

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Biologie a ochrana zájmových organismů

Katedra: Katedra biologických disciplín

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Ing. Josef Rajchard, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Stanovení pozičního chování savců se zaměřením na
magnetické pole Země**

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. František Sedláček, CSc

Autor diplomové práce: Bc. Lucie Folejtarová

České Budějovice, duben 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pouze za použití pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě v úpravě vzniklé vypuštěním význačných částí archivovaných Zemědělskou fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, 21. dubna 2017

Podpis

Poděkování:

Děkuji především mému školiteli doc. RNDr. Františku Sedláčkovi, CSc. za vedení mé diplomové práce. Také bych ráda poděkovala svojí rodině a přátelům za vřelou podporu v průběhu mého studia a případné rady při psaní této práce.

Abstrakt

V současné době je velká pozornost věnována magnetoreceptci, neboli schopnosti živočichů vnímat magnetické pole Země. Právě s tímto objevem souvisí poziční chování zvířat (magnetický alignment) v magnetickém poli a světový fenomén „magnetického skotu“. Magnetický alignment je spontánní (vrozené) chování, kdy se zvíře svou tělní osou staví do pozice sever – jih nebo východ – západ. Většina studií prokázala severo – jižní směrovou preferenci. Tato práce přispívá k osvětlení pozičního chování skotu během denního cyklu. Studie je založena na odlišném sběru dat a je zaměřena na jednotlivce ve stádě. Jedinci byli fotografováni v daném směru v hodinových intervalech. Na základě toho byla u 26 jedinců skotu ze tří různých stád určena směrová preference. Zvířata se orientovala převážně východním nebo západním směrem. Statisticky průkazné výsledky byly získány také v několika případech severo – jižní směrové preference. Diskutovány jsou zde i podmínky prostředí, které mohou konečný výsledek ovlivnit. U neprůkazných výsledků byli jedinci pravděpodobně rozdílně motivováni přechodně důležitějšími lokálními stimuly.

Klíčová slova: magnetorecepce, magnetický alignment, skot, orientace

Abstract

Currently, much attention is paid to magnetoreception, a sense which allows an organism to detect a magnetic field of the earth. Now, this discovery is related to positional behaviour of animals (magnetic alignment) in the magnetic field and the world phenomenon of „magnetic cows“. The magnetic alignment is a spontaneous (congenital) behaviour, when the animal puts its body axis into the positions of north - south or east - west. Most studies have demonstrated the north - south direction preference. This work contributes to clarify positional behaviour of cattle during the daily cycle. This study is based on a different data collection and is targeted at individuals in the herd. Individuals were photographed in a given direction, at hourly intervals. The magnetic alignment was determined in 26 individuals from three different cattle herds, mainly east or west. Statistically significant results during daily cycles in individual intervals also confirmed the north - south direction preference. There were also discussed the environmental conditions that may affect the final result. For inconclusive results, the individuals were probably motivated by temporarily more important local incentives.

Key words: magnetoreception, magnetic alignment, cattle, orientation

Obsah

1.	Úvod a cíle práce	9
2.	Literární přehled	11
1.1	Základní vlastnosti magnetického pole Země	11
1.2	Magnetorecepce	11
1.3	Poziční chování (magnetický alignment)	13
3.	Metodika	16
4.	Výsledky	17
5.	Diskuse	24
6.	Závěr	27
7.	Literatura	28
8.	Přílohy	31

1. Úvod a cíle práce

V současné době je velká pozornost vědeckých studií a médií věnována poměrně nově objevenému „šestému“ smyslu živočichů, zvanému magnetorecepce, neboli schopnosti vnímat magnetické pole Země. Právě s tímto objevem souvisí poziční chování zvířat v magnetickém poli a světový fenomén „magnetického skotu“.

Schopnost vnímat magnetické pole byla prokázána od nejprimitivnějších bakterií přes bezobratlé živočichy (hmyz, měkkýši, korýši), dále pak ryby, obojživelníky, plaze až po ptáky a savce. Magnetorecepce má význam převážně pro navigaci migrujících živočichů (ptáci, želvy, ryby), pro orientaci v podmínkách špatné viditelnosti (kálná voda, podzemí, zatažená obloha), a kde nelze přirozeně využívat jiných smyslů – např. u hlodavců žijících trvale v podzemí (Burda et al. 1990, Kimchi & Terkel 2001) nebo u nočních netopýrů (Holland et al. 2008, 2010). Nicméně biologické a biofyzikální mechanismy magnetorecepce nejsou stále zcela objasněné (Johnsen & Lohmann 2005, Winklhofer 2010). Teprve nedávno se povedlo vědcům jasně ukázat, že protein kryptochrom, uložený v sítnici oka hmyzu, ptáků i savců, je nezbytný pro detekci směru magnetického pole (Bzalová et al., 2016). Byl tak učiněn průlom pro rozvíjející se výzkum.

Poziční chování (magnetický alignment) zvířat se oproti magnetorepenci nepovažuje za vědomé použití magnetické orientace v prostoru nebo navigace při migraci. Jedná se o spontánní (vrozené) chování, kdy se zvíře svou tělní osou staví do pozice sever – jih nebo východ – západ např. při pastvě nebo odpočinku, ale i lovu (viz Červený et al. 2011). Tento fenomén byl prokázán na základě spolupráce českých a německých zoologů, kteří pomocí satelitních snímků z Google Earth určili severo – jižní osovou orientaci u skotu při pasení a odpočinku a severně orientovanou hlavu ze zálehových stop ve sněhu u divoké zvěře (Begall et al. 2008, Burda et al. 2009). Hlavní rušivé faktory byly, na základě statistické analýzy, nevýznamné. Ve volné přírodě je však vždy velmi složité dostat všechny možné vlivy pod kontrolu jako je tomu při laboratorních testech (Begall et al., 2008).

Přes množství publikovaných pozorování je magnetické poziční chování u zvířat stále diskutované téma, které má své nadšené příznivce i odpůrce.

Nejvýznamnější otázkou zůstává proč a k čemu je poziční chování užitečné právě například u skotu a proč si tohoto fenoménu ještě žádný chovatel či farmář nevšiml.

Cílem této práce bylo přispět získanými daty k osvětlení pozičního chování skotu během denního cyklu. Doposud byl výzkum pozičního chování skotu založen na statistickém hodnocení dat ze satelitních snímků a hodnocení stád jako celku. Předkládaná práce spočívá v odlišném sběru dat a je zaměřena na jednotlivce ve stádě. Diskutovány jsou zde i podmínky prostředí, které mohou konečný výsledek ovlivnit.

2. Literární přehled

1.1 Základní vlastnosti magnetického pole Země

Geomagnetické pole je možné si představit jako dipólový magnet, jehož siločáry vycházejí ze severního magnetického pólu (na geografickém jihu), obíhají kolem celé planety a spojují se opět v jižním magnetickém pólu (na geografickém severu). Magnetické siločáry protínají povrch Země v určitém sklonu. Tento úhel sklonu je označován jako inklinace. Na rovníku jsou siločáry rovnoběžné vůči zemskému povrchu a úhel sklonu je tedy roven 0° . Tyto siločáry jsou postupně strmější a svírají úhel kolmo k povrchu Země, na severním pólu $+90^\circ$ a na jižním magnetickém pólu -90° (Lohmann et al., 2007).

Magnetické pole vzniká třením při rotaci vnějšího polotekutého zemského jádra mezi pevným vnitřním jádrem planety a zemským pláštěm – tedy jako produkt obrovského geodynamika. Magnetické pole obsahuje ještě další složky nedipólové povahy, zvané jako kontinentální a regionální anomálie, způsobené rozdílnou koncentrací minerálů obsahujících železo (Glassmeier, 2008). Celkově jsou tyto odchylky zanedbatelné, ale pro živočichy mohou vytvářet orientační body - „geomagnetickou mapu“ (Wiltschko, 2005).

Oba naznačené parametry – intenzita a sklon siločar magnetického pole se tedy mění s polohou zemského povrchu. Bylo prokázáno, že mořské želvy, mořští raci a několik dalších zvířat tyto prvky vnímají a jsou schopni je využívat k určení polohy a vzdálenosti od cíle. Systém se tak podobá slabému Global Positioning System (GPS), ale s využitím vlastností magnetického pole (Lohmann, 2010).

1.2 Magnetorecepce

Magnetorecepce je schopnost živočichů vnímat magnetické pole Země. Zvířata se pomocí magnetického pole mohou orientovat dvěma způsoby. Magnetický kompas umožňuje využívání směrových informací, které pomáhají zvířatům při pohybu udržet konstantní úhel vůči severu nebo jihu. Tento způsob je považován za jednodušší a využívají ho téměř všechna zvířata, u kterých byla magnetorecepce prokázána, například čolci, ptáci, rypoši. Druhou možností je orientace podle tzv. mapového smyslu. Jedná se o složitější způsob, protože zvíře určuje přesnou

geografickou polohu svou a svého cíle. Magnetickou mapu využívají migrující zvířata, jako jsou ptáci, želvy nebo lososi (Lohmann, 2010).

První spekulace a důkazy o magnetorecepci se objevily u tažných ptáků. Nejdříve se vědci domnívali, že se stěhovaví ptáci orientují pomocí zraku podle hvězd. Ukázalo se, že létají i během nocí se špatnou viditelností a tak vznikla hypotéza o existenci „vnitřního kompasu“. Tento kompas byl poprvé popsán u evropské červenky obecné (*Erithacus rubecula*). V době, kdy začalo období migrace, tak se ptáci shromažďovali na příslušné straně voliéry, která odpovídala směru jejich migrace. Poté se experimentálně změnil směr magnetického pole a ptáci změnili svou pozici. Další pokusy byly prováděny u holubů a jiných druhů tažných ptáků (Wiltschko and Wiltschko, 1996). Po čase bylo prokázáno, že ptáci využívají k přesunu na dlouhé vzdálenosti sklon siločar – inklinální kompas. Na dané polokouli sklon siločar umožňuje určit směr k pólu a k rovníku (Wiltschko et al., 2002).

Dále bylo zjištěno, že existují dva druhy magnetického kompasu – kompas polaritní a inklinální. Polaritní kompas, využívající magnetitu a fungující jako obyčejný kompas či busola, dokáže přímo určit polaritu, tedy zvířata pomocí něj dokáží rozlišit směr na jih od směru na sever. Stanovuje se zde úhel mezi severo – jižní osou a směrem trasy. Tímto kompasem se orientují zejména netopýři (viz např. Holland et al., 2008) a podzemní hlodavci (Burda et al. 1990, Kimchi and Terkel, 2001 aj.).

Inklinální kompas, jak bylo uvedeno výše, neurčuje přímo polaritu, ale směr je určen ze sklonu siločar. Pomocí inklinace je možné rozlišit směr na dané (jedné) polokouli, tedy od pólu k rovníku či obráceně. Orientují se takto například mořské želvy (Lohmann and Lohmann, 1994) a ptáci (viz Wiltschko et al., 2002).

Výzkum, který proběhl na mláďatech karety obecné (*Caretta caretta L.*) ukázal, že mláďata karety dokáží detekovat různé úhly sklonu magnetických siločar a z nich odvodit přibližnou zeměpisnou šířku. Hnízdní pláž si želvy spojí s danou místní inklinací a po několika letech se vrací na stejnou pláž, aby mohly naklást vajíčka (Lohmann and Lohmann, 1994). Vzhledem k tomu, že mořské želvy migrují na vzdálenosti až 200 kilometrů od pobřeží, není překvapivé, že využívají také magnetickou mapu. Tento smysl byl pozorován i u čolka zelenavého

(*Notophthalmus viridescens*), který se vzdaluje pouze několik kilometrů. Čolci byli vystaveni intenzitě magnetického pole, odpovídající jejich domácímu prostředí. Bylo zjištěno, že čolci, kteří byli vystaveni úhlu sklonu orientovanému jižně od původního stanoviště, se pohybovali na sever a naopak čolci, kteří byli podle sklonu siločar orientováni severně od původního stanoviště, mířili na jih (Fisher et al., 2001, Phillips et al., 2002).

Existují dvě hypotézy, na jakých principech magnetické kompas spočívají. První z nich si všímá přítomnosti magnetitu (Fe_3O_4) ve formě krystalků uvnitř buněk. Při změně magnetického pole dochází ke změně pozice přítomných krystalků, což zapříčiní otevírání nebo zavírání iontových kanálků v buněčné membráně. Signál je dále přenášen nervovou soustavou. Magnetitový mechanismus byl zjištěn pravděpodobně u včely, mravenců a tažných ptáků (Liang et al., 2016). Magnetitové krystalky byly detekovány také u lososa a pstruha duhového v oblasti nosních nervů (Lohmann, 2010).

Druhý mechanismus je označován jako na světle závislý nebo chemický kompas. Na začátku tohoto systému stojí fotosenzitivní bílkoviny kryptochromy citlivé na UV – A a modrou složku světelného spektra. Při absorpci energie fotonů dochází k tvorbě radikálů (singletový a tripletový stav), které stojí na začátku biochemických drah a podle orientace magnetického pole běží biochemické reakce jedním nebo druhým směrem (Wiltschko & Wiltschko 2014). Tento model byl navržen pro stěhovavé ptáky, mouchu masařku, švába amerického, motýla monarchu a octomilku (Bazalová et al., 2016, Liang et al., 2016). Někteří obratlovci (obojživelníci, ptáci) jsou schopni využívat oba mechanismy (Phillips et al., 2010).

1.3 Poziční chování (magnetický alignment)

Poziční chování (magnetický alignment) zvířat se oproti magnetoreceptci nepovažuje za vědomé použití k magnetické orientaci v prostoru nebo navigaci při migraci (Begall et al., 2008). Jedná se o spontánní (vrozené) chování, kdy se zvíře svou tělní osou staví do pozice sever – jih nebo i východ – západ např. při pastvě nebo odpočinku, ale i lovu (viz Červený et al. 2011).

Je možno očekávat, že se jedinec při konkrétní situaci (krmení, lov, odpočinek), postaví do takové polohy, aby co nejvíce šetřil energií a měl z dané situace výhody. Je řada takových pozičních chování – zarovnání (alignment), které takové výhody přináší. Patří mezi ně např. termo – alignment, při němž se zvíře točí ke zdroji nebo od zdroje tepla. Photo – alignment, při němž se zvíře natáčí za nebo od zdroje světla. Dále zarovnání vůči nějakému objektu, zarovnání do svahu při odpočinku, nebo anemo – alignment, zarovnání po nebo proti větru. Přežvýkavci se orientují ve směru větru, aby snížili tepelné ztráty a byli informováni o případném nebezpečí z pachů šířících se větrem (Begall et al., 2013). Všechna zvířata zároveň se během chladných dnů a brzy ráno orientují kolmo ke slunci, aby vystavila slunci co největší plochu těla (Begall et al., 2008). Jakou výhodu má magnetické zarovnání, není ale zcela jasné (Begall et al., 2013).

Tento fenomén byl prokázán na základě spolupráce českých a německých zoologů, kteří pomocí satelitních snímků z Google Earth určili severo – jižní osovou orientaci u skotu při pasení a odpočinku a severně orientovanou hlavu ze zálehových stop ve sněhu u divoké zvěře (Begall et al. 2008, Burda et al. 2009). Hlavní rušivé faktory byly, na základě statistické analýzy, nevýznamné. Studie byly prováděny v různých lokalitách, v různých časových úsecích. Výzkum probíhal v letním období, převážně za bezvětří. Tímto lze podle autorů vyloučit vliv klimatických podmínek. Důkazem byly také magnetické anomálie, ve kterých se zvířata orientovala různými směry. Ve volné přírodě je však vždy velmi složité dostat všechny možné vlivy pod kontrolu jako je tomu při laboratorních testech (Begall et al., 2008).

Dalším důkazem, který podpořil magnetickou orientaci jelenovité zvěře a skotu, byla studie o pozičním chování pod vedením vysokého napětí, které přirozené magnetické pole Země ruší. Bylo prokázáno, že v blízkosti elektrického vedení jsou zvířata dezorientovaná a ve vzdálenosti alespoň 500 metrů od elektrického vedení, se opět orientují původním směrem (Burda et al., 2009).

Jako reakce na tyto studie o schopnosti skotu a jelenovité zvěře vnímat geomagnetismus, vznikla práce J. Herta et al. (2011), který magnetický alignment zavrhl. Ve své studii kritizoval předchozí práce kvůli špatné kvalitě snímků

ze satelitních pozorování, výběr stád a zvířat v chovech a špatné rozpoznání tělní osy ze satelitních snímků, tedy určení hlavy a zadní části těla.

S. Begall et al. (2011) jako reakci na předchozí studii opět provedli další výzkum a zjistili, že J. Hert et al. (2011) vyhodnotili nevhodná data. Ve své práci použili špatnou kvalitu snímků, pastviny byly umístěny v blízkosti sídel nebo elektrického vedení a pro analýzu využili pouze 40% jedinců, kteří byli přítomni na pastvě. S. Begall et al. (2011) zanalyzovali použitelné údaje a znovu prokázali severo – jižní orientaci.

Vliv magnetického alignmentu byl zkoumán také u lišek při lovu. Zjistilo se, že se lišky staví ke kořisti severo – východním směrem a ve vysokém porostu nebo ve sněhu loví směrem na sever. V tomto směru jsou úspěšnější (Červený et al., 2011). Preference severo – jižním směrem byla pozorována i u kaprů, psů a řady hlodavců (Hart et al. 2012, Hart et al. 2013, Wegner et al. 2006).

Magnetorecepce má jasný význam v orientaci a navigaci živočichů. Adaptivní význam a biologická funkce magnetického alignmentu ale není dodnes objasněna. Existuje však několik hypotéz, kdy může být magnetický alignment užitečný. U skotu může například pomoci udržet synchronizaci pohybu mezi jedinci uvnitř stáda, usnadnit koordinovaný únik před dravci. Může se také jednat o evoluční pozůstatek, kdy skot migroval na dlouhé vzdálenosti nebo může pomáhat při metabolických procesech (Begall et al., 2013).

3. Metodika

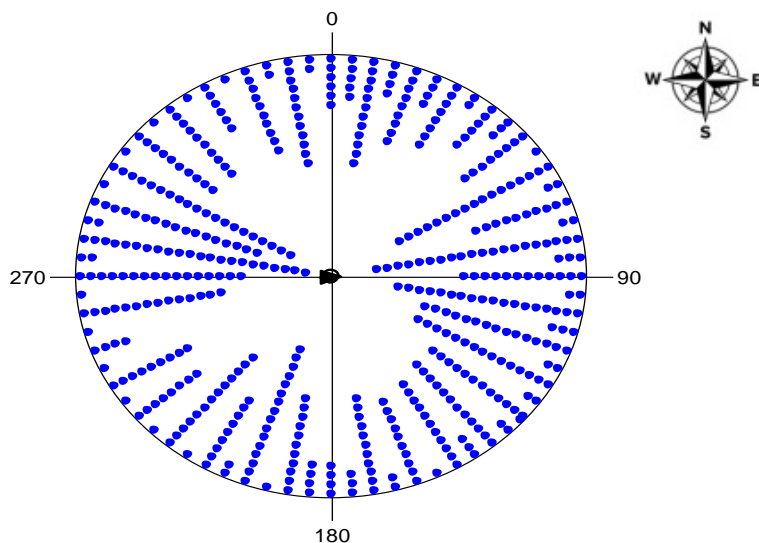
Výzkum zahrnoval tři nezávislá stáda o celkovém počtu 26 jedinců masného skotu. S výjimkou šesti čistokrevných chovných býků plemene „Charolais“ a masný „Simentál“ se jednalo pouze o křížence. Na základě této plemenné variability byla zvířata snadno identifikovatelná podle zbarvení. Jednotlivá pozorování probíhala v obcích Lom u Tachova a Nahý Újezdec na pastvinách určených dle potřebných parametrů. Rozloha pastviny u prvního stáda byla o velikosti 3 ha, u druhého stáda 2,5 ha a třetí stádo býků se pohybovalo na menší pastvině o rozloze 0,95 ha. Nejdůležitějšími kritérii pro výběr pastvin byla rovinnost, přehlednost, klidné stanoviště bez přítomnosti elektrického vedení.

Monitoring probíhal v období od 2. do 28. září 2016 u každého stáda šest dní, v době od 7:30 do 19:00, kromě 12:00 až 14:00. Třetí stádo s býky bylo pozorováno pouze čtyři a půl dne. Kratší sledování u býků bylo z důvodu odstavení mladých jalovic na prodej v blízkosti jejich pastviny, čímž byli býci ovlivněni a pozorování znemožněno.

Z prvního stáda o celkovém počtu 45 kusů bylo vybráno 12 jedinců, z nichž bylo devět dospělých krav, dvě jalovice a jeden býček ve věku 10 měsíců. Druhé stádo čítalo pouze osm zvířat a všechna byla zahrnuta do pokusu. Jednalo se o pět krav a tři jalovice. Do třetího pokusu byli vybráni již výše zmínění čistokrevní býci, umístění na společné pastvině. Zvířata z prvního a třetího stáda býků pocházela z celoročních pastvin, byla dokrmována a měla k dispozici čistá napajedla, minerální liz, býci měli k dispozici přístřešek. Jedinci z druhého stáda sloužili i jako dojně krávy, byly vypouštěny na pastvinu pouze během dne od 7:00 do 19:00 hodin. Krávy na pastvě nebyly dokrmovány, k napájení sloužila voda z potoka.

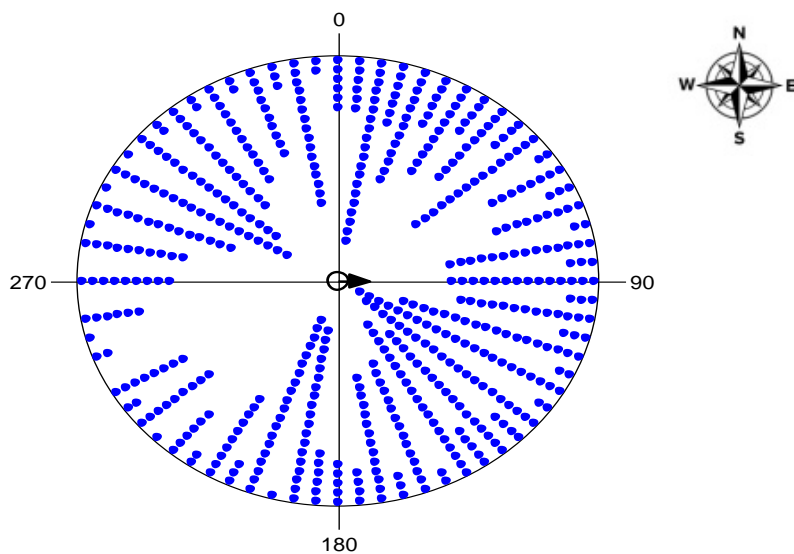
Určení jedinci byli fotografováni v daném směru v hodinových intervalech. Směr byl určen pomocí buzoly. Fotografie byly vkládány do programu Easy D – Tag (Dynamic Softworks) pro označování směru objektů ve fotografii. K vyhodnocení výsledků byl použit statistický program Oriana 4 (Kovach Computing Services). Součástí monitoringu bylo i zapisování případných vnějších vlivů na jedince.

4. Výsledky



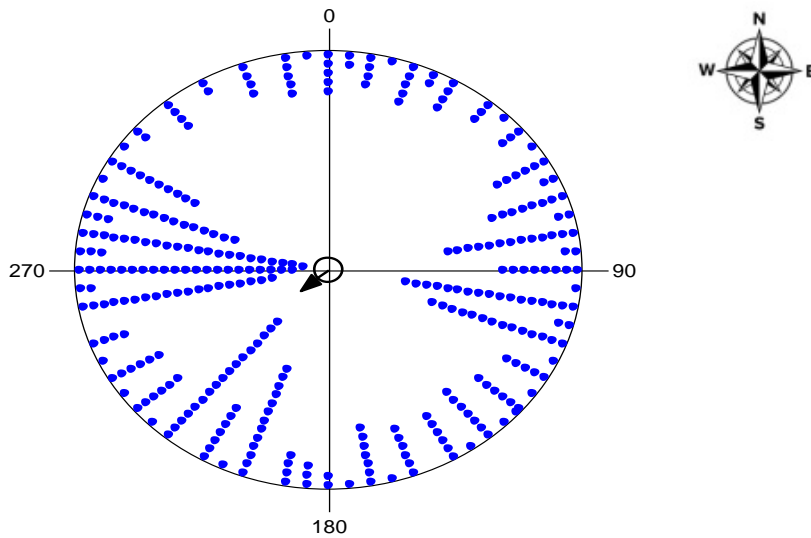
Obr. č. 1 Celkový počet pozorování během všech dnů ve stupních. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Z obrázku č. 1 vyplývá, že se v průměru jedinci orientovali ve směru 88° , tedy preferovali východ. Velký počet jedinců byl orientovaný i západním směrem.



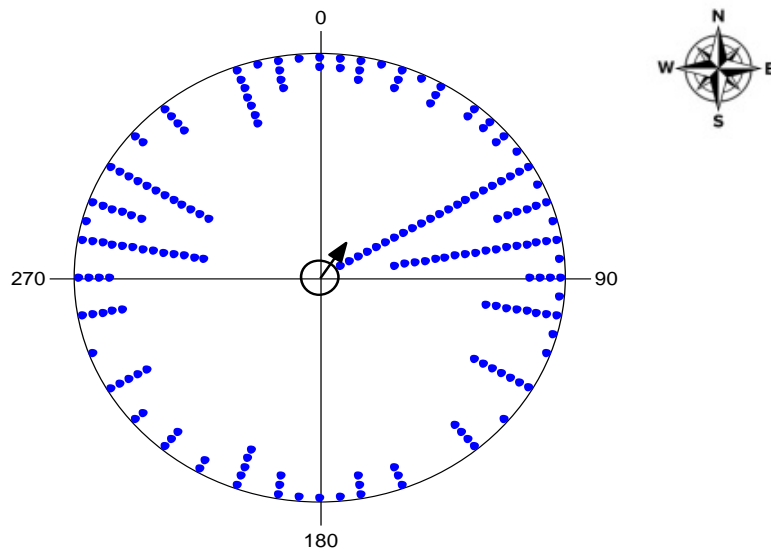
Obr. č. 2 První stádo - celkový počet pozorování ve stupních. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Hlavní vektor u prvního stáda je 90° . Toto stádo preferovalo východní směr. Z obrázku č. 2 můžeme pozorovat, že velká hustota jedinců je orientována i ve směru svero – západním, severo – východním a jiho – východním.



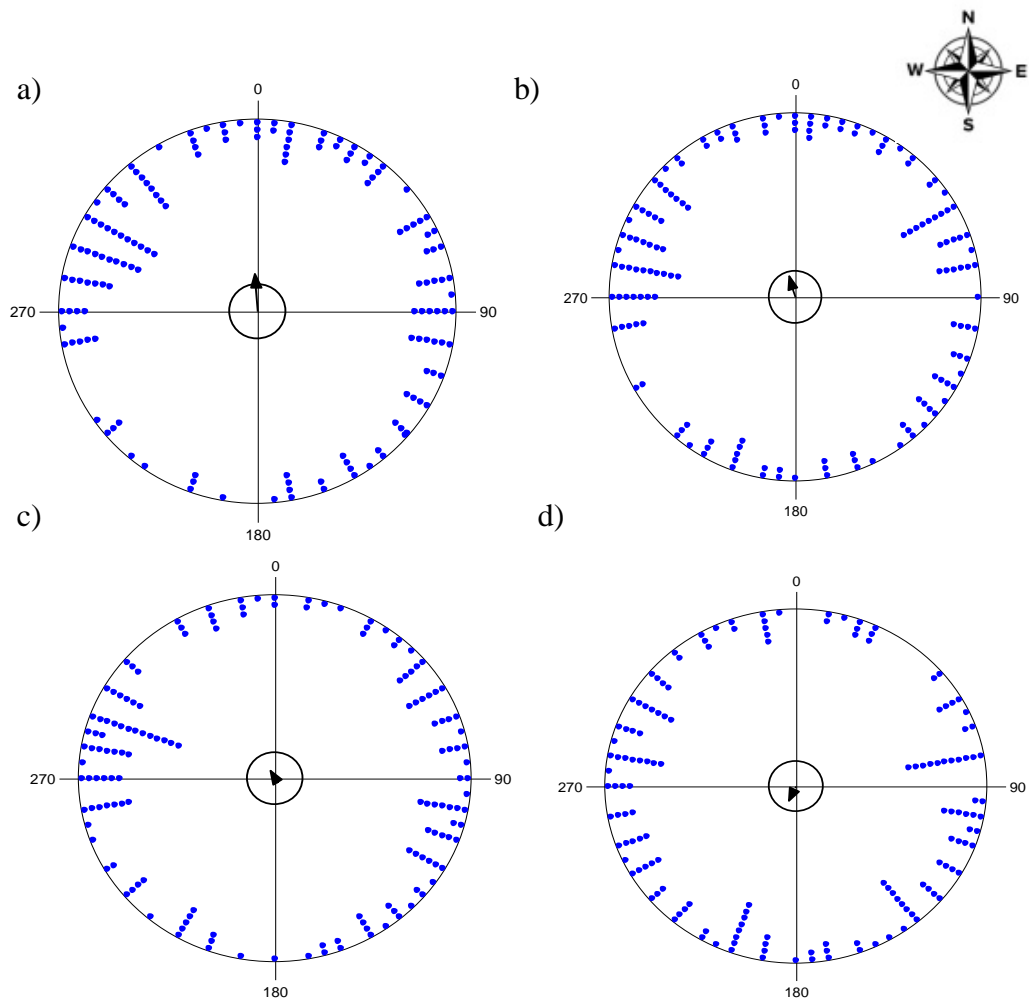
Obr. č. 3 Druhé stádo - celkový počet pozorování ve stupních. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Hlavní vektor u druhého stáda vyšel na 228° . Stádo mělo větší počet orientací i v západ – východním směru (viz obr. č. 3).



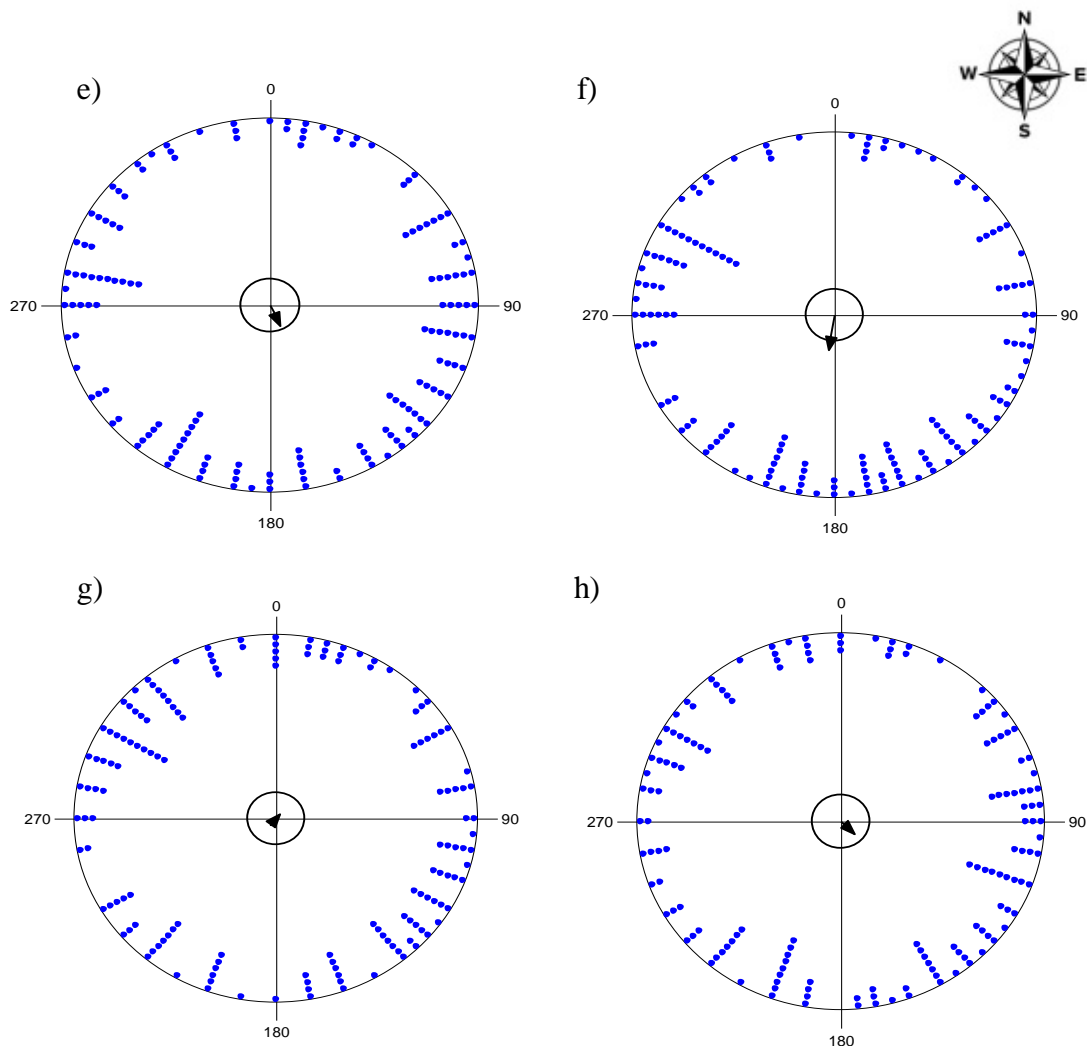
Obr. č. 4 Třetí stádo - celkový počet pozorování ve stupních. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Býci ve třetím stádě se orientovali ve směru hlavního vektoru 33° . Preferovali tedy převážně severo – východní směr. Z toho někteří jedinci byli ale orientováni i opačnými směry (viz obr. č. 4).



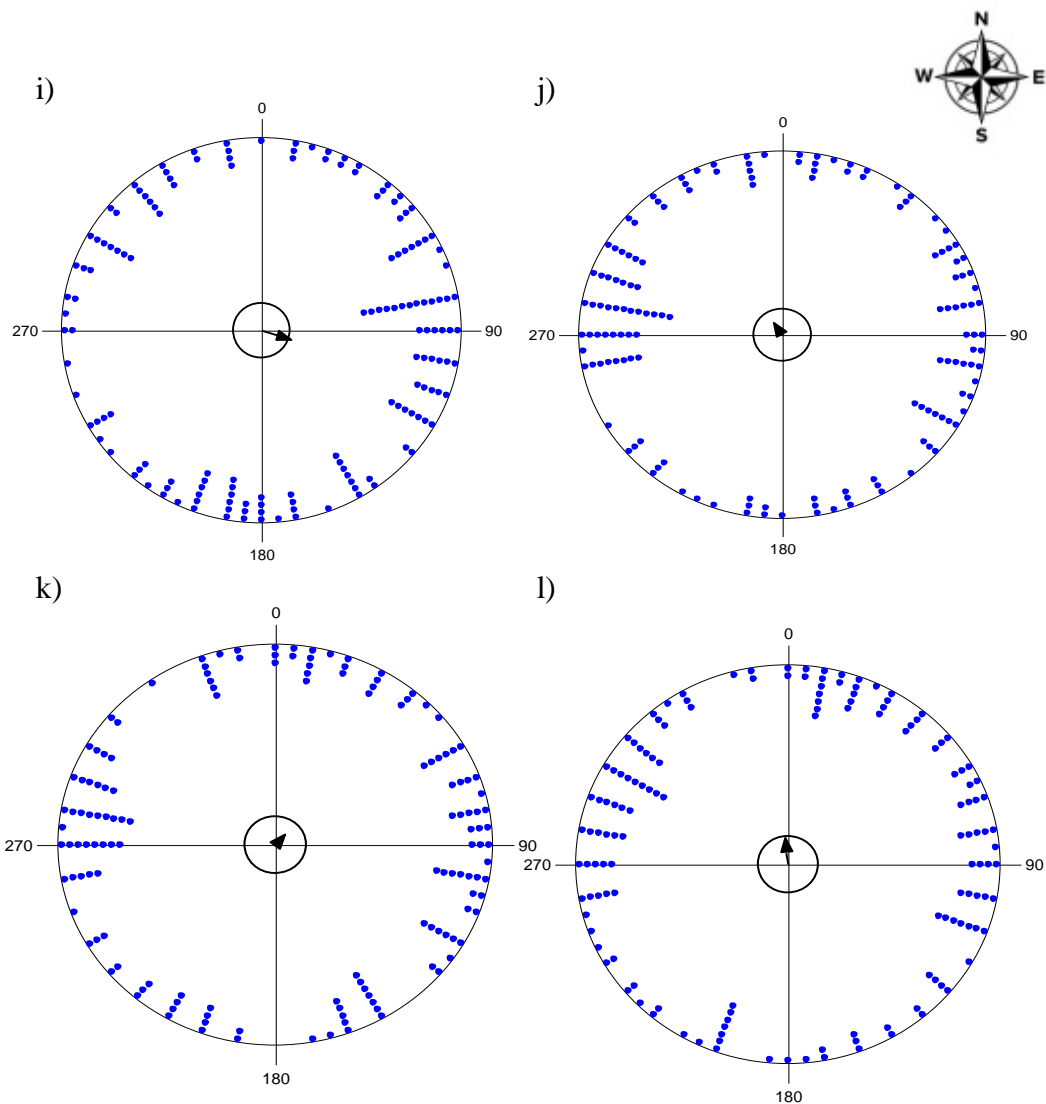
Obr. č. 5 Celkový počet pozorování v průběhu třiceti minutových intervalů a) 7:30 – 8:00, b) 8:00 – 8:30, c) 8:30 – 9:00, d) 9:00 – 9:30. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Z uvedených údajů na Obr. č. 5 vyplývá, že se zvířata v určitém časovém úseku v průměru orientovala ve směru a) 355° , b) 345° , c) 330° , d) 205° . Z obrázku je patrné, že jedinci preferovali severo – západní směr. Průkazné výsledky však byly pouze v časovém intervalu 7:30 – 8:00, kdy se jedinci orientovali na sever.



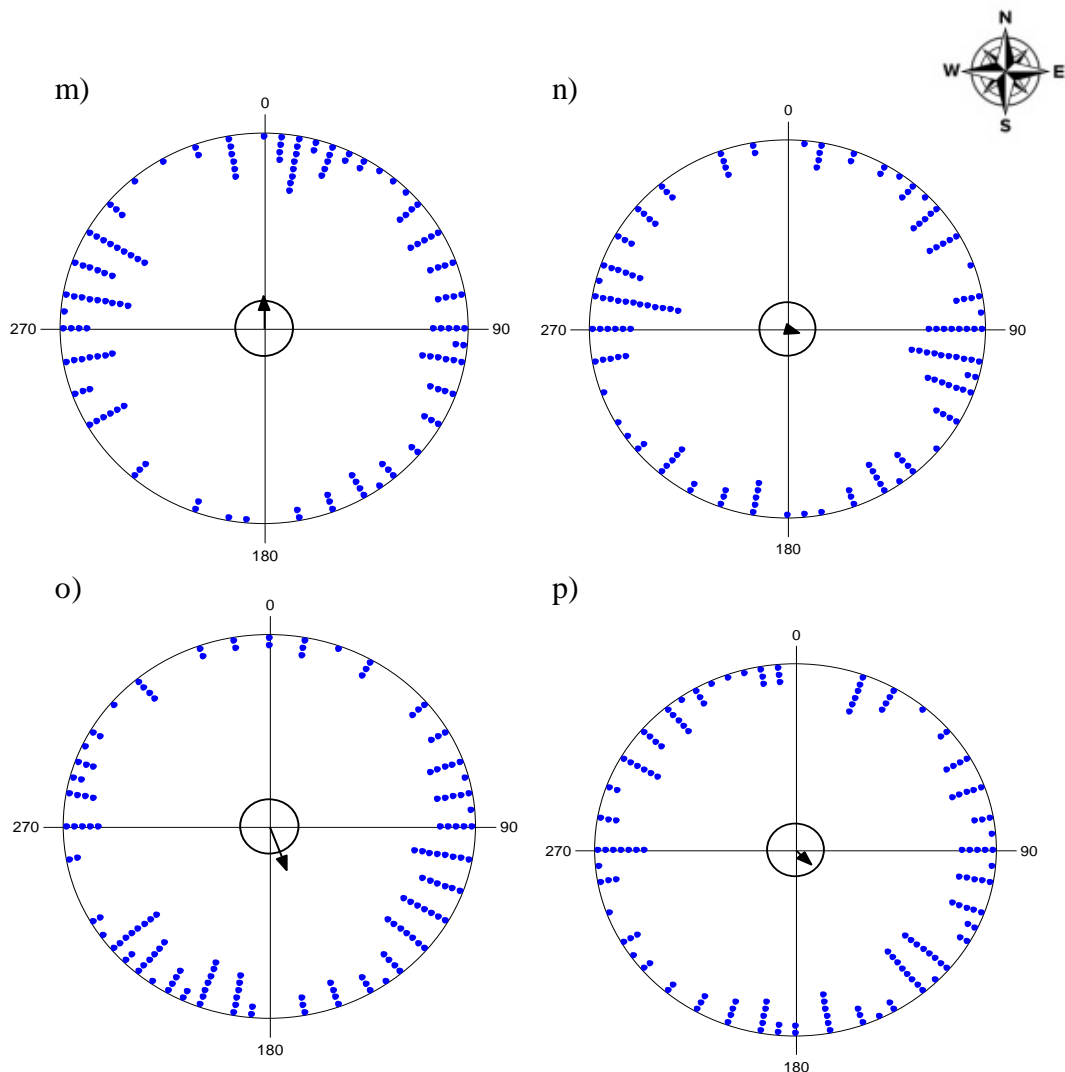
Obr. č. 6 Celkový počet pozorování v průběhu třicetiminutových intervalů e) 9:30 – 10:00, f) 10:00 – 10:30, g) 10:30 – 11:00, h) 11:00 – 11:30. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Data z Obr. č. 6 ukazují, že průkaznost pozorování byla pouze v případě časového intervalu 10:00 – 10:30. Jedinci upřednostňovali orientaci v určitém časovém úseku v těchto směrech e) 156°, f) 189°, g) 39°, h) 135°, přičemž v průkazném intervalu byla zvířata orientována na jih.



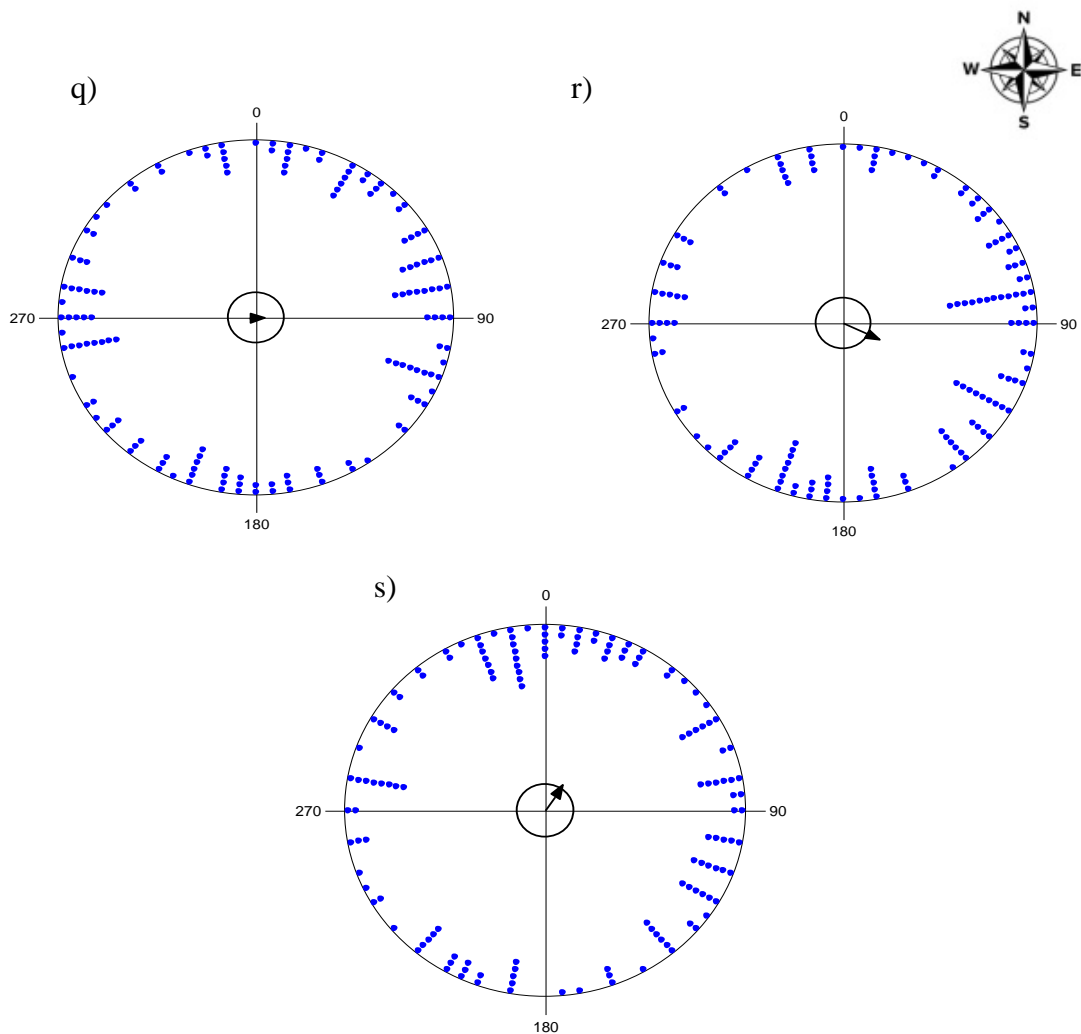
Obr. č. 7 Celkový počet pozorování v průběhu třiceti minutových intervalů i) 11:30 – 12:00, j) 14:00 – 14:30, k) 14:30 – 15:00, l) 15:00 – 15:30. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Výsledky zobrazené na Obr. č. 7 ukazují, že se zvířata v určitém časovém úseku v průměru orientovala ve směrech i) 108° , j) 328° , k) 39° , l) 355° . Statisticky průkazný byl pouze časový interval 11:30 – 12:00, kdy jedinci směřovali k východu.



Obr. č. 8 Celkový počet pozorování v průběhu třiceti minutových intervalů m) 15:30 – 16:00, n) 16:00 – 16:30, o) 16:30 – 17:00, p) 17:00 – 17:30. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Z výsledků uvedených na Obr. č. 8 vyplývá, že se zvířata v určitém časovém úseku orientovala ve směru m) 358°, n) 107°, o) 160°, p) 135°. Průkazná pozorování byla v případě 15:30 – 16:00, kdy jedinci směřovali v průměru na sever a 16:30 - 17:00, kdy se jedinci vcelku orientovali jižním směrem.



Obr. č. 9 Celkový počet pozorování v průběhu třicetiminutových intervalů q) 17:30 – 18:00, r) 18:00 – 18:30, s) 18:30 – 19:00. Šipka znázorňuje hlavní vektor a vnitřní kruh uvádí 5% hranici průkaznosti.

Výsledky na Obr. č. 9 znázorňují směrovou orientaci v daných časových intervalech q) 88° , r) 116° , s) 31° . Z obrázku můžeme vidět statistickou průkaznost časových úseků od 18:00 do 19:00. Zvířata zde upřednostňovala směr od východu na sever.

5. Diskuse

Při srovnání s autory u předchozích, výše popsaných studií (Begall et al. 2008, 2011, 2013), je patrné, že data v této práci byla méně objemná z důvodu přímého pozorování jednotlivců, nikoli stáda jako celku. Podle Herta et al. (2011) je schopnost vnímání magnetického pole záležitostí právě jednotlivce. Při velkém počtu jedinců by byl problém s přesností určování jejich polohy, jejich přesným a rychlém rozpoznání a fotografováním v hodinových intervalech. Jak již uvedli zmínění autoři, nastolit podmínky u terénního pozorování tak, aby se vyrušily vnější vlivy, je nemožné a často některé faktory nejsou ani vnímatelné (viz např. Burda et al. 2009). Z tohoto důvodu, mohou být některé výsledky v této práci zkrácené, i když jsem se snažila o co nejpřesnější sběr dat.

Většina již uvedených studií prokázala jasnou preferenci zvířat severo – jižním směrem. Z výsledků v této práci, je prokazatelný směr u většiny jedinců ve směru západ – východ. U celkového pozorování všech jedinců ze tří různých stád v průběhu celých časových úseků (viz Obr. č. 1) je vidět, že se zvířata orientovala převážně na východ, ale velký počet zvířat byl orientován také na západ. Během celkového období pozorování od 2. – 28. září vanul pouze mírný vítr od západu. Podobná orientace ale byla nalezena u koní, přičemž se během dne měnila (Begall et al. 2013). Je možné, že nad spontánním magnetickým alignmentem v tomto období měla navrch termoregulace, čili vystavování co nejmenšího povrchu těla.

Je důležité uvést, že výsledky u druhého stáda (viz Obr. č. 3) byly v prvních dnech pozorování částečně ovlivněny, protože pozorování u tohoto stáda probíhalo po období orby brambor u soukromého chovatele. Zvířata se vždy po dobu vypuštění v dopoledních hodinách zdržovala v oraništi, ke kterému měla na pastvině přístup. Oraniště bylo obdélníkovitého tvaru, právě ve směru od západu k východu. Nicméně jedinců v tomto stádě bylo pouze osm a zvířata se poté přesouvala z oraniště i do volné části pastviny. Velikost této pastviny byla pouze 2,5 ha (byla vybrána díky dobré přehlednosti, rovinatosti), pastvina byla také obdélníkovitého tvaru, tedy užší. Z vlastního pozorování je zřejmé, že ne pouze u tohoto stáda, ale u všech stád se jedinci pomalu přesouvali z jednoho konce pastviny na druhý. Protože delší rozloha a tedy i větší prostor pro zvířata byl ve směru západ – východ, tak je možné,

že zvířata preferovala tento směr. Stejně tak raději upřednostňovala snadný přísun potravy. Ve východní části pastviny měli jedinci přístup k protékajícímu potoku. Možná by se severo – jižní orientace prokázala na větším prostoru, aby se zvířata nezdržovala u okrajů pastviny. Že je prostor důležitý (tvar a velikost), respektive hustota mezi zvířaty zjistil u krav Slabý s kolektivem (2013). Při velké hustotě jedinců na plochu začínají převládat interakce mezi jednotlivými zvířaty a spontánní severo - jižní směr je tím pravděpodobně narušen či dokonce potlačen.

Dalším faktem bylo, že jedinci u všech stád většinou nejprve obešli pastvinu po obvodu, podél ohradníku, a teprve poté se pásli nebo odpočívali ve vnitřní části výběhu. To by zcela odpovídalo hypotéze o roli magnetického alignmentu jako o součásti užívání tzv. kognitivní mapy prostoru (Begall et al. 2013, Hart et al. 2013). Zvířata, po seznámení se s prostorem a vytvoření reprezentace okolního prostoru v mozku (kognitivní mapy), zaujmou severo - jižní polohu, aby orientace – čtení mapy v mozku, bylo co nejsnadnější.

U prvního stáda (viz Obr. č. 2) bylo významné i umístění pastviny, protože ve východním směru pastviny byl les. Pozorování u tohoto stáda probíhalo převážně v suchých zářijových dnech. Směrem na sever měla zvířata sice k dispozici napajedlo a seno a pastvina byla svou delší stranou orientována severo – jižním směrem, ale přes tyto okolní faktory zvířata preferovala východ, kde bylo největší vlhko, stín a dostatek porostu. Protože z tohoto stáda bylo vybráno 12 jedinců, nejvíce ze všech pozorování, ovlivnili průběh celkového grafu (Obr. č. 1).

Třetí stádo býků mělo výběh velikosti 0,97 ha a čtvercového tvaru. Dle výsledků (viz Obr. č. 4) se tito jedinci orientovali ve směru 33°, tedy blíže k severu než tomu bylo u předchozích stád. Býci v tomto stádě byli méně aktivní a převážně odpočívali uprostřed pastviny. K dispozici měli východním směrem přístřešek se senem a západním směrem napajedlo. Přesto byl možný magnetický alignment u tohoto stáda v severním směru nejvýraznější.

Domnívám se, že právě chování jednotlivých stád, rozloha a velikost pastviny, potravní preference, možnosti úkrytu, rozmístění napajedel a také prostředí okolo pastviny (lesy apod.) mají vliv na poziční chování zvířat a při tomto přímém pozorování jim nešlo předejít. Z těchto důvodů je možné, že některé výsledné grafy

v jednotlivých časových intervalech (viz Obr č. 5 – 9), nejsou statisticky průkazné a jedinci se orientovali různými směry. Naproti tomu však všechny průkazné výsledky v jednotlivých časových intervalech vyšly se severo – jižní orientací.

Z popsaných důvodů a výsledků práce, je patrné, že jistá preference určitými směry u vybraných jedinců skotu, je možná. Nejedná se však pouze o směr sever – jih, ale spíše západ – východ. Při tomto objemu dat, oproti předchozím studiím, se nedá s jistotou prokázat, zda se jedinci v této práci skutečně orientovali podle magnetického pole Země nebo jenom byli motivováni přechodně důležitějšími lokálními stimuly.

6. Závěr

Magnetický alignment je spontánní (vrozené) chování, kdy se zvíře svou tělní osou staví do pozice magnetický sever – jih nebo východ – západ. Většina studií prokázala severo – jižní směrovou preferenci na základě analýzy orientace velkého počtu stád kopytníků z celého světa zachycených na družicových a leteckých snímcích. V této práci byl učiněn pokus řešit tuto problematiku zcela jiným způsobem - určit průběh natáčení těla (poziční chování) tura domácího během denního cyklu ve 30 minutových intervalech. Průkazné výsledky byly získány pouze v časovém intervalu od 7:30 – 8:00, kdy se jedinci orientovali na sever, dále od 10:00 – 10:30, kdy zvířata směřovala na jih, od 11:30 – 12:00 směřovala na východ. V odpoledních hodinách byly průkazné časové intervaly od 15:30 – 16:00, jedinci směřovali na sever, dále od 16:30 – 17:00, zvířata směřovala na jih a v časovém úseku od 18:00 do 19:00 se skot orientoval východním a severním směrem. Neprůkazné výsledky byly patrně způsobeny jinými přechodně důležitějšími lokálními stimuly.

Celkově se 26 jedinců skotu orientovalo převážně východním nebo západním směrem. Mezi statisticky průkaznými výsledky z jednotlivých časových intervalů se objevilo také několik případů se severo – jižní směrovou preferencí. U celkového zhodnocení stád během všech dnů pozorování vyšel hlavní vektor 88° . Hlavní vektor u prvního stáda činil 90° , u druhého stáda 228° . U třetího stáda s býky byl hlavní vektor natočen do 33° . Analýza pozičního chování bude pravděpodobně vyžadovat velké kompaktní uniformní pastviny, aby spontánní projevy nebyly rušeny atraktivními lokálními stimuly a zvířatům dobře známým tvarem pastviny.

7. Literatura

1. Bazalová, O., Kvicalová, M., Valková, T., Slabý, P., Bartoš, P., Netušil, R., Tomanová, K., Braeunig, P., Lee, H-J., Sauman, I., Damulevicz, M., Provaznik, J., Pokorný, R., Dolezel, D. and Vácha, M. (2016). Cryptochrome 2 mediates directional magnetoreception in cockroaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, 1660-1665.
2. Begall, S., Burda, H., Červený, J., Gerter, O., Neef-Weisse, J., Němec, P. (2011). Further support for the alignment of cattle along magnetic field lines: reply to Hert et al. *J Comp Physiol A* 197, 1127–1133.
3. Begall, S., Červený, J., Neef, J., Vojtech, O. and Burda, H. (2008). Magnetic alignment in grazing and resting cattle and deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 13451-13455.
4. Begall, S., Malkemper, E. P., Červený, J., Němec, P., Burda, H. (2013). Magnetic alignment in mammals and other animals. *Mammalian Biology* 78, 10 – 20.
5. Burda, H., Begall, S., Červený, J., Neef, J. and Němec, P. (2009). Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106, 5708-5713.
6. Burda, H., Marhold, S., Westenberger, T., Wiltschko, R. and Wiltschko, W. (1990). Magnetic compass orientation in the subterranean rodent *Cryptomys hottentotus* (Bathyergidae). *Cellular and Molecular Life Sciences* 46, 528-530.
7. Červený, J., Begall, S., Koubek, P., Nováková, P. and Burda, H. (2011). Directional preference may enhance hunting accuracy in foraging foxes. *Biology Letters* 7, 355-357.
8. Fischer, J. H., Freake, M. J., Borland, S. C. and Phillips, J. B. (2001). Evidence for the use of magnetic map information by an amphibian. *Animal Behaviour* 62, 1-10.
9. Glassmeier, K. H. (2008). *Geomagnetic field variations*. Berlin: Springer.

10. Hart, V., Kušta, T., Neměc, P., Bláhová, V., Ježek, M., Nováková, P., Begall, S., Červený, J., Hanzal, V., Malkemper, E. P., Štípek, K., Christiane Vole, Ch., Burda, H. (2012). Magnetic Alignment in Carps: Evidence from the Czech Christmas Fish Market. *PLoS ONE*, 7 - 12.
11. Hart, V., Nováková, P., Malkemper, E. P., Begall, S., Hanzal, V., Ježek, M., Kušta, T., Němcová, V., Adámková, J., Benediktová, K., Červený, J. and Burda, H. (2013). Dogs are sensitive to small variations of the Earth's magnetic field. *Frontiers in Zoology*, 10 – 80.
12. Hert, J., Jelinek, J., Pekarek, L., Pavlicek, A. (2011). *Journal of Comparative Physiology* 197, 677-682.
13. Holland, R. A., Borissov, I. and Siemers, B. M. (2010). A nocturnal mammal, the greater mouse-eared bat, calibrates a magnetic compass by the sun. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, 6941-6945.
14. Holland, R. A., Kirschvink, J. L., Doak, T. G. and Wikelski, M. (2008). Bats Use Magnetite to Detect the Earth's Magnetic Field. *Plos One* 3, 1-6.
15. Johnsen, S. and Lohmann, K. J. (2005). The physics and neurobiology of magnetoreception. *Nature Reviews Neuroscience* 6, 703-712.
16. Kimchi, T. and Terkel, J. (2001). Magnetic compass orientation in the blind mole rat *Spalax ehrenbergi*. *Journal of Experimental Biology* 204, 751-758.
17. Liang, CH., Chuang, CL., Jiang, JA., Yang, EC. (2016) Magnetic Sensing through the Abdomen of the Honey bee. *Scientific Reports* 6, 23657.
18. Lohmann, K. J. (2010). Animal behaviour: Magnetic – field preception. *Nature* 464, 1140 – 1142.
19. Lohmann, K. J. and Lohmann, C. M. F. (1994). Detection of magnetic inclination angle by sea turtles: A possible mechanism for determining latitude. *J. exp. Biol.* 194, 23 – 32.
20. Lohmann, K. J., Lohmann, C. M. F. and Putman, N. F. (2007). Magnetic maps in animals: nature's GPS. *Journal of Experimental Biology* 210, 3697 – 3705.
21. Meyer, C. G., Holland, K. N. and Papastamatiou Y. P (2005). Sharks can detect changes in the geomagnetic field. *J. R. Soc. Interface* 2, 129 – 130

22. Phillips, J. B., Freake, M. J., Fischer, J. H. and Borland, C. S. (2002). Behavioral titration of a magnetic map coordinate. *J. Comp. Physiol. A* 188, 157-160.
23. Phillips, J. B., Muheim, R. and Jorge, P. E. (2010). A behavioral perspective on the biophysics of the light-dependent magnetic compass: a link between directional and spatial perception? *The Journal of Experimental Biology* 213, 3247-3255.
24. Slaby, P., Tomanova K., Vacha M. (2013). Cattle on pastures do align along the North-South axis, but the alignment depends on herd density. *J Comp Physiol A-Neuroethol Sensory Neural Behav Physiol* 199, 695-701.
25. Walker, M. M., Dennis, T. E. and Kirschvink, J. L. (2002). The magnetic sense and its use in long – distance navigation by animals. *Current Opinion in Neurobiology* 12, 735 – 744.
26. Wegner, R. E., Begall, S. and Burda, H. (2006). Magnetic compass in the cornea: local anaesthesia impairs orientation in a mammal. *The Journal of Experimental Biology* 209, 4747- 4750.
27. Wiltschko, R. (2005). Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology* 191, 675–693.
28. Wiltschko, W. and Wiltschko R. (1996) Magnetic orientation in birds. *The Journal of Experimental Biology* 199, 29 – 38.
29. Wiltschko, W. and Wiltschko, R. (2002). Magnetic compass orientation in birds and its physiological basis. *Naturwissenschaften* 8, 445 – 452.
30. Wiltschko, W. and Wiltschko, R. (2014). Sensing Magnetic Directions in Birds: Radical Pair Processes Involving Cryptochrome. *Biosensors* 4, 221-242.
31. Winklhofer, M. (2010). Magnetoreception. *Journal of the Royal Society Interface* 7, 131- 134.

8. Přílohy



Foto č. 1 První stádo na pastvině (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 2 První stádo (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 3 Druhé stádo (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 4 Druhé stádo v oraništi (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 5 Druhé stádo na pastvině (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 6 Třetí stádo na pastvině (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 7 Býci na pastvině (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 8 Býček (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 9 Pasoucí se jedinec (Lucie Folejatrová, 2016)



Foto č. 10 Pasoucí se jedinec (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 11 Dobře rozeznatelní jedinci (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 12 Stádo orientující se k východu slunce (Lucie Folejtarová, 2016)



Foto č. 13 Stádo při východu slunce (Lucie Folejtarová, 2016)