

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra obecné zootechniky a etologie**



**Vliv inbreedingu na mléčnou produkci u skotu**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Petr Vinický**

**Obor studia: Chovatelství**

**Vedoucí práce: Ing. Barbora Hofmanová, Ph.D.**

© 2018 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv inbreedingu na mléčnou produkci u skotu" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20.4.2018

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Barboře Hofmanové, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

# Vliv inbreedingu na mléčnou produkci u skotu

## Souhrn

Předmětem této práce bylo shrnutí výsledků autorů zabývajících se problematikou vlivu inbreedingu na mléčnou produkci u skotu. Dále zhodnocení, na základě prostudované literatury, dalších dopadů inbreedingu na ostatní vlastnosti skotu. Práce obsahuje i shrnuté informace o inbreedingu včetně jeho historie a vyhodnocení intenzity. Zaměřil jsem se na české i zahraniční autory, kteří prokázali účinek inbrední deprese pro mléčnou užitkovost u odlišných populací různých plemen dojeného skotu. Autoři se zabývali i vlivem inbreedingu na reprodukční ukazatele, tělesnou stavbu a výskyt dědičných onemocnění, které mohou úzce souviset s mléčnou produkcí. Tyto poznatky byly zjištěny převážně porovnáváním inbredních a neinbredních zvířat. Následně se produkční ztráty přepočítávaly na procento koeficientu inbreedingu.

Inbrední deprese mléčné produkce se pohybovala v rozmezí 20 - 50 kg mléka/1 %  $F_X$ . Procentuální obsah mléčných složek se s nárůstem inbreedingu zvyšoval. Uváděné hodnoty byly často velmi nízké a pohybovaly se v rozsahu od 0 do +0,05/1 %  $F_X$ . Produkce mléčných složek v kilogramech naopak nabývala záporných hodnot v rozsahu od -0,08 do -0,965/1 %  $F_X$ . Průběh inbrední deprese byl většinou autorů vyhodnocen jako nelineární. Depresivní vliv inbreedingu na mléčnou produkci byl prokázán i u nízkých hodnot  $F_X = 0 - 3\%$ . Inbrední zvířata vykazovala v průměru o 2,5 cm nižší kohoutkovou výšku. Kvalita gamet inbredních zvířat klesala se zvyšováním stupněm inbreedingu. Býci s  $F_X = 10\%$  měli o 1,5 ml méně ejakulátu, který obsahoval o  $2,4 \times 10^9$  méně všech spermií a o 3 % méně spermií životaschopných. Inbrední krávy měly při nárůstu  $F_X$  o 1 % prodlouženou servis periodu o 0,15 - 2,3 dní a o 1,45 kg menší hmotnost při porodu. Hrozilo zvýšené riziko těžkého porodu a větší pravděpodobnost narození mrtvého plodu. Pravděpodobnost výskytu dystokie byla až o 2 % vyšší.

Práce zahrnuje také důvody zvyšující se příbuznosti v populaci skotu a možnosti zmírnění tohoto růstu, které na základě prostudované literatury shrnuji.

Hlavním zjištěním této práce bylo negativní ovlivnění mléčné produkce a vlastností skotu s ní úzce související vlivem inbreedingu.

**Klíčová slova:** skot, příbuzenská plemenitba, inbrední deprese, produkce mléka, fitness, reprodukce

# The effect of inbreeding on milk production in cattle

## Summary

The objective of this thesis was to summarize the outcomes of authors who deal with the issue of inbreeding effects on milk production in cattle as well as to assess other inbreeding impacts on additional cattle properties based on the examined literature. The thesis also contains summarized information about inbreeding including its history and evaluation of its intensity. I focused on Czech and foreign authors who had proved the effect of inbreeding depression on milk yield in different populations of various breeds of milked cattle. The authors also addressed the inbreeding effect on reproductive performance, body traits and occurrence of hereditary diseases which can be closely linked to milk production. These findings were discovered mainly by comparing inbred and noninbred animals. Production loss was subsequently recalculated to percentage of the inbreeding coefficient.

The inbreeding depression of milk production ranged from 20 to 50 kg of milk/1 %  $F_X$ . The percentage of milk components content was higher with increased inbreeding. The stated figures were often very low and ranged between 0 to +0,05/1 %  $F_X$ . Production of milk components in kilograms in contrast reached negative figures ranging from -0,08 to -0,965/1 %  $F_X$ . Most of the authors assessed the course of inbreeding depression to be nonlinear. Depressive inbreeding effect on milk production was proved also with low figures of  $F_X = 0 - 3$  %. Inbred animals showed a 2,5 cm lower withers height in average. Gamete quality of inbred animals decreased with increased level of inbreeding. Bulls with  $F_X = 10$  % had 1,5 ml less ejaculate which contained  $2,4 \times 10^9$  sperms and 3 % less viable sperms. With the increase of  $F_X = 1$  % in inbred cows service period was 0,15 - 2,3 days longer and birth weight was 1,45 kg lower. There was a risk of birth complications and higher probability of stillbirth. The probability of dystocia incidence was 2 % higher.

The thesis includes the reasons of increasing relations among cattle population and possibilities of its moderation which I summarize based on the examined literature.

The main finding of this thesis was a negative effect of inbreeding on milk production and closely related cattle properties.

**Keywords:** cattle, inbreeding, inbreeding depression, milk production, fitness, reproduction

## Obsah

1. Úvod do problematiky .....	1
2. Cíl práce .....	2
3. Literární přehled (rešerše) .....	3
3.1. Přípařování, inbreeding a hodnocení stupně příbuznosti .....	3
3.1.1. Způsoby přípařování .....	3
3.1.2. Definice inbreedingu a jeho význam.....	4
3.1.3. Inbreeding z genetického hlediska .....	5
3.1.4. Inbreeding ze zootechnického hlediska.....	7
3.1.5. Historie inbreedingu .....	8
3.1.6. Koeficient inbreedingu a koeficient příbuznosti.....	9
3.1.7. Další metody hodnocení intenzity inbreedingu pomocí rodokmenu .....	12
3.1.8. Hodnocení inbreedingu pomocí molekulárně genetických metod.....	13
3.2. Účinky inbrední a outbrední deprese .....	14
3.2.1. Inbrední deprese.....	14
3.2.2. Outbrední deprese .....	15
3.3. Kontrola mléčné užitkovosti.....	16
3.4. Účinky inbreedingu na mléčnou produkci a jeho vliv na mléčné složky.....	17
3.4.1. Produkce mléka, tuku a bílkovin .....	17
3.4.2. Somatické buňky.....	21
3.5. Další vlastnosti skotu ovlivnitelné inbreedingem .....	22
3.5.1. Dědičná onemocnění .....	22
3.5.2. Vliv na tělesnou stavbu .....	23
3.5.3. Vliv na reprodukční ukazatele a reprodukci.....	24
3.6. Možnosti snížení vlivu inbreedingu na mléčnou produkci u skotu .....	30
4. Závěr .....	32
5. Zdroje.....	33

# 1. Úvod do problematiky

Pojmem plemenitba zvířat rozumíme jejich cílevědomé rozmnožování. Tomu předchází výběr vhodných rodičovských párů. Cílem plemenitby je nejen zachování zootechnické taxonomické jednotky (plemeno), ale hlavně zlepšení užitkových vlastností jedince a splnění chovného cíle daného plemene.

Jednou z možností plemenitby je příbuzenská plemenitba neboli inbreeding. Ten řadíme zootechnicky do čistokrevných metod plemenitby a vychází se tak z genetické podobnosti rodičů. Při inbreedingu dochází k páření vzájemně příbuzných jedinců. Toho se dá využít v případech, kdy je snaha o upevnění žádaných vlastností u potomstva. Může se jednat o barvu srsti, stavbu těla, nasazení ocasu či postavení uší, ale i například výkonnost. Pokud se však příbuzenská plemenitba využívá v chovu často a opakovaně, dochází k negativním projevům, a může dojít až k inbrední depresi. Mezi hlavní negativní dopad inbreedingu patří ztráta odolnosti vůči zátěžím vnějšího prostředí (zejména stresu), ztráta vitality a možný výskyt dědičných chorob.

Tyto nedostatky u skotu úzce souvisejí s reprodukcí a následně silně korelují s jejich mléčnou produkcí. Nejedná se přitom pouze o množství nadojeného mléka, ale i obsah jeho hlavních složek, zejména bílkovin a tuku. Je zde i vyšší výskyt většího množství somatických buněk ovlivňující výrazně kvalitu, jakost a pozdější zpeněžování mléka.

## **2. Cíl práce**

Cílem práce je na základě prostudované literatury shrnout a zhodnotit přínosy a negativní dopady při použití příbuzenské plemenitby u mléčného skotu, zejména projevy inbrední deprese v souvislosti přímo s mléčnou produkcí a nepřímo s fitness zvířat (dlouhověkostí a reprodukčními ukazateli, které zásadním způsobem ovlivňují ekonomické výsledky chovu).



### **3. Literární přehled (rešerše)**

#### **3.1. Připařování, inbreeding a hodnocení stupně příbuznosti**

##### **3.1.1. Způsoby připařování**

V populaci obecně rozlišujeme dva základní typy připařování. Jedná se buď o páření zcela náhodné (panmiktické) nebo se při výběru partnera mohou upřednostňovat určité fenotypové a genotypové vlastnosti. V tom druhém případě hovoříme o páření asortativním.

Pod pojmem asortativní páření si můžeme představit výběr rodičů dle specifických vlastností jako např. výška, hmotnost, mléčná produkce. Toto připařování lze ještě rozdělit na pozitivní (asortativní) a negativní (disasortativní). O asortativním páření hovoříme v případě, když se připařují zvířata s podobnými vlastnostmi, tedy fenotypově podobní (např. vysoká zvířata s vysokými, malá s malými). V opačném případě se jedná o připařování disasortativní, kdy připařujeme záměrně zvířata s fenotypově zcela odlišnými vlastnostmi (např. krávy se špatným utvářením končetin s býky, kteří jsou v tomto znaku zlepšovatelé).

Příbuzenskou plemenitbu můžeme tedy definovat jako porušení panmixie – tedy náhodného připařování. Jedná se o určitou formu asortativního připařování, kdy mezi sebou připařujeme např. zvířata s podobně výrazně osvalenými částmi těla. V tom případě působíme jen na komplex genů, který je zodpovědný za vývin této vlastnosti. Naproti tomu příbuzenská plemenitba ovlivňuje všechny geny celého jaderného genomu. Obě tyto metody mají pro populaci a evoluční procesy značný význam. Při panmixii se genové a genotypové četnosti udržují v rovnováze podle zákona Hardy-Weinberga, pokud na ně nepůsobí efekty, jako jsou migrace, mutace nebo selekce. Naopak u asortativního páření v malých populacích může docházet k výrazným změnám, což je způsobeno právě inbreedingem.

Obecně lze říci, že u pozitivního asortativního páření je možné očekávat zvýšený podíl homozygotních genotypů, a naopak nižší podíl heterozygotů. Opačná situace nastane u negativního asortativního oplození, kde předpokládáme větší podíl heterozygotních genotypů (Jakubec,2010).

### 3.1.2. Definice inbreedingu a jeho význam

Inbreeding (příbuzenská plemenitba, inbríding, Inzucht) je jedna z metod plemenitby, která je známá a pracuje se s ní již řadu let, samozřejmě v omezeném měřítku. Jeho definice a také definice jeho intenzity – koeficient příbuzenské plemenitby ( $F_x$ ) – se v průběhu let měnila, vyvíjela se a může proto být interpretována z různých pohledů.

K inbreedingu dochází tehdy, pokud rodiče mají společné předky, tedy jsou-li rodiče příbuzní. Křížení mezi příbuznými se nazývá konsangnivita. K příkladům inbreedingu patří křížení mezi sourozenci, nevlastními sourozenci a mezi prvostupňovými bratranci a sestřenicemi. Pokud dochází k tomuto křížení, nazýváme potomstvo jako inbrední. Tito jedinci se liší od potomstva nepříbuzných rodičů v jednom podstatném aspektu. Díky společnému původu se v určitém lokusu mohou vyskytnout dvě kopie genu, neboť tyto geny pocházejí od jednoho společného předka. (Snustad et Simmons, 2009)

Můžeme mluvit o různém stupni příbuzenské plemenitby podle toho, ve které generaci se nachází společný předek. U jedinců příbuzensky vzdálenějších budou následky jejich páření méně nebezpečné. Příbuzenskou plemenitbu lze tak rozdělit podle počtu generací, tedy vzdáleností genotypu konkrétních připářovaných jedinců, kteří jsou příbuzní na:

- 1) Úzká (pokrevní) – připářování jedinci jsou příbuzní v první nebo druhé generaci, tj. např. bratr se sestrou, matka se synem, otec s dcerou
- 2) Blízká – připářování jedinci jsou příbuzní ve třetí až čtvrté generaci, tj. např. děti sester nebo bratrů, bratr s dětmi svého bratra
- 3) Vzdálená – připářování jedinci jsou příbuzní dále než v páté generaci. Pokud je mezi pářenými jedinci sedm generací, nemluvíme již o příbuzenské plemenitbě, ale o plemenitbě cizorodé.  
(Bezdíček et al., 2005).

Příbuzenská plemenitba může být v některých případech užitečná a žádaná, v ostatních i nezbytná. Je ale nutné ji provádět jen pod přísnou kontrolou a analýzou rodokmenů a jen po omezenou dobu (Miller, 1995).

Inbreeding (Izucht) se používá k popisu jevu, kdy dojde k páření mezi příbuznými a tím k možnému zvýšení homozygotity spojené s tímto typem plemenitby (Jacquard, 1975).

Příbuzenská plemenitba v dobře přizpůsobené populaci a ve stabilizovaném prostředí může být přínosem, jelikož při ní dochází k upevňování některých homozygotních znaků. Platí však, že v přírodním výběru se upřednostňují heterozygotní jedinci, což dosvědčuje negativní vztah dlouhověkosti a celkové odolnosti s příbuzenskou plemenitbou. Inbreeding způsobuje zvýšení homozygotnosti, která může mít za následek fenotypovou expresi recesivních alel, což v některých případech může vést až k letálnímu dopadu. Heterozygoti tedy mívají vyšší potenciál než zvířata inbrední z biologického hlediska (Wolc et al., 2007).

U hospodářských zvířat se příbuzenská plemenitba běžně používá ve šlechtitelské práci u hospodářských zvířat hlavně pro ustálení znaků, které charakterizují plemeno: typ zabarvení, strakatost, velikost těla, tvar hlavy, rohatost atd. (Bezdíček et al., 2010). Kvalitativní znaky se stabilizují poměrně rychle, avšak důležité znaky z hlediska ekonomiky, které záleží na fitness zvířat a jejich celkové zdatnosti, se inbreedingem oslabují (Hamanová a Hruban, 2000).

### **3.1.3. Inbreeding z genetického hlediska**

Dle Relichové (2009) je příbuzenská plemenitba jistým druhem nenáhodného přípařování, u kterého dochází k oplození mezi dvěma příbuznými jedinci častěji, než bychom očekávali od náhodného přípařování, tedy panmixie. Obdobně jako u přípařování na základě pozitivního výběru se při inbreedingu zvyšuje počet homozygotů v populaci, jelikož tito příbuzní jedinci jsou mezi sebou mnohem podobnější než nepříbuzní jedinci. Na rozdíl od výběrového přípařování, kde je snaha ovlivnit jen ty geny, na kterých je výběr rodičů založen, ovlivňuje inbreeding všechny geny. U inbredních jedinců se můžou vyskytnout dvě alely na homologických lokusech, které jsou identické, z čehož vyplývá, že jejich vznik byl odvozen replikací z jedné alely v případné původní populaci. Autozygotní nazýváme dvě alely určitého genu, které jsou identické původem. Pokud nejsou alely identické původem, tudíž nejsou repliky jedné původní alely, nazýváme je alozygotní.

Jakubec et al. (2010) také potvrzuje souvislost mezi častou homozygotností a větší pravděpodobností, že se potkají dvě alely, které mají defektní charakter. Frekvence výskytu letálních (defektních) alel v populaci je zpravidla velmi nízká, není tedy pravděpodobné, že za normálních okolností se alely potkají. Tuto pravděpodobnost zvyšuje právě příbuzenské křížení. To způsobuje projev letálních alel v homozygotní formě ve větší frekvenci, než by tomu bylo v případě nepříbuzného páření.

Relichová (2009) dodává, že můžeme měřit velikost inbreedingu v populaci srovnáním aktuálního podílu heterozygotů v populaci s podílem heterozygotních jedinců, kteří by se v populaci vyskytovali při náhodném oplození. Kdybychom značili aktuální četnost heterozygotů písmenem H a četnost heterozygotů při náhodném oplození písmenem  $H_0$ , pak by s četnostmi alel p a q ( $p + q = 1$ ) platil vztah  $H_0 = 2pq$ . Míru inbreedingu pak můžeme definovat jako  $(H_0 - H) / H_0$ . Tento poměr značící se symbolem F se nazývá koeficient inbreedingu a měří postupnou redukci heterozygotů v populaci ve srovnání s populací, kde by docházelo pouze k náhodnému připárování se stejnými četnostmi alel.

V případě úplné dominance alel u heterozygotů, kteří jsou nositelé pouze jedné zmutované alely, se porucha neobjevuje, jelikož zdědili pouze jedinou škodlivou alelu od jednoho z rodičů. Její funkci nahradí druhá normální alela. V případě, že se sejdou u potomka dvě nefunkční recesivní alely umístěné v jednom genu, může dojít až letálním projevům. Dojde totiž k situaci, kdy se gen nevyskytuje ve více kopiích, nemá strukturně odlišnou formu genu a tím pádem nemá funkční zálohu. V takových případech vůbec nedochází k oplození. Dalšími dopady může být nezahnízdění embrya v děloze, spontánní potrat, odumření embrya, narození mrtvého potomka, nebo potomek zemře brzy po porodu. Příbuzenská plemenitba nemá až tak náhlé následky, ale její vliv se může projevovat postupně následkem vzrůstající homozygotnosti. Tento jev se nazývá inbrední deprese. Projevuje se však u vlastností, které mají složité genetické řízení, tedy které bývají kontrolovány větším počtem genů (Hamanová et Hruban, 2000).

V rámci inbreedingu studoval zvyšující se homozygotnost také Curik et al. (2014), který v rámci studie charakterizoval inbreeding jakožto výsledek páření dvou jedinců v populaci, kteří si jsou vzájemně více příbuzní, na rozdíl od průměrné míry příbuznosti v určité populaci. Dále tvrdí, že inbreeding pozměňuje genotypovou frekvenci, a to právě nárůstem homozygotnosti a podpořil tak tím už dřívejší zjištění Wrighta (1922).

Ke zvýšení homozygotnosti ve většině autozomálních genů dochází při páření sourozenců. Tvoří se oddělené homozygotní linie, které však mají odlišný genetický základ. Připárováním sourozenců trvá vytvoření běžného inbredního stavu mnoho generací, nejméně 20 - 30. Ale ani po tak dlouhé době provádění příbuzenského křížení nedochází k úplné genetické identitě.

Tohoto efektu můžeme docílit i při zpětném křížení potomků s rodiči, čímž se zvyšuje i celková genetická podobnost kmenů a linií. Tímto systémem křížení je možné vybírat si různé

potomky neboli zakladatele kmenů, kteří se mohou lišit jen v jedné alele, v jednom genu či v jednom chromozomovém segmentu. Pokud se toto příbuzenské zpětné křížení bude stále opakovat, může dosáhnout stavu, kdy jsou dva kmeny geneticky téměř shodné, liší se pouze v jednom vybraném genu, alele či znaku. Takto téměř shodné kmeny nazýváme kongenní. U velkých hospodářských zvířat, jako jsou skot, kůň, prase, ovce či koza, nikdy nebyla vytvořena inbrední linie ani kongenní kmeny. Pokusy s inbreedingem totiž nejsou z finanční a časové stránky zatím proveditelné. Hospodářská zvířata mají většinou dlouhý generační interval (až několik let), dlouhou dobu gravidity, a některé druhy mají pouze jedno mládě. Tudíž je nelze selektovat snadno jako třeba laboratorní zvířata (Hamanová et Hruban, 2000).

#### **3.1.4. Inbreeding ze zootechnického hlediska**

Chovatelé se snažili příbuzenskou plemenitbou ustálit znaky charakterizující plemeno, typ zbarvení, strakatost, osrstění, velikost těla, tvar hlavy, rohatost, bezrohlost, tvar končetin apod. U hospodářských zvířat kladli pochopitelně důraz hlavně na užitkové vlastnosti jako dojivost, zmasilost, produkce vlny, snůška vajec, tažná síla nebo sportovní výkonnost. U zbarvení a tvarových znaků lze díky vysoké dědivosti a jednoduché dědičnosti dosáhnout požadovaného cíle celkem rychle a snadno. Ekonomicky důležité užitkové vlastnosti jsou však složitě geneticky fixovány a inbreeding se může projevit dříve nebo později oslabením celkové zdatnosti zvířat, respektive fitness, a klesáním užitkovosti. Nejcitlivější na důsledky inbreedingu jsou prasata, po nich králíci, přežvýkavci a koně (Hamanová et Hruban, 2000).

V plemenářské dokumentaci se úroveň inbreedingu samozřejmě sleduje. V seznamu narozených telat se u každého narozeného telete s ověřeným původem vypočítává jeho hodnota koeficientu  $F_X$  (Louda et al., 2008).

V České republice po roce 1990 došlo ke zvýšení rizika nárůstu koeficientu  $F_X$  vlivem změn v plemenářské práci. Nejvýznamnějšími změnami jsou především menší využívání přípařovacích skupin a snaha využívat žijící býky zlepšovatele delší dobu. Častější aktualizace plemenné hodnoty každé 2 měsíce umožňuje chovatelům vybírat z nejlepších býků po delší dobu. Další změnou je celosvětové využívání stejných otců býků. Případy úzké příbuzenské plemenitby ( $F_X = 0,25$ ) jsou známy, ale v populaci se vyskytují jen výjimečně. Většinou se jedná o jisté pochybení při výběru plemeníka nebo o záměrné využití úzké

příbuzenské plemenitby ve šlechtitelské práci s konkrétním cílem a s odborným dohledem. Relativně častý je výskyt koeficientu  $F_X$  od 0,015 do 0,325 (Bezdíček et al., 2005).

Tyto názory podporuje i Rafat et al. (2015), který poukazuje na to, že procento inbredních krav v Íránu vzrostlo v letech 1996 až 2008 více, než v porovnání v letech 1985 až 1995. Důvodem může být používání inseminačních dávek jen od pár excelentních plemenných býků v letech od 1996 do 2008. Průměrná hodnota inbreedingu v letech 1985 až 2006 stoupala průměrně o 0,2 % ročně.

### 3.1.5. Historie inbreedingu

Příbuzenská plemenitba se jako šlechtitelská metoda využívá již po velmi dlouhou dobu. Četnost jejího využívání se měnila na základě aktuálních názorů na vhodnost jejího použití. Tato metoda byla velmi vysoko ceněna např. od konce 18. století do poloviny 19. století. Názory na její úspěšnost se změnily okolo druhé poloviny 19. století a většina chovatelsky vyspělých států ji omezila anebo úplně vyloučila z plemenitby hospodářských zvířat. Její odpůrci byli přesvědčeni o tom, že způsobuje nadměrné zjemnění konstituce zvířat, snížení jejich plodnosti, celkový pokles životaschopnosti narozených jedinců a v závislosti na tom degradaci celého chovu. Příčiny těchto negativních změn viděli právě v příbuzenské plemenitbě. Takovéto depresivní účinky nejčastěji teoreticky zdůvodňovali působením pářením příbuzných jedinců. Za podnět k normálnímu vývoji jedince považovali určitý stupeň různorodosti pohlavních buněk (Kliment at., 1985).

Již na počátku 20. století předtím, než byl Wrightem formulován koeficient inbreedingu a koeficient příbuznosti, chovatelé skotu posuzovali vliv příbuzenské plemenitby pouze se znalostí Mendelových zákonů. Příbuzenské páření charakterizovali jako převádění vloh s nežádoucím recesivním účinkem do homozygotního stavu (Kožehula, 1965).

Dokonce i nejranější lidské civilizace věděly o negativních důsledcích inbreedingu na základě pozorování chovu domestikovaných zvířat, ačkoli přesné postoje k inbreedingu se lišily napříč kontinenty a náboženstvím (Bittles et Black, 2010).

Hamanová a Hruban (2000) také potvrzují používání příbuzenské plemenitby už v minulosti. Popisují, jak např. britští chovatelé Charles a Robert Collingové z hrabství Darham a Robert Bakewell z Leicestershiru v 18. a 19. století zdárně využili příbuzenskou plemenitbu během šlechtění dlouhorohého skotu, shorthornského skotu a leicesterové ovce.

Jejich prací bylo také zušlechtění shirského chladnokrevného plemene koní a podíl měli i při šlechtění prasat typu yorkshire a arabského koně. Dnes i v minulosti se používá mírný inbreeding v chovech starokladrubského koně. Chesser et al. (1980) dodává, že dalšímu použití příbuzenské plemenitby se nemůžeme vyvarovat např. při snaze zachovat ohrožené druhy. U nich však hrají důležitou roli chovné programy v rámci udržení nízkého stupně inbreedingu.

Při šlechtění drůbeže byla také použita příbuzenská plemenitba u vysokovýkonných linií slepic. Už dříve kolovaly názory, že každý druh hospodářských zvířat je na depresivní účinek inbreedingu jinak citlivý (Kliment et al., 1985).

### 3.1.6. Koeficient inbreedingu a koeficient příbuznosti

Základním krokem při analyzování inbreedingu je výpočet pravděpodobnosti, že dvě kopie genu u jedince jsou identické původem. Logicky tato pravděpodobnost bude narůstat s vyšší intenzitou inbreedingu. Potomstvo vlastních sourozenců bude mít proto větší pravděpodobnost výskytu totožných kopií genů (Snustad et Simmons, 2009).

Definice příbuzenské plemenitby a definice její intenzity, tj. koeficientu inbreedingu ( $F_X$ ), se v průběhu let vyvíjela, a tudíž může být definována z rozličných pohledů.

Základnou pro stanovování intenzity příbuzenského připárování se stala práce Wrighta (1922). Ten navrhl a definoval koeficient inbreedingu  $F_X$  (1) a koeficient příbuznosti  $R_{XY}$  (2):

$$F_X = \sum \left(\frac{1}{2}\right)^{n_1+n_2+1} (1 + F_A) \quad (1)$$

Kde:

$\sum$  = součet úseků ke všem společným předkům

$n_1$  = počet úseků (generací) ke společnému předku ze strany otce

$n_2$  = počet úseků (generací) ke společnému předku ze strany matky

$F_A$  = koeficient příbuzenské plemenitby sledovaného předka

Koeficient inbreedingu nabývá hodnot od 0 do 1. Za nejužší inbreeding považujeme páření rodičů s potomky. V tom případě je koeficient inbreedingu  $F_X = 0,25$ . Dalším připařováním společného předka zvyšujeme hodnotu koeficientu až do chvíle, kdy nastane úplná homozygotnost v rámci všech genů. Tato hodnota je však v podstatě nereálná, jak už zmiňovali (Hamanová et Hruban, 2010), jelikož nárůst inbreedingu způsobuje podstatné zhoršení reprodukce, tudíž každý nový potomek má menší šanci, že rozmnoží úspěšně (Bezdiček et al., 2010).

Z dosažené hodnoty  $F_X$ , můžeme rozdělit intenzitu inbreedingu na vzdálenou (<5 %), střední stupeň (5 – 12,5 %), úzkou (12,5 – 25 %) a pokrevní (>25 %) (Hrouz et Šubrt, 2007).

$$R_{XY} = \sum (1 / 2)^{n_1+n_2} (1 + F_A) \quad (2)$$

Kde:

$\sum$  = sumace příbuznosti pro více úseků jedinců X a Y ke společným předkům

$n_1$  = počet generací mezi jedincem X a společným předkem A

$n_2$  = počet generací mezi jedincem Y a společným předkem A

$F_A$  = koeficient příbuznosti společného předka

Ve výše uvedeném případě se vlastně používá jen čitatele úplného vzorce pro výpočet koeficientu příbuznosti dle Wrighta (1922). Úplná rovnice má tvar:

$$R_{XY} = \frac{\sum (1 / 2)^{n_1+n_2} (1 + F_A)}{\sqrt{(1 + F_X)(1 + F_Y)}}$$

Kde ve jmenovateli je  $F_X$  koeficient inbreedingu jedince X a  $F_Y$  je koeficient inbreedingu jedince Y.



Koeficientem příbuznosti vyjadřujeme míru genetické podobnosti dvou jedinců. Mluvíme o zhodnocení rodokmenů dvou jedinců, kteří by spolu mohli být spáření, avšak vůbec k tomu nemusí dojít. Sledují se jejich rodokmeny a pozornost je zaměřena na společné předky a také na vyhodnocení stupně jejich inbreedingu. Koeficient příbuznosti se uplatňuje především při vyhodnocení připárovacích plánů, páření linií, výpočtu plemenných hodnot atd. Současně také platí, že koeficient inbreedingu odpovídá polovině koeficientu příbuznosti. Vztah mezi koeficientem příbuznosti a koeficientem inbreedingu vyjádřil právě Wright (1922) a jeho obecný vztah je uveden v tab. č. 1.

Druh páření	$R_{XY}$ - rodiče	$F_X$ – potomci, v %
Sourozenci		
první pokolení	0,5	25
druhé pokolení	0,6	37,5
třetí pokolení	0,73	50
Rodiče a děti		
první pokolení	0,5	25
druhé pokolení	0,67	37,5
Nevlastní sourozenci (polosourozenci)		
Prarodiče s vnoučaty		
Bratrance a sestřenice (mající 4 společné dědy)	0,25	12,5
Strýc nebo teta s neteří a synovcem		
Polostrýc a poloteta s neteří a synovcem	0,125	6,25
Polobratranec s polosestřenicí (1 společný děd)	0,0625	3,13

Tabulka č.1: Vztah mezi koeficientem příbuznosti ( $R_{xy}$ ) rodičů a koeficientem inbreedingu ( $F_x$ ) jejich potomů (Wright, 1922)

Z praktických výpočtů podle Wrighta (1922) vyplývá, že se jedná o velice pracné postupy a složitou analýzu rodokmenu. Pakliže se setkáme s hustou sítí úseků mezi sledovanými jedinci ve sledu jejich generací v rodokmenu, existuje mnoho možných zdrojů chyb při výpočtech. Tato metoda výpočtu je i časově náročná, zvláště pokud chceme analyzovat příbuzenské vztahy a intenzitu příbuzenské plemenitby v početné populaci hospodářských zvířat, jak je tomu při odhadu plemenné hodnoty pomocí animal modelu. Proto byla popsána další metoda, která vede ke stejným rovnicím jako u Wrighta, a

s možností využití pro analýzu ve velkých populacích pomocí výpočetní techniky. Základy pro tyto výpočty rozpracoval Malécot (1948) a Cruden (1949).

Podle Malécot (1949) et Moskal (1983) vycházíme z jejich interpretace původového koeficientu (coefficient de parenté, coancestry) který značíme písmenem „f“. Definujeme ho jako předpoklad, že dvě alely (AA) v populaci mohou být stejné (identita stavem) anebo identické (identita původem). Alely stejné jsou kopiemi jednoho genu, který se vyskytl u jednoho dřívějšího předka. Alely identické jsou kopiemi alel konkrétního společného předka.

Falconer (1981) označuje původový koeficient jako „kinship“ a definuje ho také jako pravděpodobnost, že dvě gamety, které náhodně vybereme vždy po jednom od jednoho z rodičů, jsou nositeli dvou původně identických alel.

### 3.1.7. Další metody hodnocení intenzity inbreedingu pomocí rodokmenu

- 1) Metoda řad předků – v případě že je zvíře produktem příbuzenské plemenitby, označuje se římskou číslicí generace, ve které se nalézá společný předek na straně matky a otce. Rodičovská generace je generací první a je označena „I“. Např. pokud je v rodokmenu jedince XY společný předek AB (II - III) znamená to, že ve druhé generaci předků na straně matky a ve třetí generaci předků na straně otce se nachází stejný jedinec. Tato metoda se nedá použít pro genetické analýzy.
- 2) Metoda výpočtu „ztráty předků“ – tato metoda vychází z faktu, že při příbuzenské plemenitbě je v rodokmenu vždy nižší počet předků než při nepřibuzné plemenitbě. Tato metoda nevystihuje podíly předaných genů a nebere ohled na generaci ve které je společný předek. Intenzita příbuzenské plemenitby se potom počítá:

$$I_n = \frac{P_n - Q_n}{P_n}$$

Kde:

$n$  = počet generací

$I_n$  = index ztráty předků

$P_n$  = maximální počet předků s „ $n$ “ generacemi -  $P_n = 2(2^n - 1)$

$Q_n$  = skutečný počet předků s „ $n$ “ generacemi

- 3) Metoda volných generací – metodu vypracoval Lehndorf (1883), který stupeň příbuzenské plemenitby odhadoval dle počtu volných generací, tj. generací mezi sledovaným jedincem a společným předkem. Takový způsob hodnocení stupně příbuznosti je jednoduchý, avšak málo přehledný.

### 3.1.8. Hodnocení inbreedingu pomocí molekulárně genetických metod

- 1) Metoda využívající mikrosatelity – Edwards et al. (1991) charakterizuje mikrosatelity jako tandemově se opakující úseky DNA, většinou o délce 2 - 6 párů bazí, se zkratkou STR (Short Tandem Repeats). Mikrosatelity patří mezi genetické markery, které se dají použít právě ke studiu příbuzenských vztahů a odchylek od Hardy - Wienbergovy rovnováhy. Bývají zřídka kdy použité u hospodářských zvířat, jelikož u nich se využívá znalost jejich rodokmenu při odhadu inbrední deprese (Curik et al., 2003 a Slate et al., 2004). Přesto byly vyvinuty postupy k hodnocení inbreedingu na základě SNPs. Tato metoda je spíš vhodná a efektivní při analyzování inbreedingu v divoce žijící populaci, kde nelze použít rodokmen.
- 2) Metoda ROH sekvence – Broman et Weber (1999) poprvé odhalili, že dlouhé homozygotní úseky, později označené jako ROH, jsou s největší pravděpodobností důsledkem autozygosity. K rozšíření a uplatnění metody přispěli Solkner et al. (2010), Ferenčakowic et al. (2011) a později Purfield et al. (2012). Koncept ROH byl aplikován na odhad inbrední deprese v práci Keller et al. (2011) a McQuillan et al. (2012). McQuillan et al. (2008) definovali nový koeficient inbreedingu ( $F_{ROH}$ ), který

ve skutečnosti zahrnuje 3 koeficienty  $F_{ROH0,5}$ ,  $F_{ROH1,5}$  a  $F_{ROH5,0}$  za základě ROH s délkami 0,5; 1,5 a 5,0 Mb. Základ metody spočívá ve vyhledávání homozygotních SNPs. Metoda může využívat různé algoritmy např. PLINK a SVS. PLINK využívá tzv. posuvné okno, které odpovídá velikosti požadovaných SNPs. SVS na rozdíl od PLINK nevyužívá posuvné okno, ale identifikuje SNPs nepřetržitě v celém chromozomu.

## 3.2. Účinky inbrední a outbrední deprese

### 3.2.1. Inbrední deprese

Inbrední deprese vzniká připařováním příbuzných jedinců a patří do neaditivní složky genotypové variance. Je určitým protikladem heterozního efektu. Inbrední depresi můžeme sledovat ve dvou rovinách.

Z jednoho pohledu se jedná o zvýšený podíl homozygotních genotypů, což v případě letálních alel může způsobit jejich projev. Každý jedinec může být potencionálním nositelem určitého množství letálních alel, které se ale v náhodně pářící se populaci projevují v závislosti na frekvenci jejich výskytu. Připařováním příbuzných jedinců se pravděpodobnost projevu letálních alel zvyšuje. V tom případě záleží na velikosti koeficientu  $F_X$ .

Z druhého pohledu je depresivní účinek inbreedingu projevován jako zhoršení fenotypového projevu více kvantitativních znaků. Obecně se jedná o znaky, které mají podmíněný projev účinku větším počtem genů a vyznačují se středním až nízkým koeficientem dědivosti. V tomto směru můžeme největší projev inbrední deprese sledovat u znaků reprodukce, zevnějšku, znaků mléčné užitkovosti a také u masné produkce (Jakubec, 2010).

Relichová (2009) zmiňuje, že i když příbuzenská plemenitba pomáhá získávat plemena živočichů, které mají významné hodnoty v určitých vlastnostech a zároveň upevňuje žádané znaky, musí se chovatel potýkat s možným rizikem, a to inbrední depresí. Té se ne vždy podařilo zabránit. Inbrední deprese se převážně projevuje u znaků spojených s nízkým koeficientem heritability (dědivosti) jako je například plodnost. Dochází tak k jejímu snížení, zkrácení délky života, větší náchylnosti k chorobám a dalším negativním vlivům.

Dle Hamanová et Hruban (2000) k inbrední depresi dochází kvůli kumulaci genů, které negativně ovlivňují vitalitu jedince. Takové geny se v populaci běžně vyskytují, ale jsou většinou recesivní povahy. Prostřednictvím příbuzenské plemenitby tyto geny přecházejí do homozygotního stavu a mohou působit až letálně. Dle různých výzkumů vlivu příbuzenské plemenitby na hospodářská zvířata vyplývá, že se deprese projevuje sníženou životaschopností, sníženou odolností proti vnějším faktorům a oslabením konstituce. Zpravidla se u zvířat objevuje snížená plodnost či neplodnost, kterou vyvolává ztráta libida, degenerace vaječníků, vymizení příznaků říje a poškození či snížená tvorba spermií. V důsledku neplodnosti tak zcela zanikla většina inbredních kmenů a linií. Při inbrední depresi také dochází k poruchám pohybového aparátu, defektů kostry, kůže, osrstění apod. U hospodářských zvířat přirozeně doprovází inbrední depresi snížená produkce pod ekonomickou únosnost.

Zpočátku může při příbuzenské plemenitbě docházet ke zvyšování užitkovosti, avšak za současného upevňování nežádoucích vlastností v populaci. Projevuje se vyšším výskytem genetických vad, zhoršenou reprodukcí a ukazateli, které jsou v přímém vztahu s fitness zvířat (Zahrádková, 2009).

Na druhou stranu nemůžeme opomenout pozitivní a významný přínos některých vysoce kvalitních a prověřených plemenů, u kterých při nízkých hodnotách koeficientu  $F_x$  nedochází k produkční ztrátě (Bezdíček, 2006).

### **3.2.2. Outbrední deprese**

V případě adaptované populace na jisté lokální podmínky určitého prostředí, ve které došlo k mezipopulačnímu křížení s jedinci adaptovanými na rozdílné podmínky, dojde v další generaci ke snížení fitness. Tento jev je označený jako outbrední deprese (Edmans, 2006). Důsledkem jejího vzniku je narušení lokálního přizpůsobení jedinců žijících na jednom místě. Zvířata jsou tak v další generaci hůře adaptovatelná na podmínky stejného prostředí, ve kterém žila parentální generace. Marshall (2000) dodává, že outbrední deprese je obvykle více pozorována u rostlin, vzácněji pak u živočichů.

Sheridan et Karowe (2000) tvrdí, že k outbrední depresi dochází při křížení jedinců z geograficky odlišných populací, které se liší etologickými, fyziologickými a morfologickými mechanismy. Potomci mohou být následkem tohoto křížení slabší a neplodí. To je výsledkem možné neslučitelnosti enzymových systémů a chromozomů zděděných od

rodičovského páru. Roli může hrát i absence speciální kombinace genů, díky níž by potomci mohli přežít v lokálních podmínkách.

### 3.3. Kontrola mléčné užitkovosti

Všechny vlastnosti hospodářských zvířat se dají nějakým způsobem sledovat a následně zhodnotit. U skotu sledujeme vlastnosti charakterizující mléčnou užitkovost, masnou užitkovost, zevnějšek a druhotné funkční vlastnosti. Kontrolou užitkových vlastností vytváříme podmínky pro následné zhodnocení jistých znaků a můžeme zvířata šlechtit na základě získaných výsledků.

Kontrola mléčné užitkovosti je nejdéle používanou kontrolou užitkovosti. Její počátky sahají až ke konci 19. století. Chovatelé v Dánsku v té době založili „Kontrolní spolek pro Vejen a okolí“ a prováděli pravidelnou a systematickou kontrolu mléčné užitkovosti v jejich populaci dojnic. V Česku byla kontrola užitkovosti zavedena v roce 1905 a rok později na Moravě. Od roku 1924 bylo s využitím finanční podpory ministerstva zemědělství prosazeno významnější rozšíření kontroly. Kontrola užitkovosti se roku 1945 stala součástí centrálně řízené státní plemenářské instituce. V dnešní době se kontrola provádí dle normy, metodiky a doporučení mezinárodní organizace International Committee for Animal Recording – I.C.A.R. (Stádník, 2002).

Hering a Majzlíková (2009) dodávají, že kontrolou mléčné užitkovosti je zjišťována dojivost, obsah tuku, bílkovin a laktozy a případně také další ukazatele jakosti a kvality mléka. Obsah mléčných složek je pozorován do ukončení normované laktace a celková produkce mléka je sledována až do ukončení laktačního období. Dále popsali metody kontroly mléčné užitkovosti.

#### a) Metoda A

Metodu zajišťuje pouze oprávněný a způsobilý pracovník. Touto metodou zjišťuje dojivost, obsah tuku, bílkovin, laktozy a další složky mléka.

- Metoda A4 – vzorky se odebírají ze dvou dojení
- Metoda AT – vzorky se odebírají jen z jednoho dojení, střídavě jeden měsíc z ranního a druhý měsíc večerního dojení.
- Metoda AC – vzorky se odebírají buď z ranního nebo večerního dojení.

b) Metoda B

Kontrola je prováděna chovatelem, který spolupracuje s pověřeným pracovníkem. Metodou zjišťuje dojivost, obsah tuku, bílkovin a laktozy a dalších složek mléka. Výsledky se publikují odděleně od výsledků Metody A a nepoužívají se pro účely kontroly dědičnosti.

c) Metoda F

Kontrolu provádí sám chovatel. Metodou zjišťuje pouze dojivost mléka v kg a slouží pouze pro potřeby chovatele. Výsledky nelze použít pro účely kontroly dědičnosti.

Motyčka et al. (2009) doplňují, že od roku 200 je v České republice prováděna kontrola mléčné užitkovosti pouze Metodou A.

### **3.4. Účinky inbreedingu na mléčnou produkci a jeho vliv na mléčné složky**

#### **3.4.1. Produkce mléka, tuku a bílkovin**

Stanovení vztahů mezi stupněm příbuzenské plemenitby a mléčnou užitkovostí je věnováno mnoho pozornosti mezi vědeckými pracovníky již delší dobu. U obsahu mléčných složek se většina autorů shoduje v kladné korelaci mezi nárůstem koeficientem  $F_X$  na jedné straně a procentuálním obsahem tuku a bílkovin na straně druhé. Procenta tuku a bílkovin se při nárůstu koeficientu inbreedingu zvyšují, avšak při vyjádření mléčných složek v kilogramech nabývá produkce většinou záporných hodnot. Způsobeno je to tím, že velký podíl na vyjádřenou produkci v kg tuku a kg bílkovin má mléčná užitkovost, která je však ve výrazné negativní korelaci k nárůstu koeficientu  $F_X$ .

Například Krosigk et al. (1958) se této problematice věnuje již od poloviny minulého století. Jeho práce studuje vliv inbreedingu na produkční ukazatele u holštýnského skotu v době trvání 25 let. Byla zjištěna průměrná inbrední deprese produkce mléka. Na 1% nárůstu

koeficientu inbreedingu ( $F_X$ ) byla stanovena na úrovni -24,5 s odchylkou 7,7 kg. Autoři práce také zjistili, že při nízkém  $F_X$  (2,0 %) došlo ke zvýšení tučnosti mléka o 0,006 % a při vyšším  $F_X$  (12,5 %) představovalo zvýšení obsahu tuku v mléce 0,0375 %.

V práci Allair et al. (1965) byla zjištěna deprese pro produkci mléka, která činila -12,6 kg na každé procento nárůstu koeficientu příbuzenské plemenitby. Gaalas et al. (1962) se zabývali vlivem inbreedingu na mléčnou produkci pro I. až IV. laktaci. Stanovili následující regresí: -47,8 kg, -19,0 kg, -8,2 kg a -11,9 kg mléka v pořadí laktací. Inbrední deprese tedy činila průměrně -21,73 kg mléka.

Vlivu inbreedingu na produkční ukazatele se intenzivně v rozsáhlé studii věnoval Miglior (1992, 1995a, 1995b) v Kanadě.

V roce 1992 Miglior u souboru s počtem 154 689 jerseyjských krav, z nichž 53 592 měly první laktaci, vypočítal regresní koeficient na úrovni -9,84 kg mléka na 1% nárůstu  $F_X$ . Při stejném nárůstu se snížila produkce tuku o 0,55 kg. Při nárůstu  $F_X$  na hodnotu větší než 12,5 % se inbrední deprese prokazatelně zvyšovala.

Miglior (1995b) hodnotil také úroveň inbreedingu u holštýnského skotu. Jednalo se o soubor ve velikosti 92 tisíc krav. Hodnotil mléčnou užitkovost v I. laktaci. Maximální hodnota koeficientu inbreedingu byla 31,6 %, průměrná hodnota byla 2,74 %. Největší podíl krav bylo ve skupině s hodnotou  $F_X$  menší než 6,25 % (82,24 % krav). Deprese na 1 % koeficientu příbuzenské plemenitby činila -25 kg mléka. Autor se také zabýval vlivem inbreedingu na obsah tuku a bílkovin v mléce a stanovil tak kladnou závislost mezi vzrůstajícím inbreedingem a obsahem těchto mléčných složek. Při zvýšení  $F_X$  o 1 % došlo k nárůstu procentuálního zastoupení tuku o 0,075 % a bílkovin o 0,11 %. Naopak produkce tuku a bílkovin v kilogramech při vzrůstu  $F_X$  o 1 % byla menší o 0,965 kg a 0,875 kg.

Také Thompson et al. (2000b) hodnotili vliv inbreedingu u holštýnského skotu v USA. Zjistili, že mléčná produkce za laktaci se s každým procentem  $F_X$  v rozmezí  $F_X = 0,02 - 0,06$  snižovala až o 35 kg mléka. V rozmezí  $F_X = 0,07 - 0,10$  vystoupala ztráta za každé procento na 55 kg mléka. Při  $F_X > 0,10$  byla ztráta na každé procento  $F_X$  35 kg mléka. Zde je možné zaznamenat nelineární průběh inbrední deprese.

Hermas et al. (1987) pozorovali inbrední depresi ve dvou stádech v USA a vypočítali zvýšení obsahu tuku o 0,002 % při zvýšení  $F_X$  o 1 %. Smith et al. (1998) došli k závěru, že při zvýšení koeficientu  $F_X$  o 1 % se při první laktaci snížila celková průměrná produkce mléka o



27 kg, produkce tuku o 0,9 kg a produkce bílkovin o 0,8 kg. Při hodnocení celoživotní produkce došlo ke snížení o 177 kg mléka, 6,0 kg tuku a 5,5 kg bílkovin.

Zajímavé srovnání dvou německých plemen přináší práce Krogmeier et al. (1997). Do sledování bylo zařazeno u plemene Gelbvieh 65 498 a u Braunvieh 533 152 zvířat. U hnědého plemene Braunvieh byla deprese při nárůstu  $F_X$  o 1 % v první, druhé a třetí laktaci vyšší a její hodnoty v kg mléka byly -10,14; -13,14 a -11,01 v pořadí laktací. U druhého plemene Gelbvieh byla deprese nižší a hodnoty v pořadí laktací se pohybovaly okolo -7,76 kg; -9,89 kg a -9,00 kg mléka.

Casanova et al. (1992) také studovali vliv inbreedingu na skot plemene Braunvieh ve Švýcarsku. Do studie bylo zahrnuto 910 444 zvířat. Určitý stupeň  $F_X$  vykazovalo 71,5 % zvířat.  $F_X = 0 - 5$  % (67,9 % jedinců);  $F_X = 5 - 10$  % (3,4 % jedinců);  $F_X > 10$  % (0,2 % jedinců). Průměrná hodnota koeficientu inbreedingu byla 1,67 %. Regrese mléčné užitkovosti na narůstající  $F_X$  byla vypočítána Animal modelem. Při nárůstu  $F_X$  o 1 % byla ztráta mléčné užitkovosti 26 kg mléka. Autoři také zjistili, že došlo ke zvýšení procentuálního obsahu bílkovin o 0,001 % při nárůstu  $F_X$  o 1 %.

Na Slovensku vyhodnotili vliv inbreedingu na pincgavský skot Kasarda et Kadlečík (2007). Do výzkumu bylo zahrnuto 1 611 čistokrevných krav narozených mezi lety 1998-2003 a do výsledků byly zahrnuty i údaje o předchozích generacích. Krávy byly rozděleny do skupin dle generací. V první skupině bylo 1611 krav, z toho 188 inbredních. Ve druhé skupině bylo 1494 krav a 113 plemeníků, z toho 18 inbredních zvířat. Ve třetí skupině bylo 1245 a 246 plemeníků, z toho jen 2 inbrední zvířata, a tak skupina byla brána jako outbrední. Poměr inbredních zvířat ve stádě byl 5,7 %. Průměrná hodnota  $F_X$  byla 4,225 %. Inbrední deprese snížila odhadovanou plemennou hodnotu produkce mléka o 8,95 kg, tuku o 0,37 kg a bílkovin o 0,36 kg při nárůstu  $F_X$  o 1 %.

V našich domácích podmínkách se výzkumu věnovali Mikšík a Kadečka (1979). Jejich cílem bylo porovnat úroveň mléčné produkce inbredních a outbredních polosester osmi vybraných býků v 19 chovech. Rozdíly mezi porovnávanými skupinami nebyly statisticky významné. Za sto denní laktaci se snížila produkce mléka o 1,5 kg a za normovanou laktaci o 12,7 kg mléka. Váchal a Teslík (1971) také vyhodnotili vztah mezi úrovní mléčné

užitkovosti a vyššími hodnotami koeficientu inbreedingu jako negativní. Při  $F_X = 25,0 \%$  se snížila produkce o 300 kg mléka a při  $F_X = 12,5 \%$  o 174 kg za rok.

V České republice sledovali vliv inbreedingu na mléčnou produkci také Bezdíček et al. (2008). Inbrední deprese mléčné užitkovosti byla vypočítána na základě srovnání mléčné produkce inbredních krav a jejich neinbredních vrstevnic. Neinbrední vrstevnice měly shodného otce a matku s podobnou plemennou hodnotou pro kg mléka jako inbrední krávy. Dvojice, které byly srovnávány zahájily první laktaci ve stejné stáji a ve shodném období (+-3 měsíce). Cílem bylo vytvořit co možná nejvíc dvojic inbredních a outbredních krav. Bylo dbáno na maximální podobnost z hlediska původu (plemenné hodnoty matky a otce), podmínek prostředí, ve kterém hodnocená první laktace proběhla a také roku a měsíce otelení. Potvrdilo se, že s narůstajícím koeficientem  $F_X$  dochází k větším rozdílům mezi produkcí mléka inbredních a neinbredních krav. Nejvyšší inbrední deprese byla u nejvyšších stupních koeficientu  $F_X$  (12,5 %) a oproti neinbredními vrstevnicím dosahovala 472,2 kg mléka.

Zajímavou studii přednesli Rafat et al. (2015), kteří pozorovali chov holštýnských krav v Íránu. Získali informace o 3 972 zvířatech narozených mezi lety 1961 až 2008. Stupně inbreedingu byly rozděleny do skupin  $F = 0$ ;  $0 < F < 0,59$ ;  $0,59 \leq F < 1,11$ ;  $1,11 \leq F < 1,75$  a  $1,75 \leq F$ . Statistické propočty ukázaly, že 64,03 % krav bylo inbredních. Nejvíce inbredních krav (25,4 %) bylo ve skupině  $0,59 \leq F < 1,11$  %. Maximální koeficient inbreedingu byl 26 % a průměrný koeficient inbreedingu mezi inbredními krávami byl 1,3 %. Celkový průměrný  $F_X$  byl 0,8 % a zahrnoval i neinbrední krávy. Inbrední deprese ve skupinách  $F = 0$  % a  $0 < F < 0,59$  % nebyla statisticky významná. Ve třetí skupině s  $F$  od 0,59 % do 1,11 % bylo sledováno snížení produkce mléka o 2,4 %, tuku o 2 % a bílkovin také 2 %. Při vyšších hodnotách inbreedingu (1,11 – 1,75 %) došlo také k redukcí mléka o 2 %. Tyto výsledky naznačily, že i malé zvýšení koeficientu inbreedingu může negativně ovlivnit produkci mléka u holštýnského skotu. Thompson et al. (2000b) se svými výsledky u nízkého koeficientu inbreedingu tvrzení potvrzuje.

Také se ukázalo, že efekt inbreedingu na produkci mléka, bílkovin a tuku souvisí s pořadím laktace. Intenzita negativního vlivu na produkci mléka a bílkovin stoupala s pořadím laktace. Opačný efekt byl sledován u produkce tuku u mladších zvířat (prvotetek) (Mc Parland et al., 2007; Rafat et al., 2015).

Kučera a Chládek (2001) dodávají, že každý živý organismus reaguje na stejnou úroveň inbreedingu rozdílně. Tyto rozdílné reakce mohou být indiferentní, ale také až trojnásobné od průměrných hodnot. Zároveň potvrzují, že pokles mléčné produkce ve vztahu k narůstajícímu inbreedingu nemá evidentní lineární trend a k výraznému snížení produkce dochází až po dosažení 12,5 % inbreedingu.

### 3.4.2. Somatické buňky

V mnoha studiích se autoři pokoušeli kvantifikovat vliv inbreedingu na obsah somatických buněk, ale nenašli žádný významný efekt (Smith et al., 1998; Thompson et al., 2000a, 2000b; Gulisija et al., 2007). Několik studií však potvrdilo nízký projev inbrední deprese na obsah somatických buněk (Biffani et al., 2002; Mrode et al., 2004).

Ve studii Mc Parland et al. (2007) inbreeding zvyšoval obsah somatických buněk (SCS - Somatic Cell Score) a tudíž i počet somatických buněk (SCC – Somatic Cell Count). U starších zvířat se jevil účinek ještě větší. Inbrední deprese zvýšila v přepočtu z SCS počet somatických buněk u inbredních zvířat v páté laktaci s  $F_X = 12,5\%$  okolo 23 000 buněk na 1 ml mléka nad průměr. Miglior et al. (1995) vyhodnotil informace o 176 916 holštýnských krávách. 91 % zvířat bylo aspoň minimálně inbredních. Maximální hodnota koeficientu  $F_X = 27,5\%$  a průměrný  $F_X = 1,7\%$ . Nejvíce inbredních krav (86 %) mělo koeficient inbreedingu ve výši  $<6,25\%$ . Při zvýšení  $F_X$  o 1 % došlo ke zvýšení počtu somatických buněk o 560 buněk/ml. Krávám s hodnotou  $F_X = 12,5\%$  se tak zvýšil SCC o 7 000 buněk/ml oproti průměrným neinbredními krávám. Miglior et al. (1995) uvádějí tak tento vztah za lineární.

Mc Parland et al. (2007) také uvádějí lineární růst, což je v rozporu se studií Sorensen et al. (2006), kteří vztah inbreedingu a SCS u dánských holštýnských prvotetek za lineární nepovažují.

V další studii, Van Tassell et al. (2000) po prozkoumání několikanásobných laktací u krav uvádí, že inbreeding má efekt na obsah somatických buněk. Každé zvýšení inbreedingu o 0,01 % způsobilo nárůst SCS o 0,0037 jednotek, což odpovídá množství přibližně 173 buňkám/ml mléka. Wrode et al. (2004) uvádějí podobné závěry u holštýnských krav ve Velké Británii.

Jelikož je obsah somatických buněk hlavním ukazatelem výskytu mastitid (Wrode et Swanson, 1996), výsledky ze studie Mc Parland et al. (2007) naznačují, že inbreeding může zvyšovat výskyt mastitid u krav. Dále se Mc Parland et al. (2007) problematikou mastitid nezabývají. Vlivem inbreedingu na větší výskyt mastitid se zabývali Sorensen et al. (2006). Uvádějí větší výskyt mastitid u inbredních zvířat. Upřesňují, že při nižších stupních inbreedingu (0 – 0,1 %) byl výskyt klinických mastitid menší a při vyšších větší. Rafat et al. (2005) a Croquet et al. (2006) dodávají, že větší vliv má inbreeding na výskyt mastitid u starších krav, které se již vícekrát otelily než u prvotetek.

### **3.5. Další vlastnosti skotu ovlivnitelné inbreedingem**

#### **3.5.1. Dědičná onemocnění**

Podle Čítka et al. (2006) se právě díky příbuzenské plemenitbě dostávají recesivní geny do homozygotního stavu a dochází k projevům dědičně podložených nemocí. Příkladem dědičné poruchy může být CVM - Complex Vertebral Malformation (komplex vertebrálních malformací). Tato porucha byla poprvé objevena u holštýnského skotu teprve nedávno. Zjištěna byla v roce 2000 a v roce 2001 byl identifikován gen a mutace. Typickými příznaky jsou změny na páteři v důsledku znetvoření obratlů. Změny zahrnovaly fúzi dvou posledních krčních obratlů a distorzi prvních tří hrudních obratlů, což vedlo k mírné skolióze. U 50 % postižených jedinců došlo i k abnormalitám na srdci. Příkladem jsou pravostranná hypertrofie, aorta i plicní tepna vycházející z pravé strany srdce a defekt horního mezikomorového septa. Až ¾ recesivních homozygotů není možné diagnostikovat, jelikož přibližně u 77 % postižených plodů končí gravidita abortem.

Mezi další autosomálně recesivní poruchy patří nedostatek bovinní leukocytární adheze (BLAD – Bovine Leukocyte Adhesion Deficiency). Ačkoli byla tato porucha objevena u holštýnského skotu, bylo hlášeno, že se vyskytuje i u jiných plemen, u kterých bylo v plemenitbě použito holštýnské plemeno. Porucha se vyznačuje silně sníženou hladinou exprese beta2 heterodimerického intehrinu, což vede ke snížené expresi neutrofilů a následně k nedostatečné vrozené imunitě sliznic. Zvířata postižená tímto onemocněním se vypořádávají s těžkými zápalami plic, záněty dásní, paradontózami, špatným hojením ran a pomalým růstem (Kehrli, M.E., 1992).

Čítek et al. (2006) dodávají a Agerholm et al. (2001) potvrzují, že za rozšíření poruchy CVM a BLAD může nadměrné využívání býka Carlin-M Ivanhoe Bell v chovu. Tento býk měl ve Spojených státech 79 000 dcer v kontrole užitkovosti. Jeho potomci se jeví fenotypově zdraví, jelikož u heterozygotů se předpokládá normální vývoj, a nejsou tak syndromem ovlivněni. Bodová mutace však u nich mohla být zjištěna metodou PCR-SSCP (Rusc et Kaminski, 2007), Chu et al. (2008). Rozšíření těchto poruch způsobil rozsáhlý mezinárodní obchod s konzervovaným spermatem a embryi.

### **3.5.2. Vliv na tělesnou stavbu**

Vliv inbreedingu na zevnějšek skotu je hodnocen většinou autorů jako značně negativní. Co se týče konkrétních znaků a různé výše koeficientu  $F_X$  se názory už různí. Bellér et al. (1974) spatřují depresivní vliv příbuzenské plemenitby při  $F_X = 12,5 \%$  především ve výšce v kohoutku (-4,23 cm), v šířce hrudníku (-1,27 cm) a ve střední šířce pánve (-1,77 cm).

Snížení kohoutkové výšky u inbredních zvířat zmiňuje také Sutherland et al. (1962). Ti vyhodnotili, že jedinec v jednom roce a při shodném koeficientu  $F_X = 12,5 \%$  je o 1,2 cm nižší v kohoutkové výšce, o 0,8 cm užší v hloubce hrudníku, má o 1,5 cm kratší tělo, o 3,3 cm menší obvod hrudníku a celkově o 10 kg lehčí než jeho neinbrední vrstevníci.

Thompson et al. (1967) tyto výsledky měli velmi podobné, avšak dodávají, že s přibývajícím věkem se negativní vliv inbreedingu na zevnějšek skotu snižuje.

Mikšík (1976) dodává, že pokud pozorujeme jalovici s koeficientem inbreedingu  $F_X = 6,25 \%$  a menším, nemusí se nám inbrední deprese projevit a patrně se více projeví individualita otce.

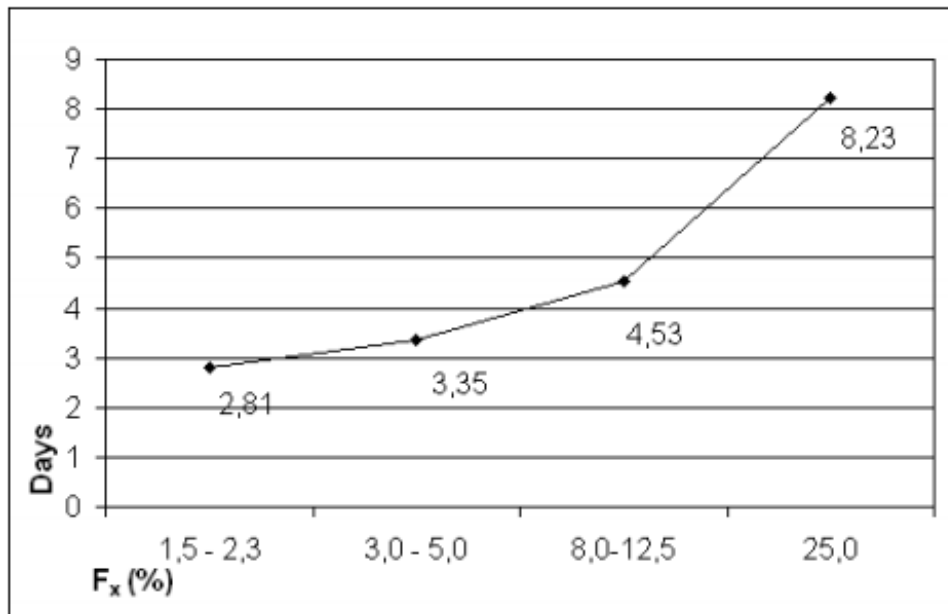
### 3.5.3. Vliv na reprodukční ukazatele a reprodukci

#### 3.5.3.1. Vliv na reprodukční ukazatele

Výše uvedené negativní vlivy inbreedingu již prokázané na úrovni gamet ovlivňují další reprodukční vlastnosti, které jsou sledovány chovatelem, jako jsou počet inseminací potřebných k zabřeznutí, délka servis periody, délka mezidobí, schopnost zabřeznout aj. Touto problematikou se zabývala řada autorů.

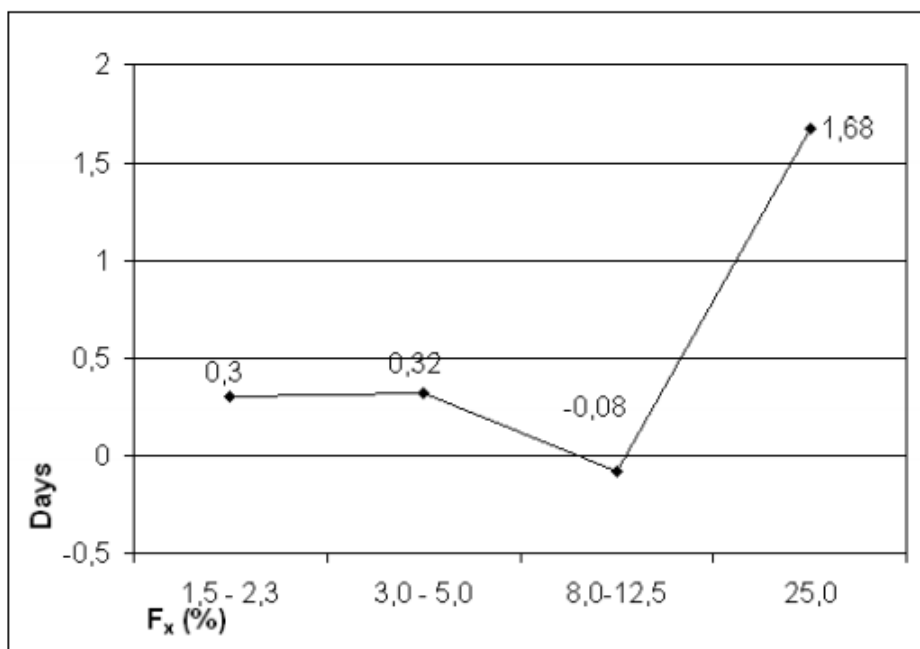
U krav je jedním z nejdůležitějších reprodukčních ukazatelů délka servis periody. Inbrední deprese se u tohoto znaku výrazně projevuje. Bezdíček et al. (2007) tento jev zkoumal v Česku v populaci holštýnského skotu. V jejich práci pozorují a srovnávají inbrední krávy a jejich neinbrední vrstevnice. Interval  $F_X$  činil 1,5 % až 25 %. Prokázali, že prodloužení délky servis periody souvisí se zvýšením koeficientu  $F_X$ . U nejnižších hodnot koeficientu  $F_X$  zaznamenali nejnižší nárůst (+2,81 dne). Naopak nejvyšší nárůst sledovali na úrovni  $F_X = 25$  % a to (+8,23 dne). Uvedené rozdíly odpovídají následně vypočítaným korelačním a regresním koeficientům. Byla stanovena velmi nízká pozitivní korelace mezi koeficientem  $F_X$  a rozdílnou dobou trvání servis periody;  $r = 0,023$ . Koeficient regrese byl  $b_{YX} = 0,22$  dne (kde  $x$  = koeficient  $F_X$  v %,  $y$  = rozdíl v délce servis periody mezi inbredními a neinbredními krávami ve dnech). Zvýšení koeficientu  $F_X$  o 1 % prodloužilo délku servis periody o 0,22 dne.

K velmi podobným výsledkům došli i Cassell et al. (2003), kteří sledovali prodloužení servis periody o 0,15 dne při nárůstu koeficientu  $F_X$  o 1 %. Hoeschele (1991) zaznamenal nárůst délky servis periody o 2,6 dne u  $F_X = 25$  %. O částečně větší regresi píše Hermas et al. (1987) také pozorovali vliv inbreedingu v rozmezí koeficientu  $F_X = 0 - 25,3$  %. Sledování bylo prováděno u krav plemene Guernsey. Délka servis periody se tak podle nich při nárůstu  $F_X$  o 1 % prodloužila u inbredních zvířat o 2,3 dne.



Graf 1: Projev inbrední deprese u délky servis periody po prvním otelení (ve dnech) (Bezdíček et al., 2007).

Hodges et al. (1979) nezjistili žádný efekt inbreedingu na délku březosti. Dle Bezdíčka et al. (2007) existuje malý a bezvýznamný nárůst délky březosti u inbredních zvířat ve srovnání s jejich neinbredními vrstevnicemi. Rozdíly jsou větší u skupin zvířat s vyšším koeficientem  $F_x$ . Největší rozdíl (+1,68 dne) byl zaznamenán u koeficientu  $F_x = 25 \%$ . Uvedené rozdíly odpovídají následně vypočteným hodnotám korelačního a regresního koeficientu. Byla zhodnocena velmi nízká pozitivní korelace mezi koeficientem  $F_x$  a rozdílem délky březosti;  $r = 0,0658$ . Koeficient regrese byl  $b_{YX} = 0,063$  dne (kde  $x$  = koeficient  $F_x$  v %,  $y$  = rozdíl v délce březosti mezi inbredními a neinbredními krávami ve dnech). Nárůst koeficientu  $F_x$  o 1 % prodloužil délku březosti o 0,063 dne.



Graf 2: Projev inbrední deprese na délku březosti (Bezdíček et al., 2007).

Vliv inbreedingu na věk při prvním otelení hodnotili Smith et al. (1998). Pozorovali krávy narozené v letech 1983 až 1993, jejichž počet byl 2 610 123. Prokázali účinky inbrední deprese, a to zvýšení věku o 0,55 dne při prvním otelení, snížení celoživotní délky produkce o 6 dní a kratší dobu laktace o 4,8 dne při zvýšení koeficientu  $F_x$  o 1 %. Mezidobí po I. laktaci se prodloužilo o 0,31 dne. Průměrný věk při otelení tak byl 841 dní.

Vztah inbreedingu a věku při prvním otelení pozorovali u Guernseyského skotu v USA Hermas et al. (1987). Zvířata zahrnutá do analýzy pocházela ze dvou stád a pocházeli z let 1958 až 1981. Hodnota jejich průměrného koeficientu  $F_x$  byla 4,1 % (rozmezí 0 - 25,3 %). Sledovaná inbrední zvířata vykazovala snížený věk při otelení o 3,7 dne při každém nárůstu koeficientu  $F_x$ . Průměrný věk při prvním otelení tak byl 785 dní.

V České republice zkoumali vliv inbreedingu na věk při prvním otelení Bezdíček et Říha (2010), kteří rozdělili inbrední krávy a jejich neinbrední vrstevnice do skupin. Skupiny byly vytvořeny na základě jejich stupně  $F_x$  (1,25; 12,5; 25 %). Dle výsledků byl u inbredních krav s vyššími hodnotami  $F_x$  prokázán vyšší věk při první otelení než u neinbredních



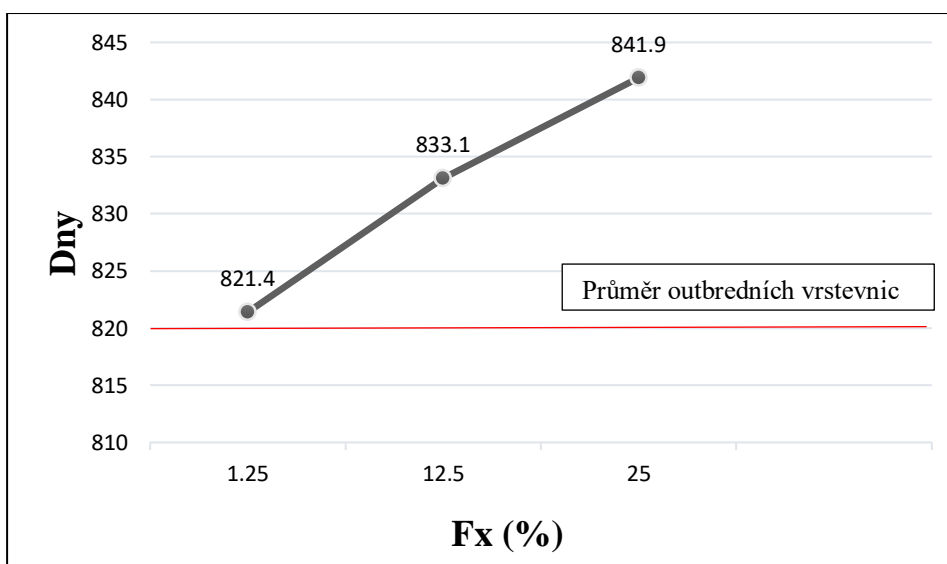
vrstevnic. U nejvyšších hodnot  $F_X$  se jednalo o zvýšení věku až o 22 dní.  $F_X = 1,25\%$  (+1,4 dne);  $F_X = 12,5\%$  (+13,1 dne) a  $F_X = 25\%$  (+21,9 dne).

Wall et al. (2005) sledovali zhoršení reprodukčních znaků. Při inbreedingu 10 % uvádí prodloužení mezidobí o 2,8 dne.

Vliv inbreedingu u holštýnského a jerseykého skotu vyhodnotili Thompson et al. (2000a; 2000b). Inbrední krávy s  $F_X > 10\%$  vykazovaly nárůst věku při prvním otelení o 26 dnů u holštýnského skotu a 25 dnů u jerseykého skotu.

Mikšík et al. (1978) pozorovali průkazný pokles březosti při inbredním páření po první inseminaci. Uvedli snížení březosti o 6,9 %. Hodnot inseminačních indexů však dosahovala inbrední i neinbrední zvířata stejně.

Autoři dodávají skutečnost, že plodnost je více ovlivněna různými vnějšími faktory. Ahmad et al. (1973) poukazují na nesignifikantní zkrácení reprodukčních ukazatelů. Autoři pozorovali při nárůstu  $F_X$  o 1 % snížení věku při prvním otelení o 1,2 dne. Mezidobí mezi prvním a druhým telení se zkrátilo o 1,1 dne.



Graf 3: Nárůst věku při prvním otelení inbredních krav (Bezdiček et Říha, 2010).

### 3.5.3.2.Vliv na kvalitu embryí

V poslední době se vliv příbuzenské plemenitby sledoval až na úroveň gamet (vajíček a spermií). Následně se zkoumalo množství a kvalita embryí. Až teprve nové moderní postupy v oblasti reprodukce pomohly k pochopení těchto závislostí. Těmito postupy jsou oplození in vitro (Firman et Simmons, 2015) a přenosy embryí. Dalším objevem v této oblasti byla např. endokrinologie. Její výzkumy probíhaly především v chovu skotu. Tam se stala technikou zvládnutou a umožnila následný výzkum u dalších druhů hospodářských i ohrožených zvířat.

Bezdíček et al. (2014) sledovali 125 holštýnských krav na 3 farmách v České republice. Mezi těmito krávy bylo 89 neinbredních a 36 inbredních. Celkem bylo získáno 716 embryí. 562 embryí se získalo od neinbredních krav a 199 od inbredních. Inbrední krávy byly rozděleny do 2 skupin dle velikosti koeficientu inbreedingu. První skupinu tvořila zvířata s velikostí koeficientu inbreedingu  $F_x$  v rozmezí 1,26 - 1,56 %, ve které bylo zařazeno 23 krav s 147 embryí. Ve druhé skupině byly zástupkyně s koeficientem inbreedingu  $F_x$  v rozmezí 3,1 - 25 %, kde bylo 13 krav s 52 embryí. Výsledky výzkumu potvrdily negativní dopad inbreedingu na kvalitu a zisk embryí. Nejhorší výsledky měla skupina inbredních krav s vyšším koeficientem inbreedingu (3,1 - 25 %).

### 3.5.3.3.Vliv na kvalitu spermií

S využitím údajů o původu Maximini et al. (2010) vypočítali koeficienty inbreedingu u 715 rakouských býků simentálského skotu s kombinovanou užitkovostí. Býci byli ustájeni ve dvou inseminačních stanicích a kvalita spermií byla zjišťována z 29 787 ejakulátů. Výpočet zahrnoval a zohledňoval i fixní vlivy jako měsíc a rok odběru, věk býka, počet sběrů na býka a den apod. Bylo zkoumáno 5 parametrů kvality spermatu a to objem, koncentrace, motilita, počet spermií v ejakulátu a procento životaschopných (oplozeníschopných) spermií.

I přes poměrně nízké koeficienty inbreedingu (průměr 1,3%) vykazovaly všechny znaky kvality spermatu příznaky inbrední deprese. Ve čtyřech z pěti charakteristik alespoň v jednom z datových souborů významně. Průměrně však hovoříme o významném účinku inbreedingu na motilitu spermií. V průměru se očekává, že zvíře s koeficientem inbreeding 10 % bude mít 1,5 ml méně ejakulátu,  $2,4 \times 10^9$  méně celkových spermií a 3 % méně životaschopných spermií na ejakulát. I přes to, že veličina inbrední deprese byla malá, což

mohl způsobit předběžný výběr býků v inseminační stanici, doporučuje se tyto vlivy sledovat, aby se včas předešlo nerozpoznanému zhoršení vlastností spermií.

Fulka et al. (1978) informují i o odchylkách ve složení akrozomu.

### **3.5.3.4. Vliv na porody**

Porodní problémy jsou závažným problémem v chovu skotu. Dle Meayer et al. (2001) každá pátá kráva potřebuje při porodu pomoc. Intenzivní selekce na vysoké výnosy zredukovala populaci a zvýšila průměrný koeficient inbreedingu v rámci všech čistokrevných plemen. Průměrný koeficient inbreedingu byl pro krávy holštýnského plemene narozených v roce 2004 okolo 5,0 % a pro jerseyký skot okolo 7,1 % (Animal Improvement Programs Laboratory, 2005).

Spousta autorů diskutovala o tom, zdali při problémech při porodu nese vinu inbrední matka nebo inbrední plod (Weller et Gianola, 1989; Boettcher et al., 2010; Cole et al., 2005). Došli k závěru, že porody ovlivňuje jak inbreeding na straně matky, tak i na straně plodu.

Young et al. (1969) zveřejnil informaci o poklesu porodní hmotnosti o 0,11 kg při nárůstu  $F_x$  u plodu o 1 %. Menší telata se rodí snadněji, ale mohou být náchylná k porodnímu úhynu.

Ukázalo se, že mateřský inbreeding snižuje růst prvotetek, což potencionálně zvyšuje těžké porody a možnost narození mrtvého plodu. Young et al. (1969) uvedli, že prvotelky měly při svém prvním porodu o 1,45 kg menší hmotnost při nárůstu  $F_x$  o 1 %. Adamec et al. (2006) ve své studii uvádějí, že mírný inbreeding ( $F_x = 1,5 - 3,7$  %) bude zvyšovat riziko těžkého porodu o 0,92 % u býčka a o 0,66 % u jalovičky. Riziko porodu mrtvého plodu byla inbreedingem zvýšena o 0,55 % a 0,44 %. Tyto efekty byly zaznamenány hlavně při prvním otelení. S počtem telení se efekt inbreedingu čím dál více snižoval. Taková míra vlivu inbreedingu nezpůsobila žádnou změnu ve šlechtitelských programech, avšak tento vliv se přidal k dalším zjištěným problémům souvisejících s inbreedingem.

Young et al. (1969) dodává, že krávy s  $F_x$  mezi 0 a 12,5 % měly větší riziko výskytu dystokie o 1 %. Krávy s  $F_x$  mezi 12,5 % a 25 % měly riziko o 3 % větší oproti neinbredními krávám. Mc Parland et al. (2007) zvýšený výskyt dystokie potvrzuje a udává o 2 % větší pravděpodobnost výskytu této poruchy a také větší výskyt mrtvě narozených plodů.

### 3.5.3.5. Vliv na počet potomků

Dle Tylera (1963) zřejmě neexistují žádné zprávy o účincích inbreedingu na výskyt vícečetných porodů u skotu. Incidence dvojčat je v inbrední populaci holštýnského skotu stejně jako v neinbrední populaci okolo 3,3 %. Další informace o tomto problému přinesli Labhsetwar et al. (1963), který ve stejném roce pozoroval první tři březosti u krav ve stejném stádě a uvedl, že inbrední krávy měly významně nižší výskyt mnohonásobných ovulací než outbrední krávy (3,2 % vs 5,2 %).

Adamec et al. (2006) se přidávají k tvrzení, že inbreeding neovlivňuje výskyt dvojčat. Výskyt dvojčat v jejich souboru zvířat činil 2,5 % a nikterak ovlivněn inbreedingem nebyl.

## 3.6. Možnosti snížení vlivu inbreedingu na mléčnou produkci u skotu

Bezdiček et al. (2005) tvrdí, že v současné době dochází ke genetickému sjednocování populace skotu vlivem celosvětové selekce na mléčnou užitkovost a intenzivního využívání otců býků. Dochází ke zvyšování koeficientu inbreedingu tím, že se ve světě využívají při plemenitbě jen ti nejlepší plemenici z populace dojného skotu. Například analýza původu býků holštýnského plemene narozených v USA v roce 1990 odhalila, že až téměř čtvrtina býků měla ve svém původu plemeníka Pawnee Farm Arlinda Chief (1962) nebo býka Round Oak Apple Elevation (1965). Ještě výraznějším problémem je příbuzenská plemenitba u plemen, kde je menší populace aktivních zvířat. Rizikovým faktorem, který vede ke zvyšování koeficientu  $F_x$ , je menší využívání přípařovacích skupin. Dále také aktualizace plemenných hodnot, což umožňuje výběr nejlepších býků po delší období. Snadná dostupnost inseminačních dávek a zvýšená informovanost o nejlepších plemenících v jednotlivých zemích způsobila celosvětové zvyšování počtu inbredních zvířat, která mají v určitém stupni společné předky, ať už ze strany otce či ze strany matky. Šlechtitelské a plemenářské organizace se snaží příbuzenské plemenitbě předcházet, a pomáhají chovatelům s výběrem býků do konkrétního chovu. Čeští chovatelé mají možnost úroveň příbuzenské plemenitby monitorovat díky měsíčním sestavám narozených telat uvádějící hodnotu koeficientu inbreedingu.

Východisko v podobě změny systému selekce přináší Miglior (2000), jelikož současný systém přináší sice maximální genetický zisk, ale zároveň i neustálý nárůst inbreedingu. Dále navrhuje páření elitních i neelitních zvířat a rozšířit zásobu plemeníků. Řešením by také bylo vyřadit zvířata z chovu, u kterých je hodnota koeficientu  $F_x$  rovna nebo vyšší než 6,25 %.

Pečlivé sledování rodokmenu v chovu zvířat a používání individuálního přípařovacího plánu je také dobrým způsobem, jak zamezit nárůstu koeficientu inbreedingu ve stádě. Tyto plány se dají snadno sestavit počítačovými softwary (Bezdíček et al., 2010).

Mnohé chovatelsky vyspělé země věnují značnou pozornost genetickému zdraví chovaných jedinců, jak uvádí Čítek et al. (2006). Příkladem může být používání programu, který odhalí přenašeče nežádoucích recesivních alel. Takto získané informace se dlouhodobě ukládají, takže je snadné odhalit jedince, jenž nese jakoukoli patologickou alelu, která způsobuje určitou tělesnou abnormalitu, nedostatek různých enzymů nebo biochemickou poruchu.

## 4. Závěr

O příbuzenské plemenitbě hovoříme jako o významné a využívané metodě plemenitby, díky níž můžeme posilovat a upevňovat určité znaky v souvislosti se zvyšováním homozygotnosti. S ohledem na její historii nemůžeme opomenout její pozitivní význam, kdy se pomocí příbuzenské plemenitby podařilo ukotvit a posílit hospodářsky užitečné znaky. Nicméně je potřeba ji používat opatrně, jelikož nemusí docházet k upevňování pouze žádoucích znaků, ale také čistě nevhodných vlastností a recesivně podmíněných vad. Příkladem těchto poruch může být např. dědičné onemocnění CVM či BLAD.

Důvodem současného nárůstu inbreedingu v populaci skotu je bezpochyby umělá inseminace, ve které se chovatelé snaží využívat jen malé procento býků plemeníků a zároveň je používat po co nejdélejší možnou dobu. Což vede k páření příbuzných zvířat v dalších generacích.

Příbuzenská plemenitba má negativní dopad v podobě inbrední deprese, která u skotu ovlivňuje hlavně mléčnou produkci a reprodukci. Inbrední zvířata v porovnání s neinbredními jedinci vždy vykazovala sníženou produkci mléka a mléčných složek. Tato skutečnost negativně ovlivňuje ekonomickou efektivnost. K ovlivnění mléčné produkce dochází už při nízkém stupni inbreedingu, tudíž snahou chovatelů by mělo být vyvarovat se tomuto jevu.

S mléčnou produkcí úzce souvisí reprodukce, která byla příbuzenskou plemenitbou negativně ovlivněna. Inbrední zvířata vykazovala horší zabřezávání, prodloužení servis periody, častější potraty plodů a těžké porody mláďat. Tomuto chovatelé mohou předejít kontrolováním rodokmenů, důkladnou evidencí zvířat a vytvářením individuálních přípařovacích plánů.

## 5. Zdroje

Adamec, V., Cassell, B.G., Smith, E.P., Pearson, R.E. 2006. Effects of inbreeding in the dam on dystocia and stillbirths in US Holsteins. *Journal of dairy science*. 89(1). 307-314.

Agerholm, J.S., Bendixen, C., Andersen, O., Arnbjerg J. 2001. Complex vertebral malformation in Holstein calves. *Journal of veterinary diagnostic investigation*. 13(4). 283–289.

Allaire, F. R., Henderson, C. R. 1965. Inbreeding within an artificially bred dairy cattle population. *Journal of dairy science*. 48(10). 1366-1371.

Animal improvement programs laboratory. 2005. Inbreeding coefficients for Holstein cows. Arabian oryx. *Animal conservation*. (3). 241-248.

Bellér, I., Plesnik, J. 1974 Pôsobenie príbuzenskej plemenitby na úžitkovosť dojníc. *Živočišná výroba*. 19. 117-124.

Bezdíček, J. Říha, J. 2010. Evaluation of the effect of inbreeding on age at first calving in Holstein cows. *Journal of animal science*. 88(2).

Bezdíček, J., Louda, F., Šubrt, J. 2010. Projev inbrední deprese u znaků mléčné užitkovosti. Rapotín. *Agrovýzkum Rapotín*. ISBN 978-80-260-0700-5.

Bezdíček, J., Louda, F., Šubrt, J. 2010. Vliv inbrední deprese na znaky reprodukce. Rapotín. *Agrovýzkum Rapotín*. ISBN 978-80-260-0701-2.

Bezdíček, J., Šubrt, J., Filipčík, R. 2005. Příbuzenská plemenitba a mléčná produkce prvotetek. *Náš chov*. 3. 20-24.

Biffani, S., Samore´, A.B., Canavesi, F. 2002. Inbreeding depression for production, reproduction and functional traits in Italian Holstein cattle. *Proceeding world congress on genetics applied to livestock production*. Montpellier. France. 183-186.

- Bittles, A. H., Black, M. L. 2010. Consanguinity, human evolution and complex diseases. *Proceedings of the National academy of sciences*. 107(1). 1779-1786.
- Boettcher, P. J., Wang, Y. 2000. Estimates of heritabilities for defective type characteristics of Canadian Holsteins. Report to the technical committee of the dairy genetic evaluation board.
- Bouška, J. Příbyl, J., Sedmíková, M., Kudrna, V. 2006. Chov dojeného skotu. 1. vydání Praha. Profi Press. 186 s. ISBN 80-8726-16-9.
- Broman, K. W., Weber, J. L. 1999. Long homozygous chromosomal segments in reference families from the centre d'Etude du polymorphisme humain. *The American journal of human genetics*. 65(6). 1493-1500.
- Casanova, L., Hagger, C., Kuenzi, N. 1992. Inbreeding in Swiss Braunvieh and its influence on breeding values predicted from a repeatability animal model. *Journal of dairy science*. 75(4). 1119–1126.
- Cassell, B. G., Adamec, V., Pearson, R. E. 2003. Effect of incomplete pedigrees on estimates of inbreeding and inbreeding depression for days to first service and summit milk yield in Holsteins and Jerseys. *Journal of dairy science*. 86(9). 2967-2976.
- Cole, J. B., R. C. Goodling, Jr., G. R. Wiggans, and P. M. VanRaden. 2005. Genetic evaluation of calving ease for Brown Swiss and Jersey bulls from purebred and crossbred calvings. *Journal of dairy science*. 88(4). 1529–1539.
- Croquet, C., Mayeres, P., Gillon, A., Vanderick, S., Gengler, N. 2006. Inbreeding depression for global and partial economic indexes, production, type and functional traits. *Journal of dairy science*. 89(6). 2257-2267.
- Cruden, D. 1949. The computation of inbreeding coefficients for closed populations. *The Journal of heredity*. 40(9). 248-251.



- Curik, I., Ferenčaković, M., & Sölkner, J. 2014. Inbreeding and runs of homozygosity: a possible solution to an old problem. *Livestock science*. 166. 26-34.
- Curik, I., Zechner, P., Sölkner, J., Achmann, R., Bodo, I., Dovc, P., Kavar, T., Marti, E., Brem, G. 2003. Inbreeding, microsatellite heterozygosity, and morphological traits in Lipizzan horses. *Journal of heredity*. 94(2). 125-132.
- Čítek, J., Řehout, V., Rubeš, J., Hájková, J., Staňková, K. 2006. Genetické zdraví skotu. *Náš chov*. 6. 24-27.
- Edmands., S. 2006. Between a rock and a hard place: evaluating the relative risks of inbreeding and outbreeding for conservation and management. *Molecular ecology*. 16(3). 463-475.
- Edwards, A., Civitello, A., Hammond, H. A., Caskey, C. T. 1991. DNA typing and genetic mapping with trimeric and tetrameric tandem repeats. *American journal of human genetics*. 49(4). 746–756.
- Ferencakovic, M., Hamzic, E., Gredler, B., Curik, I., Sölkner, J. 2011. Runs of homozygosity reveal genome-wide autozygosity in the Austrian Fleckvieh cattle. *Agriculturae conspectus scientificus*. 76(4). 325-329.
- Gaalass, R. F., Harvey, W. R., Plowman, R. D. 1962. Effect of inbreeding on production in different lactations. *Journal of dairy science*. 45(5). 671.
- Gulisija, D., Gianola, D., Weigel, K.A. 2007. Nonparametric analysis of the impact of inbreeding on production in Jersey cows. *Journal of dairy science*. 90(1). 493–500.
- Hamanová, K., Hruban, V. 2000. Incest a genetické zatížení: příbuzenské křížení u zvířat. *Vesmír*. 79. 85-87.
- Hermas, S.A., Young, C.W., Rust, J.W. 1987. Effects of mild inbreeding on productive and reproductive performance of Guernsey cattle. *Journal of dairy science*. 70(3). 712–715.

- Hodges, J., Tannen, L., Mc Gillivray, B.J., Hiley, P.G., Ellis, S. 1979. Inbreeding levels and their effect on milk, fat and calving interval in Holstein-Friesian cattle. *Canadian journal of animal science*. 59(1). 153–158.
- Hoeschele, I. 1991. Additive and nonadditive genetic variance in female fertility of Holsteins, *Journal of dairy science*. 74(5). 1743-1752.
- Hrouz, J., Šubrt, J. 2007. *Obecná zootechnika. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Brno. 207 s. ISBN: 978-80-7375-115-9.*
- Chu, Q., Sun, D., Yu, Y., Zhang, Y., Zhang, Y. 2008. Identification of complex vertebral malformation carriers in Chinese Holstein. *Journal of veterinary diagnostic investigation*. 20(2). 228–230.
- Jakubec, V., Bezdíček, J., Louda, F. 2010. *Selekce-inbríding-hybridizace. Rapotín: Agrovýzkum Rapotín. ISBN 978-80-87144-22-0.*
- Kasarda, R., Kadlečík, O. 2007. An economic impact of inbreeding in the purebred population of Pinzgau cattle in Slovakia on milk production traits. *Czech journal of animal science*. 52(1). 7.
- Kehrli, M.E., Jr., Ackermann, M.R., Shuster, D.E., van der Maaten, M.J., Schmalstieg, F.C. Anderson, D.C. 1992. Animal model of human disease: bovine leukocyte adhesion deficiency:  $\beta_2$  integrin deficiency in young Holstein cattle. *The American journal of pathology*. 140(6). 1489–92.
- Koželuha, V. 1965. *Obecná zootechnika. Státní pedagogické nakladatelství Praha. 560 s.*
- Krogmeier, D., Aumann, J., Avendunk, G. 1997. Inbreeding in German Gelbvieh and German Braunvieh. *Züchtungskunde*. 69(4). 233-243.
- Krosigk, C.M., Lush, J.L. 1958. Effect of inbreeding on production in holsteins. *Journal of dairy science*. 41(1). 105-113.

- Kučera J., Chládek G. 2001. Je inbreeding problém jen v Kanadě? *Náš chov*.
- Labhsetwar, A.P., Tyler, W.J., Casida, L.E. 1963. Genetic and environmental factors affecting quiet ovulations in Holstein cattle. *Journal of dairy science*. 46(8). 843-845.
- Lehndorf, G. 1883. *Horse breeding recollections*. Bodleian library. Oxford.
- Louda, F., Vaněk, D., Ježková, A., Stádník, L., Bjelka, M., Bezdíček, J., Pozdíšek, J. 2008. *Uplatnění biologických zásad při řízení reprodukce plemenic*. Výzkumný ústav pro chov skotu, s.r.o. Rapotín. 55. ISBN: 978-80-87144-05-3
- Malécot, G. 1948. *Les Mathématiques de l'Hérédité*. Paris. Masson et Cie. 63 s.
- Marshall, T.C., Spalton, J.A. 2000. Simultaneous inbreeding and outbreeding depression in reintroduced Arabian oryx. *Animal conservation*. 3(3). 241-248
- Maximini, L., Fuerst-Waltl, B., Gredler, B., Baumung, R. 2011. Inbreeding depression on semen quality in Austrian dual-purpose Simmental bulls. *Reproduction in domestic animals*. 46(1). 102–104.
- McQuillan, R., Leutenegger, A., Abdel-Rahman, R., Franklin, C., Pericic, M., Barac-Lauc, L., Smolej-Narancic, N., Janicijevic, B., Polasek, O., Tenesa, A., Macleod, A., Farrington, S., Rudan, P., Hayward, C., Vitart, V., Rudan, I., Wild, S., Dunlop, M., Wright, A., Campbell, H., Wilson, J. 2008. Runs of homozygosity in European populations. *The American journal of human genetics*. 83(3). 359–372.
- Meyer, C. L., Berger, P. J., Koehler, K. J., Thompson, J. R., Sattler, C. G. 2001. Phenotypic trends in incidence of stillbirth for Holsteins in the United States 1. *Journal of dairy science*. 84(2). 515-523.
- Miglior, F. 1992. Analysis of levels of inbreeding and inbreeding depression in Jersey cattle. *Journal of dairy science*. 75(4). 1112-1118.

- Miglior, F. 1995a. Inbreeding of Canadian Holstein cattle. *Journal of dairy science*. 78(5). 1163-1167.
- Miglior, F. 1995b. Production traits of Holstein cattle-estimation of nonadditive genetic variance components and inbreeding depression. *Journal of dairy science*. 78(5). 1174-1180.
- Miglior, F. 2000. Impact of inbreeding - managing a declining Holstein gene pool. *Proceedings of the 10th World Holstein Friesian federation conference*. Sydney. Australia. 108-113.
- Miglior, F., Burnside, E. B., Dekkers, J. C. 1995. Nonadditive genetic effects and inbreeding depression for somatic cell counts of Holstein cattle. *Journal of dairy science*. 78(5). 1168-1173.
- Mikšík, J. 1976. Intenzita růstu u inbredního potomstva českého strakatého skotu. *Živočišná výroba*. 21. 389-395.
- Mikšík, J., Kadečka, J. 1979. Mléčná užitkovost na I. laktaci u inbredních krav českého strakatého skotu. *Živočišná výroba*. 24. 131-136.
- Miller, P. S. 1995. Selective breeding programs for rare alleles: Examples from the Przewalski's horse and californian condor pedigrees. *Conservation biology*. 9(5). 1262-1273.
- Mirhabibi, S., Manafiazar, G.H., Qaravisi, S. H., Mahmoodi, B. 2007. Inbreeding and its effect on some productive traits in buffaloes of South Iran. *Italian journal of animal science*. 6(2). 372-374.
- Mrode, R., Swanson G.J.T., Paget, M.F. 2004. Computing inbreeding coefficients and effects of inbreeding, heterocyst and recombination loss on evaluations for lifespan and somatic cell count in the UK. *Interbull bulletin*. 32. 109-112.
- Mrode, R.A., Swanson, G.J.T. 1996. Genetic and statistical properties of somatic cell count and its suitability as an indirect means of reducing the incidence of mastitis in dairy cattle. *Animal breeding abstracts*.

- Parland, M.C. S., Kearney, J. F., Rath, M., Berry, D. P. 2007. Inbreeding effects on milk production, calving performance, fertility and conformation in Irish Holstein–Friesians. *Journal of dairy science*. 90(9). 4411–4419.
- Purfield, D. C., Berry, D. P., McParland, S., Bradley, D. G. 2012. Runs of homozygosity and population history in cattle. *Bmc genetics*. 13(1). 70.
- Rafat, S., Naghshineh, S., Moghaddam, G., Ebrahimi, M., Shodia, J. 2015. Calculation of inbreeding depression effects on subclinical mastitis using three different models. *Iranian journal of applied animal science*. 5(4). 845-851
- Ruść, A., Kamiński, S. 2007. Prevalence of complex vertebral malformation carriers among Polish Holstein-Friesian bulls. *Journal of applied genetics*. 48(3). 247-252.
- Sheridan, P. M., Karowe, D. N. 2000. Inbreeding, outbreeding, and heterosis in the yellow pitcher plant. *Sarracenia flava* (Sarraceniaceae), in Virginia. *American journal of botany*. 87(11). 1628-1633.
- Slate, J., David, P., Dodds, K. G., Veenvliet, B. A., Glass, B. C., Broad, T. E., McEwan, J. C. 2004. Understanding the relationship between the inbreeding coefficient and multilocus heterozygosity: theoretical expectations and empirical data. *Heredity*. 93(3). p. 255.
- Smith, L. A., Cassell, B. G., Pearson, R. E. 1998. The effects of inbreeding on the lifetime performance of dairy cattle. *Journal of dairy science*. 81(10). 2729-2737.
- Snustad, D. P., Simmons, M. J., Relichová, J. 2009. *Genetika*. Brno. Masarykova univerzita.
- Sölkner, J., Ferencakovic, M., Gredler, B., Curik, I. 2010. January. Genomic metrics of individual autozygosity, applied to a cattle population. In 61st annual meeting of the European association of animal production.
- Sørensen A.C., Madsen P., Sørensen M.K., Berg P. 2006. Udder health shows inbreeding depression in Danish Holsteins. *Journal of dairy science*. 89(10). 4077-4082.

- Sutherland, T. M., Lush, J. L. 1962. Effects of inbreeding on size and type in Holstein-Friesian cattle. *Journal of dairy science*. 45(3). 390–395.
- Thompson, G. M., Freeman, A. E. 1967. Effects of inbreeding and selection in a closed Holstein-Friesian herd. *Journal of dairy science*. 50(11). 1824-1827.
- Thompson, J. R., Everet, R. W., Wolfe, C. W. 2000a. Effects of Inbreeding on production and survival in Jerseys. *Journal of dairy science*. 83(9). 2131-2138.
- Thompson, J. R., Everett, R. W., Hammerschmidt, N. L. 2000b. Effects of inbreeding on production and survival in Holsteins. *Journal of dairy science*. 83(8). 1856–1864.
- Váchal, J., Teslík, V. 1971 Výzkum příbuzenské plemenitby u českého strakatého skotu. *Živočišná výroba*. 16. 735-744.
- Van Tassell, C.P., Misztal, I., Varona, L. 2000. Method R estimates of additive genetic, dominance genetic and permanent environmental fraction of variance for yield and health traits of Holsteins. *Journal of dairy science*. 83(8). 1873-1877.
- Weller, J. I., Gianola, D. 1989. Models for genetic analysis of dystocia and calf mortality. *Journal of dairy science*. 72(10). 2633–2643.
- Wolc, A, Jozwiakowska-Nitka, M, Szablewski, P. Swaczkowski, T. 2008. Inbreeding in captive bred Przewalski horses from local populations. *Folia zoologica*, 57(3). p. 300.
- Young, C. W., Tyler, W.J., Freeman, A.E., Voelker, H.H., McGilliard, L.D., Ludwick, T.M. 1969. Inbreeding investigations with dairy cattle in the North central region of the United States. Agricultural experiment station. University of Minnesota.
- Zahrádková, R. 2009. Masný skot od A do Z. Český svaz chovatelů masného skotu. Praha. 397 s. ISBN: 978-80-254-4229-6.