed devil není pro některý krok řetězce syntézy feomelaninu dostatečně stabilní či reaktivní, zatímco u syntézy eumelaninu to tolik nevádí. Může to být i důsledek rozdílného prostředí v pigmentových buňkách, podobně jako mutace pink-eyed dilution má vliv pouze na syntézu eumelaninu, protože narušuje specifické podmínky prostředí v eumelanocytech.

Pigment u zvířat s red-eyed devil mutací je sytější v mládí, s postupem času je srst stále světlejší. To koresponduje s jevem známým u akromelanistické mutace genu pro tyrosinázu. Potkani homozygotní na tuto alelu jsou z počátku zbarveni v tmavých

odstínech béžové a teprve jak rostou, základní barva těla je postupně světlejší, zatímco koncové části těla si ponechávají původní odstín popřípadě i částečně ztmavnou v závislosti na teplotě. Je možné, že za odlišnosti mezi zbarvením mláďat a dospělých zvířat mohou v různém věku odlišné hladiny tyrosinázy či rozdílný systém její distribuce.

Jak přesně mutace red-eyed devil působí na barvu srsti a zda má nějaké další efekty na vlastnosti zvířete by bylo téma na hlubší odbornou práci z oblasti molekulární genetiky a biochemie.

## **7. ZÁVĚR**

Cílem práce bylo shrnout poznatky o nové mutaci v zájmovém chovu potkanů. S velkou pravděpodobností se jedná o mutaci na genu pro tyrosinázu, která se účastní nejen syntézy pigmentů – melaninů, ale má mnoho dalších efektů na biochemické pochody v těle. Mutace se s dalšími mutacemi vzhledu podílí na utváření celé škály nových typů zbarvení srsti, z nichž jsou některé subjektivně líbivé, což má vliv na ekonomiku chovu, protože ani zájmový chovatel není zcela vyjmut z tržních principů.

Mutace red-eyed devil je zajímavá nejen v zájmovém chovu jako zdroj nových typů zbarvení, ale mohla by mít svou roli i ve vědeckém výzkumu, kde by mohla rozšířit znalosti o funkci enzymu tyrosinázy. I jinak není výzkum vzhledových mutací samoúčelný, často se prokáže souvislost mezi mutací a určitým typem onemocnění, potkani s takovou mutací mohou sloužit (a slouží) jako model pro výzkum některé poruchy.

## 8. POUŽITÁ LITERATURA

Awwadová, I. 2011. ČIŽP: Pozor na nepovolený chov „zelenookých“ potkanů“. ČIŽP, [cit. 2013-01-30]. Dostupné z <[http://www.cizp.cz/3115\\_Pozor-na-nepovoleny-chov-zelenookych-potkanu](http://www.cizp.cz/3115_Pozor-na-nepovoleny-chov-zelenookych-potkanu)>

Bastiaans, R. 2013. Ústní sdělení.

Blaszczyk, W. M., Arning, L., Hoffmann, K. P., Epplen, J. T. 2005. A Tyrosinase missense mutation causes albinism in the Wistar rat. *Pigment Cell Research*, 18 (2), 144 – 145.

Boyko, A. R., Quignon, P., Li, L., Schoenebeck, J. J., Degenhardt, J.D., et al. 2010. A Simple Genetic Architecture Underlies Morphological Variation in Dogs [online]. *PLoS Biol*, [cit. 2013-01-30]. Dostupné z <<http://www.plosbiology.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pbio.1000451>>

Castle, W. E. 1947. The domestication of the rat. *Genetics*, 33, 109-117.

Castle, W. E. 1951. Variation in the hooded pattern of rats, and a new allele of hooded. *Genetics*, 26, 254-266.

Cattanach, B. M. 1999. The dalmatian dilemma: white coat colour and deafness. *Journal of Small Animal Practice*, 40 (4), 193-200.

Fox, S. 1983. *Rats*. THF Publications, USA, p. 93 ISBN 087666933X

Fox, S. 1997. *The Guide to Owning a Rat*. THF Publications, USA, p. 64 ISBN: 0793821576

Gangi, A. A. 2009. Review of Coat Varieties & Genetics in the Domestic Rat [online]. *RodentFancy*, 13th January 2009 [cit. 2009-04-01]. Dostupné z <<http://rodentfancy.com/pets/wp-content/uploads/2009/01/ratcoats.pdf>>.

Garipey, C. E., Cass, D. T., Yanagisawa, M. 1996. Null mutation of endothelin receptor type B gene in spotting lethal rats causes aganglionic megacolon and white coat color. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93 (2), 867–872.

- Gill, T. J. 4th, Gill, T. J. 3rd, Kunz, H. W., Musto, N. A., Bardin, C. W. 1984. Genetic and morphometric studies of the heterogeneity in the testicular defect of the Hre rat and the interaction between the Hre and grc genes. *Biology of Reproduction*, 31 (3), 595–603.
- Heinová, E., Holasová, L., Kendíková, I., Čacká, M., Lužná, H. 2013. Standard zbarvení a variet potkanů. ÚOK CHMH, Praha, 48 s.
- Charlton, H. M., Clark, R. G., Robinson, I. C. A. F., Goff, A. E., Cox, B. S., Bugnon, C., Bloch, B. A. 1988. Growth hormone-deficient dwarfism in the rat: a new mutation. *Journal of Endocrinology*, 119 (1), 51-NP.
- Katerji, S., Vanmuylder, N., Svoboda, M., Rooze, M., & Louryan, S. 2009. Expression of Msx1 and Dlx1 during Dumbo rat head development: correlation with morphological features. *Genetics and Molecular Biology*, 32(2), 399-404.
- Kuramoto, T., Gohma, H., Kimura, K., Wedekind, D., Hedrich, H.J., Serikawa, T. 2005. The rat pink-eyed dilution (p) mutation: an identical intragenic deletion in pink-eye dilute-coat strains and several Wistar-derived albino strains. *Mammalian Genome*, 16 (9), 712-809.
- Kuramoto, T., Yokoe, M., Yagasaki, K., Kawaguchi T., Kumafuji, K., Serikawa, T. 2010. Genetic analyses of fancy rat-derived mutations. *Experimental Animals*, 59 (2), 147 – 155.
- Kwon, B. S., Halaban, R., Chintamaneni, C. 1989. Molecular basis of mouse Himalayan mutation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 161 (1), 252-260.
- Louryan, S., Rooze, M., Vanmuylder, N., Katerji, S. 2010. The dumbo rat mutant: a cytogenetic, morphologic and sagittal morphometric analyzis. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol*, 49 (1), 1-13.
- Lu, D. Willard, D., Patel, I. R., Kadwell, S., Overton, L., Kost, T., Luther, M., Chen, W., Woychik, R. P., Wilkinson, W. O., Cone, R. D. 1994. Agouti protein is an antagonist of the melanocyte-stimulating hormone receptor. *Nature*, 371, 799-802.



- Lužná, H. 2011. Vyhodnocení reprodukce potkanů různých typů osrstění v zájmových chovech. Bakalářská práce. ČZU, FAPPZ, katedra obecné zootechniky a etologie. Praha. 53 s.
- Moutier, R., Toyama, K., & Charrier, M. F. 1973. Himalayan allele at the albino locus in the Norway rat. *Journal of Heredity*, 64 (5), 303-304.
- Oiso, N. 2004. The rat Ruby (R) locus is Rab38: identical mutations in Fawn-hooded and Tester-Moriyama rats derived from an ancestral Long Evans rat sub-strain. *Mammalian Genome*, 15 (4), 307–314.
- Perez, C. 2004. Unique dominant rat spotting gene known as australian downunder – may represent a new major spotting gene of *rattus norvegicus*. *Pigment Cell Research*, 17 (4), 451.
- Puri, N., Gardner, J. M., Brilliant, M. H. 2000. Aberrant pH of melanosomes in pink-eyed dilution (p) mutant melanocytes. *Journal of Investigative Dermatology*, 115 (4), 607-613.
- Robinson, R. 1965. *Genetics of the Norway Rat*. Pergamon Press, Oxford, 52 s.
- Robinson, R. 1981. Rex mutant in the Norway rat. *Journal of Heredity*, 72 (2), 131-132.
- Robinson, R. 1989. An extreme allele of Hooded spotting in the Norway rat. *Genetica*. 79 (2). 139 – 141.
- Robinson, R. 1994. Mink and Pearl: New Color Mutants in the Norway Rat. *Journal of Heredity*, 85 (2), 142-143.
- Robinson, R. 1998. Brief communication. Head spot and dilute mutations in the Norway rat. *Journal of Heredity*, 89 (1), 100 - 101.
- Sarangarajan, R., Zhao, Y., Babcock, G., Cornelius, J., Lamoreux, M. L., Boissy, R. E. 2000. Mutant alleles at the brown locus encoding tyrosinase-related protein-1 (TRP-1) affect proliferation of mouse melanocytes in culture. *Pigment Cell Research*, 13 (5), 337-344.
- Šiler, R., Fiedler, J. a Suchánek, P. 2012 *Genetika drobných zvířat*. Zlín, 2012. 220 s. ISBN 978-80-86062-51-8.

Trut, L. N., Iliushina, I. Z., Prasolova, L. A., Kim, A. A. 1997. The hooded allele and selection of wild Norway rats *Rattus norvegicus* for behavior. *Genetika*, 33(8), 1156-61.

Vyhláška č. 419/2012 Sb., o ochraně pokusných zvířat.

Wei, Q., Wu, X., Hammer, J. A. 3rd. 1997. The predominant defect in dilute melanocytes is in melanosome distribution and not cell shape, supporting a role for myosin V in melanosome transport. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 18 (5), 517-527.

Whiting, P. W., & King, H. D. 1918. Ruby-eyed dilute gray, a third allelomorph in the albino series of the rat. *Journal of Experimental Zoology*, 26 (1), 55-64.

Wu, X., Bowers, B., Rao, K., Wei, Q., Hammer, J. A. 3rd. 1998. Visualization of melanosome dynamics within wild-type and dilute melanocytes suggests a paradigm for myosin V function *In vivo*. *Journal of Cell Biology*, 143 (7), 1899-1918.

Zákon č. 246/1992 Sb., na ochranu zvířat proti týrání. In *Sbírka zákonů*.

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### 9.1 Seznam obrázků

- Obr. 1 Logo ÚOK CHMH (<http://potkani.rodent.cz>)
- Obr. 2 Typické vybavení ubikace pro 4 – 6 potkanů (foto autorka, 2012)
- Obr. 3 Krytí v přepravce (foto autorka, 2008)
- Obr. 4 Samice s mlád'aty (foto autorka, 2008)
- Obr. 5 Položení uší u variety standard (modře) a dumbo (kresba autorka, 2013)
- Obr. 6 Detail zadní části potkana s vrozenou deficiencí ocasu (foto autorka, 2011)
- Obr. 7 Srst typu rex (foto autorka, 2011)
- Obr. 8 Bezsrstý potkan typu fuzz (foto autorka, 2012)
- Obr. 9 Náčrt migračních tras buněk (kresba autorka, 2012)
- Obr. 10 Bílá kresba způsobená kombinací alel genu hooded (foto autorka, 2012)
- Obr. 11 Černě zbarvený potkan (foto autorka, 2009)
- Obr. 12 Perlové zbarvení (foto autorka, 2009)
- Obr. 13 Americká modrá barva (foto autorka, 2011)
- Obr. 14 Běžové zbarvení (vpředu) a jeho aguti varianta (foto autorka, 2010)
- Obr. 15 Husky efekt – totéž zvíře ve věku 1,5 měsíce a 1,5 roku (koláž autorka, 2013)
- Obr. 16 Snímek z termokamery a náčrt rozložení stínování (koláž autorka, 2013)
- Obr. 17 Červenooký a černoooký stínovaný potkan (koláž autorka, 2013)
- Obr. 18 Potkani s mutací red-eyed devil (foto autorka, 2011)
- Obr. 19 Rozdíl mezi non-aguti (vpravo) a aguti variantou (foto autorka, 2011)
- Obr. 20 Siamská kuní –výrazné stínování na čumáku (foto autorka, 2011)
- Obr. 21 Černoooká a červenooká kuní (foto autorka, 2012)
- Obr. 22 Ruská modrá siamská kuní – přesrst'ující mládě (foto autorka, 2011)
- Obr. 23 Plemeno velký kuní – králík (foto autorka, 2012)
- Obr. 24 Ukázka ze Standardu zbarvení a variet potkanů (Heinová et al., 2013)

## 9.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Jednotlivé kombinace genotypu a příslušný fenotyp (autorka, 2013)

Tab. 2 Schéma Mendelistického čtverce (autorka, 2013)

Tab. 3 Kritické hodnoty  $\chi^2$  testu (autorka, 2013)

Tab. 4 Údaje k vrhu VP3 Utahraptor (autorka, 2013)

Tab. 5 Vrh VP3 Utahraptor – teoretické štěpné poměry pro samostatný gen (autorka, 2013)

Tab. 6 Vrh VP3 Utahraptor – teoretické štěpné poměry pro alelickou hypotézu (autorka, 2013)

Tab. 7 Údaje o dalším vrhu, VP4 Utahraptor (autorka, 2013)

Tab. 8 Dihybridní křížení homozygota s heterozygotem VP4 Utahraptor (autorka, 2013)

Tab. 9 Vrh VP5 Utahraptor – informace o vrhu (autorka, 2013)

Tab. 10 Dihybridní křížení heterozygotů ve vrhu VP5 Utahraptor (autorka, 2013)

Tab. 11 Výsledné hodnoty  $\chi^2$  pro všech 14 vrhů (autorka, 2013)

## 10. PŘÍLOHY

### 10.1 Přehled genů vzhledových mutací v zájmovém chovu

Gen	Název	Princip mutace	Efekt
A	<i>agouti</i>	Kóduje aguti protein, přepínač syntézy pigmentů.	černá
B	<i>brown</i>	Narušuje přeměnu hnědého barviva na černé.	čokoládová
Be	<i>black-eyed</i>	Podporuje tvorbu pigmentu u stínovaných potkanů.	barmská
C	<i>chinchilla</i>	Gen kódující tyrosinázu, vliv na syntézu pigmentu.	stínování
D	<i>dilute</i>	Narušuje ukládání barviva do chlupů.	modrá
Du	<i>dumbo</i>	Posun ve vývoji struktur prvního žaberního oblouku.	dumbo
Dw	<i>dwarf</i>	Deficience růstového hormonu.	minipotkan
Fz	<i>fuzz</i>	Narušení normálního vývoje srsti.	bezsrstý
G	<i>grey</i>	Narušuje ukládání barviva do chlupů.	modrá
H	<i>hooded</i>	Změny migrace buněk z neurální lišty.	strakatost
HDu	<i>hooded downunder</i>	Vytváří barevnou skvrnu na břicho potkana.	strakatost
Hs	<i>head spot</i>	Působí na hlavový tok migrace buněk.	bílá lysina
Hu	<i>husky</i>	Postupné prokvétání srsti bílými chlupy.	husky
Lh	<i>longhaired</i>	Prodloužení srsti.	dlouhosrstý
M	<i>mink</i>	Narušení normální syntézy barviva.	hnědá
Me	<i>merle</i>	Nerovnoměrné vybarvení oblastí srsti.	mramorování
Mo	<i>mock-mink</i>	Narušení normální syntézy barviva.	hnědá
P	<i>pink eyed</i>	Inhibice syntézy tmavého pigmentu.	šampaňská
Pe	<i>pearl</i>	Narušení normální syntézy barviva.	perlová
R	<i>red eyed</i>	Narušuje ukládání barviva do chlupů.	běžová
Re	<i>rex</i>	Pozměňuje růstové fáze chlupů.	kudrnatá
Sa	<i>satín</i>	Pozměňuje strukturu chlupů.	saténová
Si	<i>silvered</i>	Prostoupení srsti bílými chlupy.	postrříbřená
Sp	<i>sphynx</i>	Silné narušení vývoje osrstění.	bezsrstý
St	<i>short tail</i>	Změny ve stavbě pánve a ocasu.	bezocasý
Ve	<i>velveteen</i>	Pozměňuje růstové fáze chlupů.	kudrnatý

## 10.2 Vývoj kuniho zbarvení s postupujícím věkem

Na fotografiích je samice Gerda Utahraptor, narozená 21. 11. 2010. Všechny fotografie jsou autorky.

**1 den:** kůže je průsvitná, je vidět barva očí (červená), hřbet začíná mít tmavý nádech



**14 dnů:** srst začíná mít stříbrný podtón, mládě bude brzy otevírat oči



**4 dny:** pigment postupně tmavne, tmaví jedinci jsou jasně rozeznatelní od světlých



**28 dnů:** mládě v době odstavu, srst je stále ještě relativně tmavá



**7 dnů:** objevuje se první jemná srst, zbarvení stále tmavne



**dospělost:** srst je velice světlá, protože zvíře má genotyp  $cc^d A-$





### 10.3 Přehled vrhů mutace red-eyed devil

Vrh:	<b>VP3 Utahraptor</b>	Počet mlád'at: 13
Datum:	21. 11. 2010	Zbarvení:
Otec:	Rebas' Činghischan	červenooké kuní
Matka:	Galactica z Hamaku	albín
Potomci:	4	červenooké kuní
	9	červenooké himálajské

Vrh:	<b>VP1A Beris</b>	Počet mlád'at: 12
Datum:	7. 4. 2011	Zbarvení:
Otec:	Hektor Ze Svahu	siamské
Matka:	Cruela de Vil	červenooké kuní
Potomci:	12	červenooké kuní

Vrh:	<b>U5 Navel</b>	Počet mlád'at: 16
Datum:	3. 6. 2011	Zbarvení:
Otec:	Barney Utahraptor	červenooké kuní
Matka:	Trainer	albín
Potomci:	4	červenooké kuní
	12	albín

Vrh:	<b>VP1 Womi</b>	Počet mlád'at: 12
Datum:	8. 6. 2011	Zbarvení:
Otec:	Fawkes from Netherlands	červenooké kuní
Matka:	Abigail Al Gabal	černé
Potomci:	2	černé
	10	červenooké kuní

Vrh:	<b>A2 Percy</b>	Počet mlád'at: 11
Datum:	21. 6. 2011	Zbarvení:
Otec:	Reba's Devil March	červenooké kuní
Matka:	Mona Lisa od Krisicy	černé
Potomci:	5	červenooké kuní
	6	černé

Vrh:	<b>VP4 Utahraptor</b>	Počet mlád'at: 14
Datum:	7. 7. 2011	Zbarvení:
Otec:	Xingling of Nippyland	černooké siamské
Matka:	Gerda Utahraptor	červenooké kuní
Potomci:	7	černooké himálajské
	7	černooké kuní

Vrh:	<b>A6 Navel</b>	Počet mlád'at: 11
Datum:	27. 9. 2011	Zbarvení:
Otec:	Barney Utahraptor	červenooké kuní
Matka:	Expertiza of Nippyland	červenooké siamské
Potomci:	8	červenooké himálajské
	3	červenooké kuní

Vrh:	<b>VP1B Beris</b>	Počet mlád'at: 3
Datum:	14. 11. 2011	Zbarvení:
Otec:	LMG's Cobus	ruské modré
Matka:	Cruela de Vil	červenooké kuní
Potomci:	2	černé
	1	červenooké kuní

Vrh:	<b>F1 Butterfly</b>	Počet mlád'at: 10
Datum:	28. 11. 2011	Zbarvení:
Otec:	Ian Beris	černooké siamské
Matka:	Butterfly's Cachibembe	červenooké kuní
Potomci:	3	červenooké himálajské
	1	černooké himálajské
	5	červenooké kuní
	1	černooké kuní

Vrh:	<b>G2 Percy</b>	Počet mlád'at: 12
Datum:	2. 3. 2012	Zbarvení:
Otec:	Šerkam Utahraptor	černooké kuní
Matka:	Agharnyss von Percy	červenooké kuní
Potomci:	6	červenooké kuní
	6	černooké kuní

Vrh:	<b>VP5 Utahraptor</b>	Počet mlád'at: 10
Datum:	9. 3. 2012	Zbarvení:
Otec:	Reba's Devil March	červenooké kuní
Matka:	Satanella Utahraptor	černooké kuní
Potomci:	4	červenooké kuní
	3	černooké siamské
	2	červenooké siamské
	1	černooké kuní

Vrh:	<b>N6 of Navel</b>	Počet mlád'at: 9
Datum:	1. 5. 2012	Zbarvení:
Otec:	Koudy	siamské
Matka:	Uouško of Navel	červenooké kuní
Potomci:	7	červenooké kuní
	2	červenooké himálajské


Vrh:	<b>B7 Navel</b>	Počet mlád'at: 7
Datum:	22. 11. 2012	Zbarvení:
Otec:	Zaběhlík	albín
Matka:	Naava of Navel	červenooké kuní
Potomci:	5	červenooké himálajské
	2	červenooké kuní

Vrh:	<b>H7 of Navel</b>	Počet mlád'at: 13
Datum:	28. 2. 2013	Zbarvení:
Otec:	Zaběhlík	albín
Matka:	Wine of Navel	černooké kuní
Potomci:	3	červenooké himálajské
	2	černooké himálajské
	1	červenooké kuní
	7	černooké kuní

## 10.4 Faksimile rodokmenu vrhu VP5 Utahraptor

<b>Sourozenci:</b>	
1VP5 – M, D, red eyed devil, self	6VP5 – M, D, BES, self
2VP5 – M, S, red eyed devil, berk.	7VP5 – F, S, red eyed devil, self
3VP5 – F, S, BES, spotted berk.	8VP5 – M, D, siamese, irish
4VP5 – M, D, BES, self	9VP5 – F, S, siamese, spotted, berk.
5VP5 – F, D, red eyed devil, self	10VP5 – M, S, black eyed devil, self
<b>Zdravotní karta:</b>	

**ChS UTAHRAPTOR**  
výpis předků



**VP5 Utahraptor**  
09.03.2012

Pohlaví:  
Varieta:  
Barva:  
Znaky:  
Genotyp:

Majitel:

<b>Rebas' Devil March</b> 10.7.2010 standard, Dg siamese red eyed devil irish c(d)c(h) Aa D?	?			
	?			
<b>Satanella 11VP4 Utahraptor</b> 7.7.2011 dumbo siamese black eyed devil self c(d)c(h) Aa Dd	standard red eyed devil self			
	?			
<b>Xinling of Nippyland</b> 5.2.2010 Standard, Dg russian blue point BES self	?			
	?			
<b>Skana's Dr. House</b> 14.4.2009 dumbo russian blue point BES, self				
<b>Úzkokolejka of Nippyland</b> 22.7.2009 Standard Seal point BES, self				
<b>Gerda VP3 Utahraptor</b> 21.11.2010 standard, Dg red eyed devil (agouti) self				
<b>Rebas' Čingischan</b> ?.9.2009 standard red eyed devil (agouti)				
<b>Galactica Z Hamaku</b> 17.4.2010 standard albino				
<b>Cif z Tazmanie</b> D, R, russian blue, self				D, russian blue, self
				D, R, BES, self
<b>Valesca Beris</b> D, BES, self				D, siamese, self
				D, BES, berkshire
<b>Bebešin Forest Gump</b> S, BES, self				D, BES, self
				S, russian blue, self
<b>Flying Spot Fatalité</b> DR, BES, self				R, BES, self
				D, siamese, self
<b>Rebas' Čingischan</b> ?.9.2009 standard red eyed devil (agouti)				
<b>DGB Silver Star</b> S, russian blue, berkshire				?, albino
				?, russian blue
<b>Essence Z Hamaku</b> S, russian blue, self				S, russian blue, self
				D, silvered black, self