



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Patricie Klosse

# **Analýza sakadických očních pohybů žáků při interpretaci grafů**

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Martina Kekule, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Fyzika zaměřená na vzdělávání

Praha 2021

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne .....

Podpis autora

Děkuji RNDr. Martině Kekuli, Ph.D. za vedení práce.

Název práce: Analýza sakadických očních pohybů žáků při interpretaci grafů

Autor: Patricie Klosse

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Martina Kekule, Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: Cílem této práce je analýza sakadických pohybů při řešení fyzikálních úloh s grafy. Analyzovali jsme data z řešení 6 úloh 23 účastníky. Ze směrů sakád u jednotlivých úloh jsme vytvořili histogramy, a v nichž jsme srovnali špatně a správně řešící. Také jsme zkoumali průměrnou délku sakád a zda, popřípadě kolikrát se pohled vrátí do stejného místa bezprostředně po jeho opuštění. Porovnávali jsme sakády správně a špatně řešících účastníků. Zjistili jsme, že výsledky velmi závisí na konkrétní úloze. Vzhledem k výsledkům a malému vzorku účastníků není možné potvrdit souvislost mezi vlastnostmi sakád a správností řešení úlohy.

Klíčová slova: oční pohyby eyetracking sakády interpretace grafů fyzikální vzdělávání

Title: Analysis of saccadic eye movements during students' graph interpretation

Author: Patricie Klosse

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Martina Kekule, Ph.D., Department of Physics Education

Abstract: The goal of this thesis is to analyse saccadic movements recorded while solving problems from physics with graphs. It contains data from 6 tasks and 23 participants. We created histograms from the directions of saccades from individual tasks and compared these for successful and unsuccessful solvers. We also determined the average saccade length and whether or not participants' gaze returns to the exact same spot right after leaving it, and if it does, how many times this happens. Again a comparison was drawn between successful and unsuccessful solvers. The results heavily depended on the task. Given the results and small sample of participants we cannot confirm a connection between the properties of saccades and finding a correct solution to a problem.

Keywords: saccadic eye movements eyetracking sakády graph interpretation physics education

# Obsah

Úvod	3
<b>1 Teoretická část</b>	<b>4</b>
1.1 Oko	4
1.2 Možné pohyby oka	4
1.3 Oční kamera	5
1.4 Scanpath	5
1.5 Souhrnné zobrazení pohledu	5
1.6 Typy sakád	6
1.7 Další analýza sakádických pohybů	8
1.8 Typy pozorností	8
1.9 Práce Terézie Vondráčkové	8
<b>2 Praktická část</b>	<b>10</b>
2.1 Cíl práce	10
2.2 Úlohy	10
2.3 Analýza dat	15
2.3.1 Zpracování dat	15
2.3.2 Vlastní analýza	17
<b>3 Kvalitativní popis a interpretace výsledků</b>	<b>19</b>
3.1 Dřepování	19
3.1.1 Směry všech sakád	19
3.1.2 Směry prvních čtyřiceti sakád	22
3.1.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád	22
3.1.4 Shrnutí pozorování u úlohy Dřepování	23
3.2 Crash test auta	23
3.2.1 Směry všech sakád	23
3.2.2 Směry prvních čtyřiceti sakád	26
3.2.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád	27
3.2.4 Shrnutí pozorování u úlohy Crash	27
3.3 F-t	28
3.4 Kinetická energie	28
3.4.1 Směry všech sakád	28
3.4.2 Směry prvních čtyřiceti sakád	28
3.4.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád	33
3.4.4 Shrnutí pozorování u úlohy Kinetická energie	33
3.5 Potenciální energie	33
3.5.1 Směry všech sakád	34
3.5.2 Směry prvních čtyřiceti sakád	34
3.5.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád	37
3.5.4 Shrnutí pozorování u úlohy Potenciální energie	37
3.6 Kinetická a potenciální energie	37
3.6.1 Směry všech sakád	38
3.6.2 Směry prvních čtyřiceti sakád	40

3.6.3	Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád . . . .	41
3.6.4	Shrnutí pozorování u úlohy Potenciální a kinetická energie	41
3.7	Šíp . . . . .	41
3.7.1	Směry všech sakád . . . . .	41
3.7.2	Směry prvních čtyřiceti sakád . . . . .	44
3.7.3	Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád . . . .	44
3.7.4	Shrnutí pozorování u úlohy Šíp . . . . .	45
3.8	Klávesnice . . . . .	45
3.9	F-x . . . . .	45
3.10	Shrnutí zjištění u úloh . . . . .	45
<b>Závěr</b>		<b>50</b>
<b>Seznam použité literatury</b>		<b>51</b>
<b>Seznam obrázků</b>		<b>52</b>
<b>Seznam tabulek</b>		<b>53</b>
<b>A Přílohy</b>		<b>54</b>
A.1	První příloha . . . . .	55
A.1.1	Kinetická energie, prvních čtyřicet sakád . . . . .	55
A.1.2	Kinetická energie, všechny sakády . . . . .	57
A.1.3	Kinetická a potenciální energie, prvních čtyřicet sakád . . . .	59
A.1.4	Kinetická a potenciální energie, všechny sakády . . . . .	61
A.1.5	Potenciální energie, prvních čtyřicet sakád . . . . .	63
A.1.6	Potenciální energie, všechny sakády . . . . .	65
A.1.7	Crash, prvních čtyřicet sakád . . . . .	67
A.1.8	Crash, všechny sakády . . . . .	69
A.1.9	Dřepování, prvních čtyřicet sakád . . . . .	71
A.1.10	Dřepování, všechny sakády . . . . .	73
A.1.11	F-t, prvních čtyřicet sakád . . . . .	75
A.1.12	F-t, všechny sakády . . . . .	77
A.1.13	F-x, prvních čtyřicet sakád . . . . .	79
A.1.14	F-x, všechny sakády . . . . .	81
A.1.15	Klávesnice, prvních čtyřicet sakád . . . . .	83
A.1.16	Klávesnice, všechny sakád . . . . .	85
A.1.17	Šíp, prvních čtyřicet sakád . . . . .	87
A.1.18	Šíp, všechny sakády . . . . .	89

# Úvod

Je obvyklé, že pohyb očí koresponduje s myšlenkovými pochody jedince. Lidé často směřují svůj pohled na místo, o kterém přemýšlí. Zajímavou otázkou by mohlo být, zda úspěch lidí při řešení vizuální úlohy závisí na tom, kam přesně se koukají.

Vondráčková (2020) zjistila, že u úloh s grafy správně řešící žáci více směřují pohled na relevantní místa. My se dále podíváme, jestli se správně řešící žáci od špatně řešících liší nejen směřováním pohledu, ale i zda je lze rozeznat pouze ze znalosti délek a směrů pohybu očí.

Tato práce je členěna do třech kapitol. První kapitola obsahuje teoretický úvod. V druhé kapitole se budeme zabývat daty a způsobem jejich zpracování. Třetí kapitola je o samotné analýze dat. Analyzovat budeme sakády z hlediska směru, délky a počtu po sobě následujících sakád opačného směru a podobné délky.

Výsledky analýzy shrneme v závěru.

# 1. Teoretická část

## 1.1 Oko

Oko je smyslový orgán reagující na světlo. Paprsek světla, který dopadá na oko, je pomocí rohovky a čočky zaostřován na sítnici, jak říká Vajner a kol. (2018). Tam se nachází dva typy světločivných buněk, tyčinky a čípky. Signál z nich je odeslán zrakovým nervem do mozku. Tyčinky jsou buňky, které umožňují vnímání kontrastů, ale neumožňují barevné vidění. Barevné vidění zajišťují čípky, kterých je asi dvacetkrát méně než tyčinek. Právě díky nim jsme schopni vidět ostře. Místo jejich nejvyšší koncentrace je tedy místem nejostřejšího vidění. Toto místo o průměru 5 mm se nazývá žlutá skvrna, latinsky macula lutea. Ve žluté skvrně se nachází fovea, která má průměr 1,5 mm a už neobsahuje vůbec žádné tyčinky. Část fovey s největší koncentrací čípků se říká foveola a má průměr 0,4 mm, jak uvádí Tschulakow a kol. (2018). Abychom předmět zájmu viděli ostře, musíme okem pohybovat tak, aby příslušný paprsek dopadal na foveu. Je tedy možné předpokládat, že pokud člověk věnuje pozornost nějakému předmětu, natáčí oko tak, aby obraz objektu dopadal na foveu. Není tomu ale tak vždy. Lidé mohou odpoutat pozornost od směru pohledu. Příkladem může být pozorování hvězd. Vzhledem k větší citlivosti tyčinek na tlumené podněty může být výhodnější například noční oblohu sledovat spíše periferním viděním. Nicméně odpoutání pozornosti od směru pohledu není časté a případně se spíše vyskytuje u expertů.

## 1.2 Možné pohyby oka

Prvním z možných pohybů očí je fixace. Účelem fixací je stabilizace nehybného předmětu zájmu na sítnici. Jsou rozeznatelné od ostatních očních pohybů přítomností miniaturních pohybů třesu, driftu a mikrosakád. Jako mikrosakády se označuje náhodné malé kolísání kolem oblasti fixace. Kdybychom obraz na sítnici uměle zafixovali, asi za vteřinu obraz zmizí. Jak uvádí Huston a kol. (2015), relativně stacionární pohled trvající alespoň 200 ms bývá považován za fixaci. Reálná doba fixace se však liší podle zkoumaného objektu.

Pokud je předmět zájmu v pohybu, aplikuje se pohyb zvaný plynulé pronásledování, kde oči přizpůsobí rychlost pohybujícímu se cíli. Na rozdíl od fixací se zde nevyskytují mikrosakády.

Dalšími možnými pohyby jsou sakády. Jedná se o rychlé pohyby očí používané k přemístění fovey na nové místo ve vizuálním prostředí. Během sakády je člověk efektivně slepý. Je pravděpodobné, že pro zpětnou kontrolu se využívá vnitřní reprezentace polohy cíle spíš než aktuálně vnímaný obraz. Sakádický pohyb může být jak dobrovolný, tak reflexivní. Sakádické pohyby mají prakticky jen dva stupně volnosti – lze je zobrazovat na ploše.



## 1.3 Oční kamera

Oční kamera je přístroj, který má za úkol zaznamenávat pohyb oka. Existuje několik způsobů, jak to provést. Jeden ze způsobů je snímání elektrického potenciálu kůže kolem oka. Měří tedy pohyby očí vzhledem k poloze hlavy. Tato metoda byla tou nejpoužívanější před čtyřiceti lety. Další možností je snímání pohybů očí pomocí kontaktní čočky. Nevýhoda je, že se jedná velmi rušivý způsob snímání. Další metody jsou založené na snímání od oka odraženého infračerveného záření, které není pro lidské oko viditelné. Aby bylo možné zjistit, kam se dotyčný dívá, zaznamenává se rozdíl mezi středem zornice a odrazem vysílaného záření. Na základě dat program určí fixace a sakády. Aby ale bylo možné odlišit pohyb oka od pohybů hlavy, je u této metody potřeba snímat více míst na oku. U některých metod může být potřeba kalibrace a fixace hlavy. To zvyšuje přesnost, ale snižuje přirozenost pohybů.

## 1.4 Scanpath

V současné době je scanpath definován jako trasa pohybu oční bulvy po prostoru v určitém časovém rozmezí, jak říká Holmqvist (2011). Tato trasa má tedy určený začátek a konec. Odhad trasy se provádí oční kamerou, která snímá polohu oka s frekvencí  $f$ . Oko je tedy snímáno každou  $1/f$  sekundu. Viděnému prostoru jsou přiřazeny souřadnice  $x$ ,  $y$  a scanpath je popsán posloupností dvojic  $(x_i, y_i)$ , kde  $i$  jsou přirozená čísla 1 až  $L$ . Číslo  $L$  budeme říkat délkou scanpathu.

Dříve používané definice popisovaly scanpath jako sekvenci rychlých pohybů očí mezi body, na kterých ulpí pozornost, tzv. fixačními body. Těmto rychlým pohybům očí budeme říkat sakády. Většina dřívějších definic tedy sakády obsahuje, některé obsahují i fixační body. Naproti tomu doba fixace a hladký pohyb očí ve většině dřívějších definic obsažený nebyl.

Scanpath je možné zobrazovat staticky nebo dynamicky. Statické zobrazení scanpathu se obvykle provádí zobrazením fixačních bodů. Časová souslednost je poté naznačena úsečkami spojujícími právě ty body, které na sebe časově navazují. Úsečky symbolizují příslušné sakády. Navíc k nim mohou být pro lepší přehlednost přiřazena čísla a naznačen směr pohybu očí. Další možností zobrazení je vytvořit mapu pozornosti, kde bude vidět, kolik pozornosti věnoval člověk jednotlivým částem obrazu, nikoli však pořadí, ve kterém to dělal.

## 1.5 Souhrnné zobrazení pohledu

Gaze ploty jsou diagramy s vyznačenými fixacemi a sakádami. Fixace bývají zobrazovány kruhem, jehož poloměr znázorňuje dobu trvání fixace. Sakády jsou zobrazovány rovnou čarou.

Heat mapy jsou zobrazení, ve kterém se oblastem s určitou hustotou pro nás zajímavých bodů přiřadí nějaká barva. Obvykle je největší hustota reprezentována červenou barvou. Nízké hustoty pak barvou modrou. U zobrazování pohledu jsou pro nás zajímavými body fixace. Zohledňován může být počet fixací nebo jejich délka.

Clustery – Kruhové oblasti daného průměru obsahující více než určité množství fixací za určitý časový úsek.

Frequent cluster transitions – Zobrazení frekventovaných sakádických přechodů mezi clustery. Pro větší přehlednost je možné nezobrazovat všechny sakádické pohyby, ale zaměřit se jen na některé. Proto někdy nezobrazujeme každý sakádický pohyb, ale jen sakádické pohyby mezi clustery. Pokud bude více než určitý daný počet přechodů mezi clustery za určitý časový úsek, bude jejich spojnice na obrázku znázorněna rovnou čarou vedoucí z jednoho středu do druhého. Její šířka pak říká, jak frekventovaná spojnice je. Barvou lze udávat převažující směry jednotlivých pohybů na daných spojnicích.

Pokud však nejsou na obrázku preferovanější oblasti fixací, jako je tomu například u obrazů krajiny, znázorňování výše uvedeným způsobem nedává smysl. Proto se pro přehlednější využití používá jiný způsob.

Výhodné v takovém případě je využití zobrazení “similar saccades”, kdy se zobrazí pouze jedna rovná čára za více sakád vedoucích téměř stejným směrem a vzdálených ne příliš daleko od sebe. O takových sakádách říkáme, že si jsou podobné. Obvykle se tímto způsobem zobrazují pouze sakády, které mají více než určitý daný počet sakád podobných. Tloušťka čar pak ukazuje, kolik podobných sakád tam bylo.

## 1.6 Typy sakád

V následující podkapitole je čerpáno od Holmqvist (2011).

Backtrack – vztah dvou po sobě následujících sakád, kde druhá z nich má opačný směr než první. Existují dva způsoby, jak určit opačný směr. První možností je brát jako opačný směr takový, který se od předchozího liší víc než o 90 stupňů. Druhá striktnější varianta je, že se navíc přidá podmínka pro fixaci na konci druhé sakády. Pokud je fixace na konci druhé sakády vzdálená od fixace na začátku první sakády maximálně o 2°, potom můžeme mluvit o backtracku. Příklad backtracku můžeme vidět na obrázku 1.1.

Obecně má rovnice  $z^n = 1$  celkem  $n$  navzájem různých kořenů

$$z_k = \cos\left(\frac{k \cdot 2\pi}{n}\right) + i \sin\left(\frac{k \cdot 2\pi}{n}\right), \text{ pro } k = 0, 1, \dots, n-1,$$

Obrázek 1.1: Backtrack

Regressions – Pohyby očí proti směru textu, nikoliv nutně vůči poslední sakádě. Pohyb je znázorněn na obrázku 1.2.

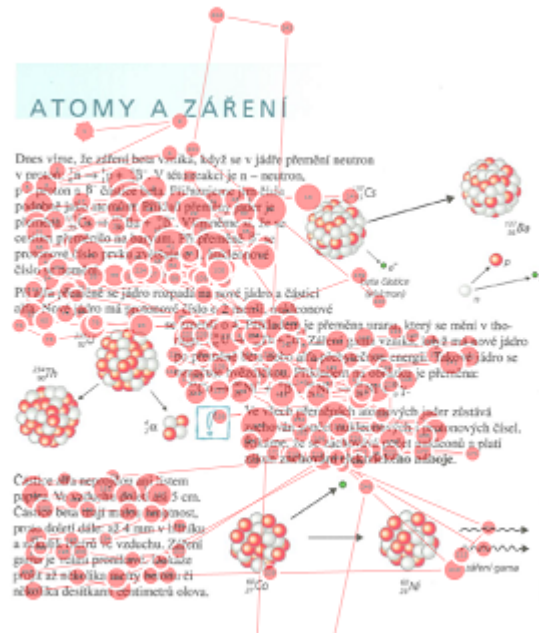
Look-backs – Jako look-back označujeme sakády takové, že u kterých se vrací pohled do místa, které bylo již dříve fixováno. Předpokládá se, že je to kvůli omezené kapacitě pracovní paměti. Na rozdíl od backtracků se typicky nejedná o okamžité vrácení se, ale spíše akci v rámci sekund.

Look-aheads jsou sakády vedoucí k fixačním bodům, které budou dále potřeba k provedení určité činnosti nebo úkolu. Look-aheads jsou vysoce závislé na

Obecně má rovnice  $z^n = 1$  celkem  $n$  navzájem různých kořenů

$$z_k = \cos\left(\frac{k \cdot 2\pi}{n}\right) + i \sin\left(\frac{k \cdot 2\pi}{n}\right), \text{ pro } k = 0, 1, \dots, n-1,$$

Obrázek 1.2: Regression



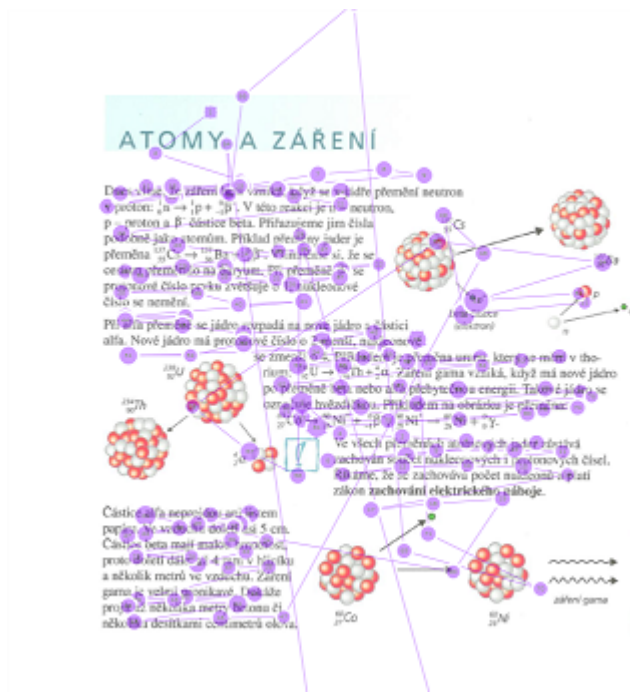
Obrázek 1.3: Reading

konkrétním úkolu. Mennie a kol. (2007) uznávají jako look-back sakády, jejichž fixace na konci byly použity maximálně 10 sekund poté.

Local versus global – Můžeme porovnávat scanpathy lokální a globální. Lokální scanpath jsou prostorově omezené sakády s malou amplitudou. Holmqvist (2011) uvádí, že do 11° se jedná o lokální scanpath. U větších úhlů už se jedná o scanpath globální. Pozorující lidé obvykle střídají lokální a globální scanpath. Díky možnosti dělení do těchto dvou skupin, lze fixace shromažďovat do clusterů. Hlavní nevýhoda tohoto dělení je nutnost stanovení hranice mezi local a global.

Sweep – sekvence sakád stejným směrem, podobné jako čtení (viz níže).

Reading versus scanning – Reading je typ sakádického pohybu, při kterém jsou poměrně nízké délky jednotlivých sakád. Při scanningu jsou délky sakád vyšší. Reading můžeme dále identifikovat pomocí směru. Oproti scanningu je směr readingu horizontální. Dalším rozlišovacím znakem je délka fixace. Reading je ukázán na obrázku 1.3 a scanning na obrázku 1.4, převzatých z práce Krejčí (2019).



Obrázek 1.4: Scanning

## 1.7 Další analýza sakádických pohybů

Další možností jak analyzovat sakádické pohyby, kvantitativní analýza, jak uvádí Klein a kol. (2018). Příkladem kvantitativní analýzy je saccadic direction analysis. Jde o analýzu sakádických pohybů, při které se vezme množina všech dvojic bezprostředně po sobě následujících fixací. Z této množiny se určí všechny možné směry sakád. Pro zobrazení se určí střed. Daný směr bude reprezentovaný bodem, který bude vůči středu pod stejným úhlem, jako je úhel daného směru, a vzdálenost bodu od středu bude reprezentovat relativní četnost zobrazovaného směru.

## 1.8 Typy pozornosti

Jak uvádí Duchowsky (2007), existují dva typy pozornosti.

Bottom up – výrazné prvky v zorném poli přitáhnou pozornost, a tím i pohled. Není řízeno vůlí.

Top down – člověk optimalizuje pohled vzhledem k nějakému cíli. Cílem může být například prohlédnutí si scény, potom bývá optimální poloha blízko jejího středu, nebo nalezení určitého prvku, pak se pohled stáčí na místo s největší pravděpodobností nalezení tohoto prvku.

## 1.9 Práce Terézie Vondráčkové

Tato práce vychází z prací Terézie Vondráčkové, proto následuje shrnutí její diplomové práce. Použita byla kamera TX300 od firmy Tobii, jak se můžeme dočíst v Tobio (2010). Práce měla za úkol identifikovat klíčové části grafu u expertů

a žáků, jak uvádí Vondráčková (2020). Výzkumu se účastnilo 9 expertů a 23 žáků. V práci autorka porovnávala experty a žáky, kteří řešili tytéž úlohy. Úloh bylo celkem devět. Žáci si nejprve prohlíželi graf síly, kterou působila Lída na váhu při stání, skoku a dopadu do dřepu. Tento graf ve své práci uvádí Vondráčková (2018). Po sedmi sekundách už si účastníci neměli možnost graf prohlížet a měli za úkol ho překreslit. Poté si ho opět mohli prohlédnout a byl jim vysvětlen význam grafu. Poté jim byla položena otázka. Následně jim byly ukázány postupně další čtyři grafy a ke každému byla položena otázka.

V další úloze si žáci měli graf deset sekund prohlížet a až poté odpovídali na otázku. U dalších tří úloh byl účastníkům ukázán graf a k tomu otázka. Třetí a poslední úloha byly s výběrem odpovědi. Ve zbytku se jednalo o otázky otevřené.

Správně řešící žáci více fixovali relevantní části grafu a trávili méně času u ne-relevantních než špatně řešící žáci. Experti si toho zvládli zapamatovat více než žáci.

## 2. Praktická část

### 2.1 Cíl práce

Tato práce se zabývá sakádickými pohyby při práci s grafy. Vzhledem k tomu, že směr vizuální pozornosti je určen i předchozími zkušenostmi s daným typem problému a celkovým způsobem řešení, mohly by existovat rozdíly v sakádách mezi dobře a špatně řešícími žáky. Cílem práce bude tedy popisná analýza sakád a zjištění, zda existují rozdíly mezi správně a nesprávně řešícími žáky, podobně jako zjistil Klein a kol. (2020) u otázek s výběrem odpovědí, popřípadě, jaké ty rozdíly jsou.

### 2.2 Úlohy

Pro analýzu sakádických pohybů použijeme grafy a záznamy pohybu očí, které uvádí Vondráčková (2018) a Vondráčková (2020). V této práci použijeme záznamy žáků, které změřila Vondráčková (2020). Data máme pro devět úloh, ale budeme jich z toho vyhodnocovat pouze sedm. Zadání úloh bylo následující:

U první úlohy, kterou budeme dále nazývat Dřepování, byl ukázán graf 2.1, a k tomu byl úkol: Podívej se na graf a zjisti, kolik Lída váží.

Úloha dva, dále ji budeme nazývat Crash, měla graf 2.2 a k ní úkol: Určete, v jaký moment se auto odrazilo od zdi.

Třetí úloha, dále bude uváděna jako f-t, měla graf 2.3 a úkol byl: Přiřadte následující grafy k popisu dějů.

Čtvrtá úloha, kterou budeme dále v textu nazývat jako Kinetická energie, měla graf 2.4 a úkol: Určete z následujícího grafu, v kterém místě měla kulička největší POTENCIÁLNÍ (polohovou) energii.

K páté úloze, kterou budeme dále nazývat Potenciální energie, byl graf 2.5 a úkol: V kterém místě měla kulička největší rychlost?

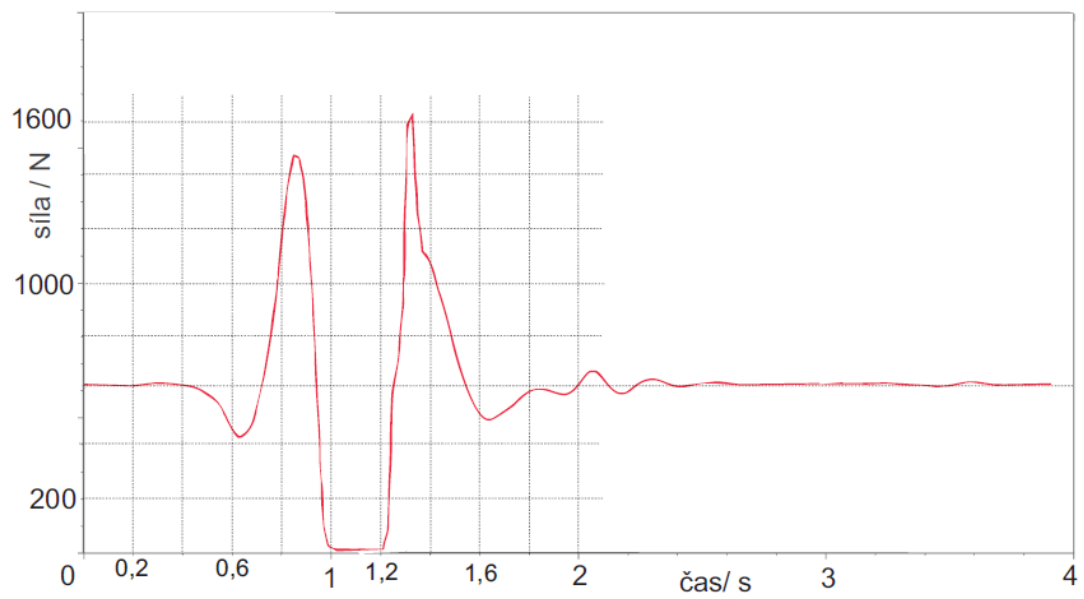
Šestá úloha, která bude dále uváděna jako Kinetická a potenciální energie, s grafem 2.6 měla úkol: Z následujícího grafu urči, v kterém místě měla kulička a) největší potenciální energii, b) největší rychlost

Sedmou úlohu budeme dále nazývat Šíp a má graf 2.7. Úkol u grafu byl Kdy ještě šíp/tětiva získávala energii?

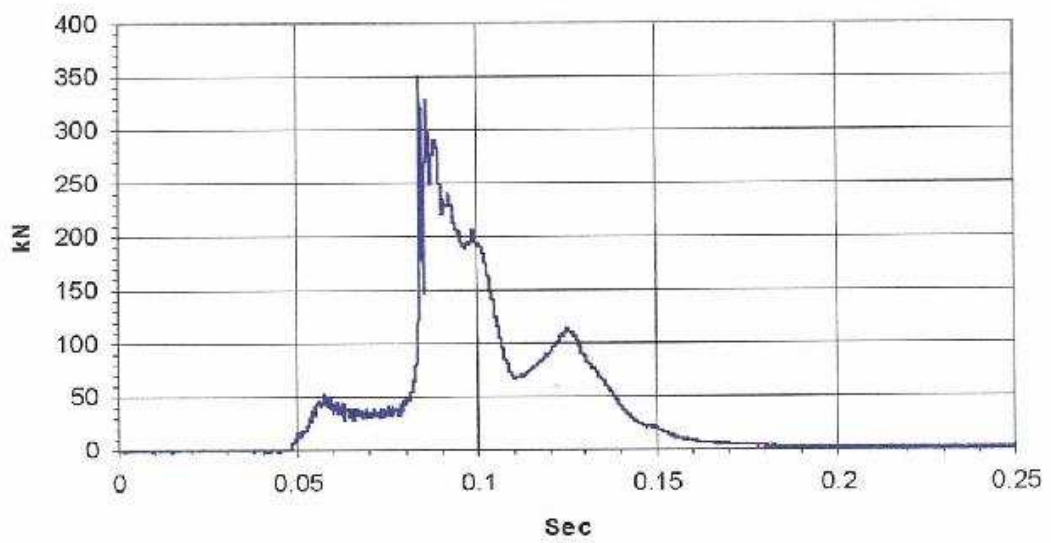
Osmá úloha má graf 2.8 a budeme jí dále nazývat Klávesnice. Úkol byl následující: Kdy klávesa získávala energii stiskem prstu?

Poslední devátou úlohu budeme nazývat F-x a k ní příslušný graf najdeme na obrázku 2.9. Úkol byl: Přiřadte následující grafy k popisu dějů.

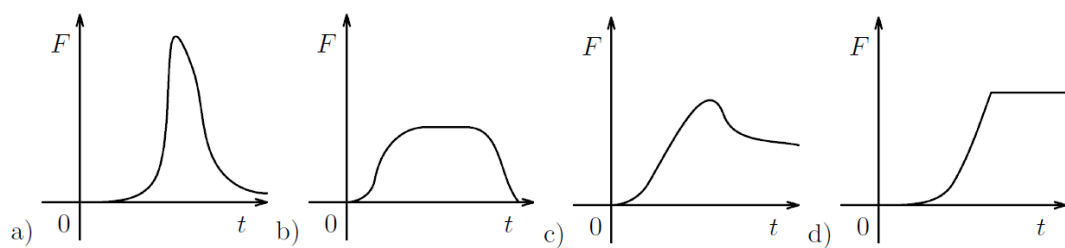
Budeme vyhodnocovat sedm z devíti úloh, protože úlohy F-t a F-x byly s výběrem odpovědí. Data záznamů pohledu byla u každého člověka ve formě seznamu fixací s jejich polohou a časem. Data, tak jak byla na začátku zpracování, se nachází na obrázku 2.10.



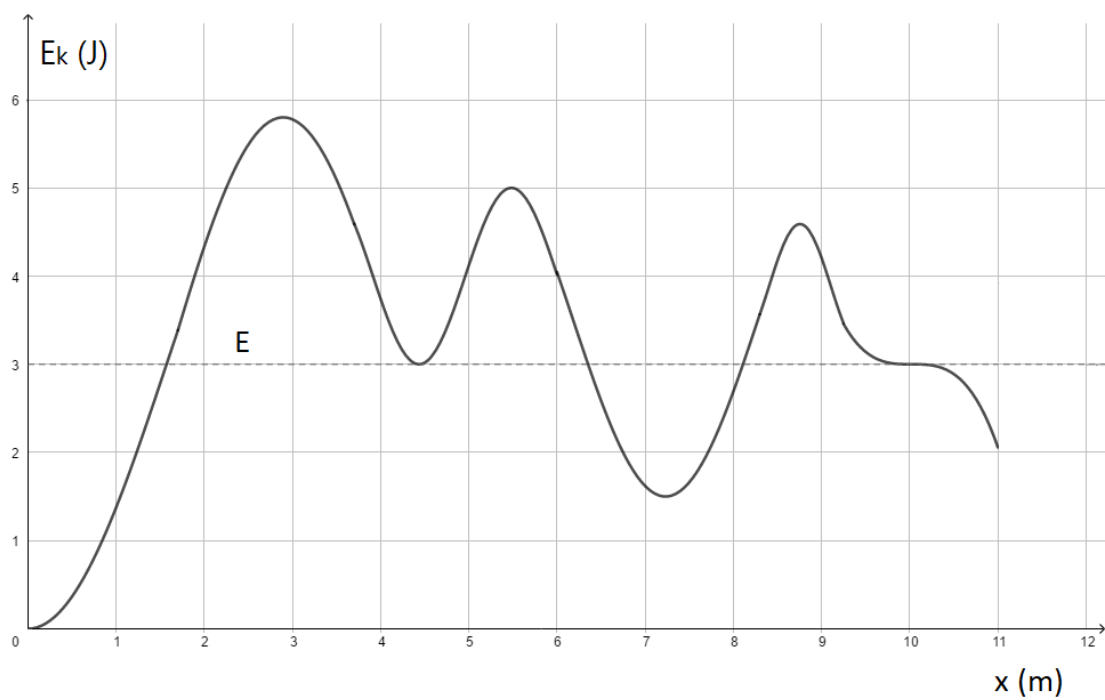
Obrázek 2.1: Dřepování



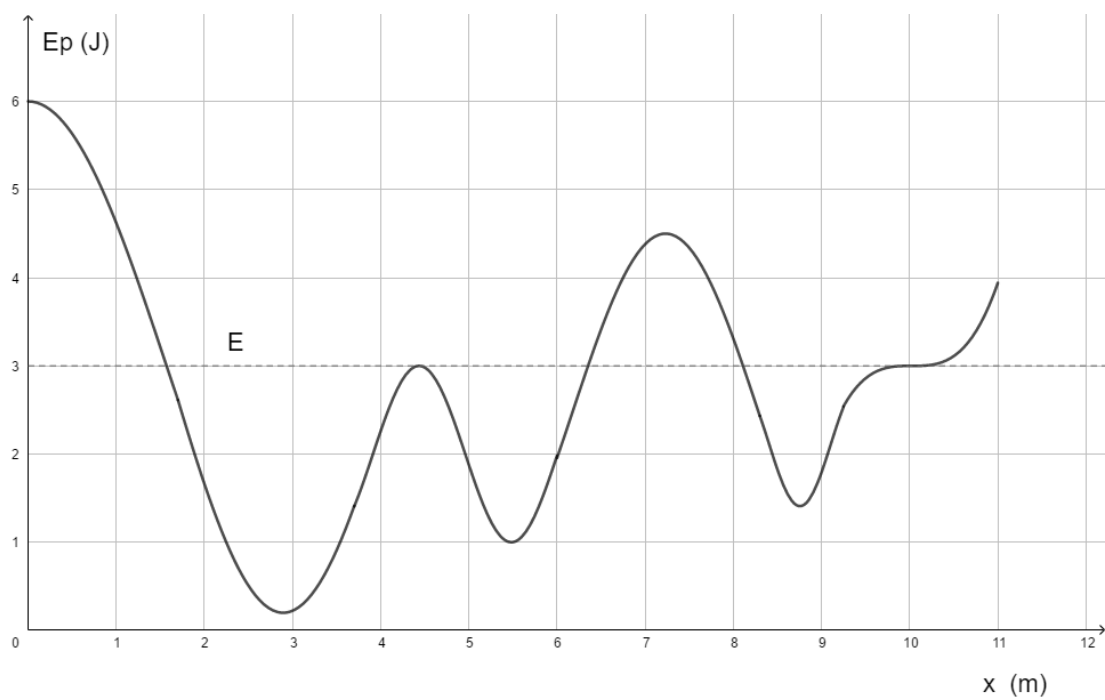
Obrázek 2.2: Crash



Obrázek 2.3: F-t

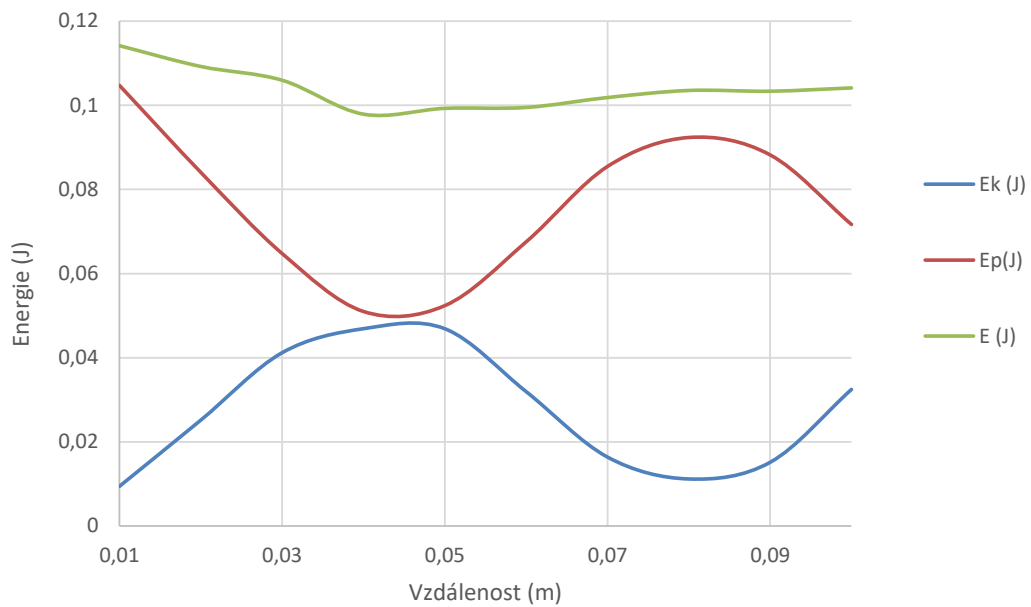


Obrázek 2.4: Kinetická energie

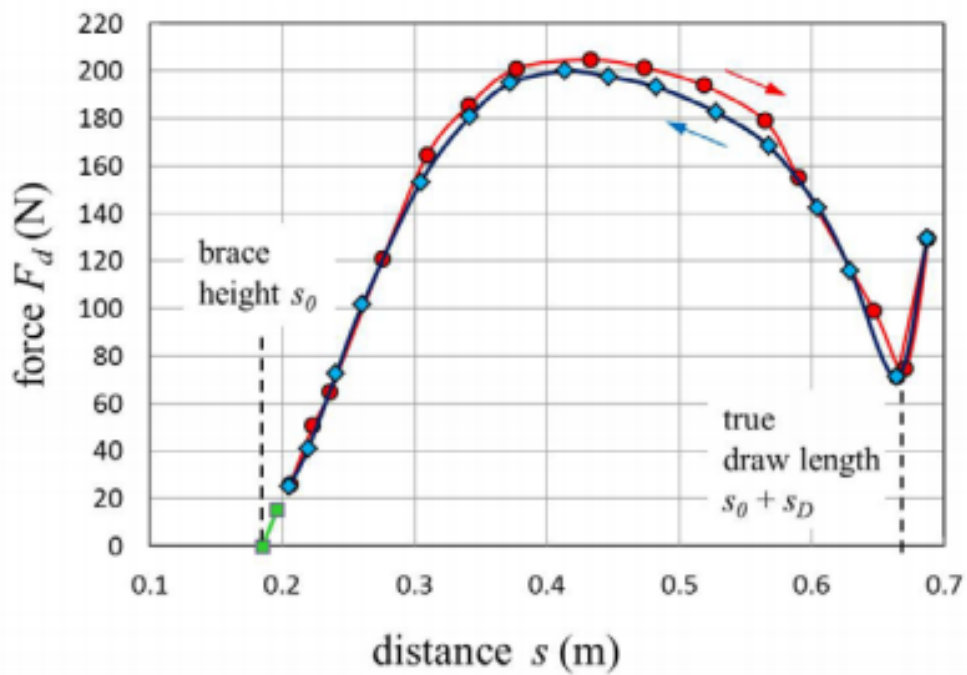


Obrázek 2.5: Potenciální energie

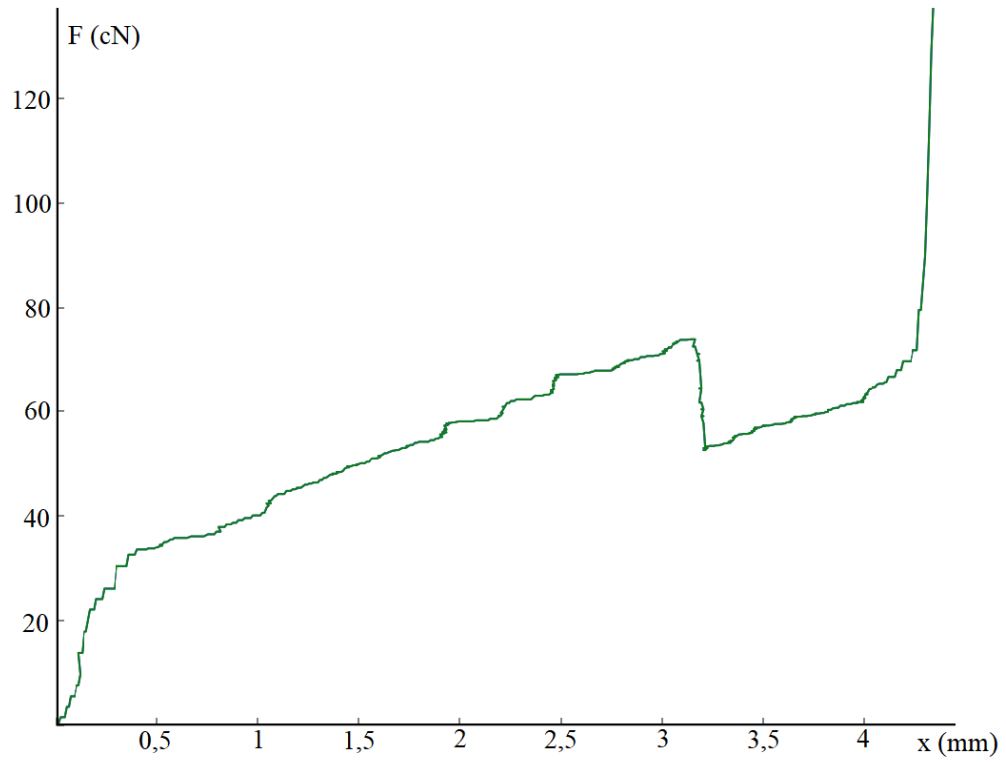




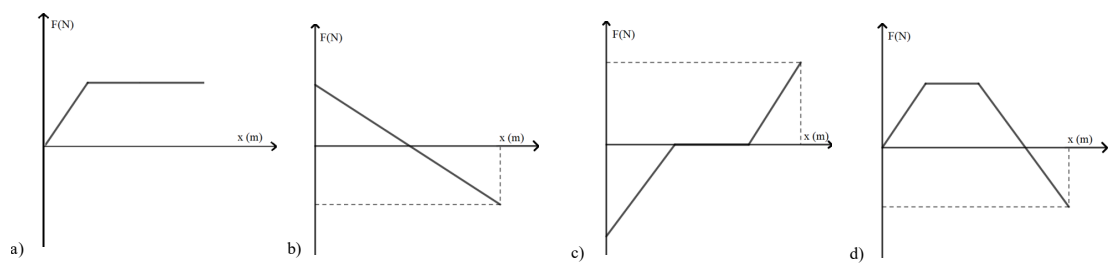
Obrázek 2.6: Kinetická a potenciální energie



Obrázek 2.7: Šíp



Obrázek 2.8: Klávesnice



Obrázek 2.9: F-x

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
Experiment	Subject	Project	Source	Part	Recording	Recording	Date	Recording	Recording	Fixation	Media	Media	Media	Media	Recording	Local	Time	Eye	Fixation	Score	Gain	Event	Fixation	Fixation
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	1927:08:44:59:665	###	1	Fixation	1371751	1077	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	2187:08:44:59:925	###	2	Fixation	111:603	974	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	2708:08:45:00:072	###	3	Fixation	136:488	860	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	2651:08:45:00:245	###	4	Fixation	207:219	790	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	2765:08:45:00:500	###	5	Fixation	143:649	1100	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	2951:08:45:00:695	###	6	Fixation	137:500	971	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	3238:08:45:00:982	###	7	Fixation	387:529	875	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	3651:08:45:01:395	###	8	Fixation	363:627	951	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	4195:08:45:01:930	###	9	Fixation	163:709	1098	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	4396:08:45:02:142	###	10	Fixation	310:592	963	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	4714:08:45:02:456	###	11	Fixation	197:575	924	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	4878:08:45:02:621	###	12	Fixation	73:575	909	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	4974:08:45:02:718	###	13	Fixation	360:467	905	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	5344:08:45:03:080	###	14	Fixation	213:419	948	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	5584:08:45:03:328	###	15	Fixation	227:344	941	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	6021:08:45:03:765	###	16	Fixation	117:383	923	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	6184:08:45:03:920	###	17	Fixation	163:657	943	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	6374:08:45:04:118	###	18	Fixation	187:690	1074	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	6588:08:45:04:331	###	19	Fixation	193:524	1082	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	6801:08:45:04:544	###	20	Fixation	133:447	1080	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	7104:08:45:04:848	###	21	Fixation	93:225	802	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	7251:08:45:04:994	###	22	Fixation	177:487	388	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	7454:08:45:05:198	###	23	Fixation	180:569	357	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	7684:08:45:05:428	###	24	Fixation	203:183	737	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	8087:08:45:05:831	###	25	Fixation	173:266	814	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	8291:08:45:06:034	###	26	Fixation	87:217	868	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	8421:08:45:06:164	###	27	Fixation	203:549	945	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	8931:08:45:06:574	###	28	Fixation	117:607	920	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	26805:08:45:24:548	###	29	Fixation	387:443	734	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	27108:08:45:24:851	###	30	Fixation	293:419	951	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	27428:08:45:25:171	###	31	Fixation	237:435	1066	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	27708:08:45:25:451	###	32	Fixation	377:391	750	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	28128:08:45:25:871	###	33	Fixation	253:405	1077	
12.3.2021	3.2.3	2019	Tekla	View	P02	Rec 04	5.12.2019	294210	1920 x 1080	L-VT	fiber	SHIPPON	FA	365	-326	1190	1683	28401:08:45:26:145	###	34	Fixation	120:433	1037	

Obrázek 2.10: Data

## 2.3 Analýza dat

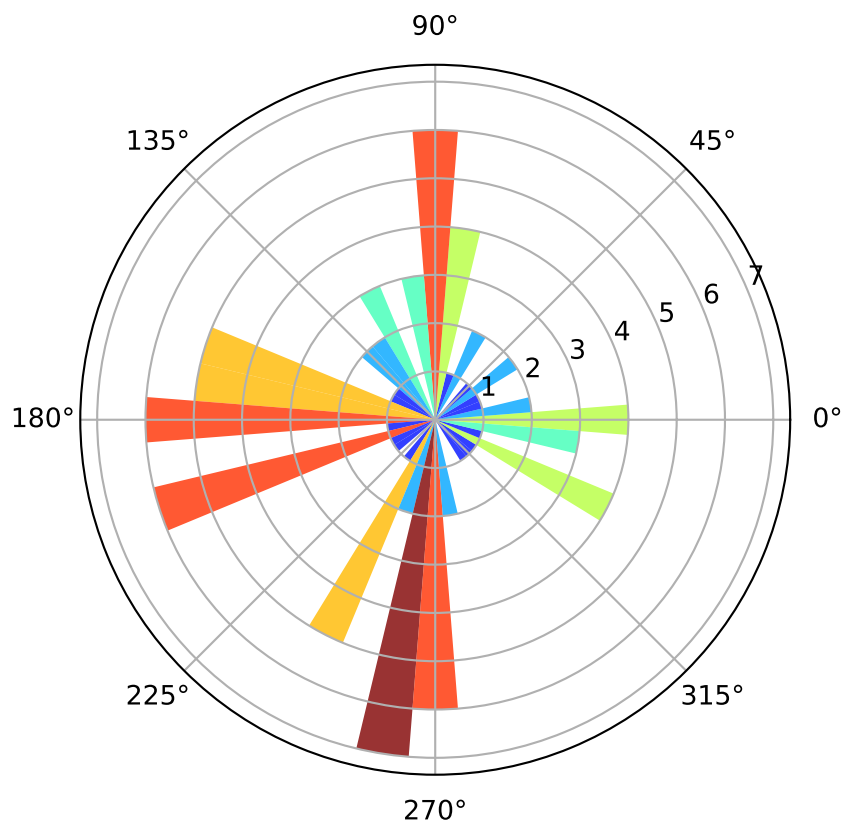
U každé úlohy a u každého člověka provedeme čtyři různé analýzy sakádických pohybů. Budeme zkoumat směry všech sakád. Poté budeme zkoumat směry prvních čtyřiceti sakád. Předpokládá se, že první vteřiny po přečtení zadání se účastníci mohou dívat na graf jinak než po určité době. Čtyřicet sakád odpovídá přibližně deseti sekundám. Poté budeme zkoumat těkání očí tam a zpátky, mohlo by to značit, že se účastník rozhoduje, nebo přemýšlí nad dvěma relevantními body, a proto by se správně a špatně řešící mohli lišit. Poslední, co budeme řešit je průměrná velikost sakád.

### 2.3.1 Zpracování dat

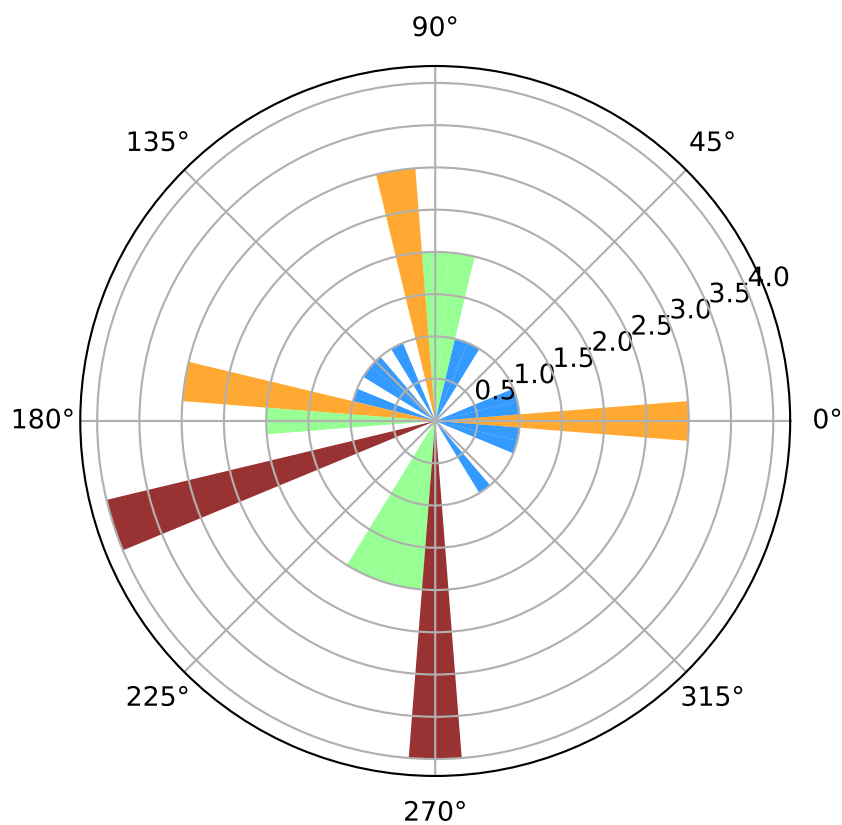
První z nich je analýza směrů. U každého účastníka dané úlohy se nejprve spočítá z naměřených bodů fixací, jakým směrem vykonal pohyb. Předpokládá se, že pohyb byl vykonán přibližně po úsečce. A proto stačí od sebe odečíst souřadnice po sobě jdoucích bodů fixace, tím si vytvořit vektor daného směru, a pak už snadno spočítat jeho směr. Počet pohybů daného směru zobrazíme na polárním histogramu. Jeden úsek histogramu odpovídá devíti stupňům.

V grafech jsou popsány poloměry jednotlivých úseků. Dané číslo znamená počet sakád vedoucích daným směrem. Pokud se úseky nacházejí vedle sebe a mají stejný počet sakád, tak jsou spojené v jeden větší úsek. Úhel  $0^\circ$  se nachází v kladné části osy x. První oblast se na obrázku nachází devět stupňů okolo  $0^\circ$ , tedy od  $355,5^\circ$  do  $4,5^\circ$  graficky, a značí vektory  $0^\circ$  až  $9^\circ$ , přičemž vždy dolní hranici započítáme a horní ne. Oproti reálu je tedy obrázek posunut o  $4,5^\circ$  v záporném směru. Úhel, který úsek obepíná, je ta nižší z hodnot intervalu. Každá další oblast je opět po devíti stupních. V podobných grafech budeme mít i směry sakád pro prvních čtyřicet fixací. Ukázku grafů vidíme na obrázcích 2.11 a 2.12. Data byla zpracovávána v programu Python.

Další vlastností, kterou budeme zkoumat, je těkání očí tam a zpátky. Ve



Obrázek 2.11: Histogram všech sakád



Obrázek 2.12: Histogram prvních čtyřiceti sakád

vzorku hledáme sekvence, kde se v datech ob jedno vyskytovala stejná oblast, takové sekvenci budeme dále říkat návrat. Stejně jak uvádí van Silfhout (2014), budeme považovat fixaci za stejnou, pokud je maximální vzdálenost 30 pixelů. U každé úlohy můžeme vidět tabulku celkového počtu návratů pro jednotlivé účastníky a potom také tabulku sekvencí. Jsou tam zapsány počty návratů tak, že každé číslo značí, kolik návratů následovalo bezprostředně po sobě.

Jako poslední byla zkoumána průměrná velikost sakád. Opět se vypočítá z po sobě jdoucích fixací rozdíl a poté velikost vzniklého vektoru.

### 2.3.2 Vlastní analýza

U každé úlohy budeme porovnávat dvě skupiny. Jedno porovnání se bude týkat úspěšných a neúspěšných v dané úloze. Zda jednotliví účastníci řešili dané úlohy správně, nebo špatně, vidíme v tabulce 2.1. V údajích je vždy tabulka, ve které je napsán celkový počet návratů a jejich průměrný počet u správně a špatně řešících. Jsou zaznamenány počty návratů jdoucích těsně po sobě.

U každé úlohy budou v tabulkách uvedeny průměrné velikosti sakád jednotlivých účastníků. Poté z nich bude ve skupinách správně a špatně řešících vypočítána průměrná hodnota. Budeme jí pro jednoduchost nazývat průměrná velikost sakád pro správně nebo špatně řešící žáky. Zároveň bude u skupin vypočítána směrodatná odchylka. hodnoty pro správně a špatně řešící porovnáme.

U úloh bude i další tabulka, kde bude u každého účastníka uveden jeho počet návratů. Opět spočítáme u správně a špatně řešících průměr a směrodatná odchylka. Hodnoty se následně porovnaj.

U směrů budeme srovnávat grafy všech sakád správně a špatně řešících. Poté grafy prvních čtyřiceti sakád mezi správně a špatně řešícími. Nakonec budeme porovnávat histogramy prvních čtyřiceti sakád a pro všechny sakády daného účastníka u dané úlohy. Grafy budeme porovnávat z několika pohledů: celkový vzhled a nejčastější směry. U každé úlohy bude vybrán ten pohled, který nejvíce charakterizuje rozdíly mezi grafy. Pokud bude více charakteristik, ve které se grafy dané úlohy liší, může jich být porovnáváno několik.

U celkového vzhledu se bude řešit, kolik je oblastí, které mají délku 75 procent z nejdelší oblasti a více, kolik oblastí mají délku minimálně 50 procent z nejdelší oblasti, a v kolika oblastech není zobrazen vůbec žádný pohled. Jako poslední věc se zjišťuje, jak jsou časté směry (ty, které mají 75 procent z nejdelší oblasti) rozmístěné. Například, zda lze histogram rozdělit na čtvrtiny tak, aby v každé oblasti byl nějaký častý směr a zároveň, aby alespoň u tří dělicích úseček byl ve vzdálenosti  $45^\circ$  častý směr. Čtvrtina je zvolená, protože nám to ukazuje, že časté směry jsou rozprostřeny. Tolerance jedné oblasti od určitého úhlu znamená, že oblast nemusí těsně přiléhat na zadaný úhel, stačí když oblast přiléhá na úhel, který se nachází  $9^\circ$  od zadaného. Obdobně tolerance dvě oblasti znamená, že úhel, na který oblast přiléhá, je maximálně  $18^\circ$  od zadaného úhlu.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P02	A	N	A	A	A	A	N	N	A
P03	A	N	N	A	A	A	N	N	A
P04	A	A	N	A	A	A	N	N	N
P05	N	N	N	A	A	A	N	N	N
P06	A	N	N	N	A	N	N	N	A
P07	N	N	A	A	A	A	N	N	A
P08	A	N	N	A	A	A	N	N	A
P09	A	A	N	A	A	A	N	N	A
P10	A	N	N	A	A	A	N	N	A
P12	A	N	N	N	N	A	N	N	A
P13	A	A	N	N	A	A	N	N	N
P14	A	N	N	N	N	A	N	N	A
P15	A	N	N	N	N	A	N	N	N
P16	A	N	N	N	N	N	N	N	N
P17	A	N	N	N	N	A	N	N	A
P18	A	N	A	N	N	A	N	N	A
P19	A	N	N	N	N	A	N	N	N
P20	N	N	N	A	A	N	A	N	N
P21	N	N	N	N	A	N	N	N	N
P22	N	N	A	A	A	A	N	N	A
P23	A	N	A	N	N	A	A	N	N
P24	A	N	A	A	A	A	N	A	N
P25	N	N	N	N	A	N	A	N	N

Tabulka 2.1: Úspěšnost řešení úloh u jednotlivých účastníků

# 3. Kvalitativní popis a interpretace výsledků

Grafy, o kterých se mluví v této kapitole, se nacházejí v příloze. Jedná se o již dříve zmíněné histogramy.

## 3.1 Dřepování

Sedmnáct účastníků vyřešilo úlohu správně a zbylých šest nesprávně. Průměrná velikost sakád u správně a špatně řešících se liší o 9,0, jak je vidět v tabulce 3.1. Průměrná velikost správně řešících je 146,2 a u špatně řešících 155,2. Směrodatná odchylka průměrné velikosti sakád u správně řešících je 25,1 a u špatně řešících 31,9. Návraty najdeme v tabulce 3.2. Průměrný počet návratů je u správně řešících 11,5 a u špatně řešících 11,2. Průměry se liší pouze o 0,3. Směrodatná odchylka správně řešících je 8,0 a špatně řešících 6,9.

V následujícím textu budeme účastníky porovnávat zejména z pohledu nejfrekventovanějších směrů sakád. Někteří mají těchto směrů více, a proto se mohou objevit v několika různých skupinách.

### 3.1.1 Směry všech sakád

#### Směr všech sakád u správně řešících žáků

Zobrazované grafy by se daly zařadit do několika skupin, které se podobají. U účastníků P04, P06, P08, P23 je nejfrekventovanější oblastí směrů sakád od  $261^\circ$  do  $270^\circ$ . Kolem oblasti  $261^\circ$  se pohybuje nejfrekventovanější oblast i u účastníka P14, jeho nejčastější směr pohledu byl od  $252^\circ$  do  $261^\circ$  a druhý nejčastější od  $270^\circ$  do  $279^\circ$ . Účastníci P09, P18, P19 mají nejfrekventovanější oblasti od  $270^\circ$  do  $279^\circ$ . Od  $270^\circ$  do  $279^\circ$  měli nejfrekventovanější úsek P12 a P19. P02 se díval přibližně do kříže s tolerancí jedna oblast. Nejčastější směr P13, P15, P16 a P17 je  $0^\circ$  až  $9^\circ$ . P09 a P24 mají jednu z nejfrekventovanějších oblastí od  $90^\circ$  do  $99^\circ$ . P03 má nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . P10 má nejčastější směr  $72^\circ$  až  $81^\circ$ .

#### Směr všech sakád u špatně řešících žáků

P05 má nejčastější pohledy do kříže. Od  $261^\circ$  do  $270^\circ$  se díval P21.  $180^\circ$  až  $189^\circ$  je nejčastější směr pro P03, P05, P07 a P25. P22 má nejčastější směr od  $270^\circ$  do  $279^\circ$ . Zároveň je to druhý nejčastější směr pro P20. Nejčastější pro P20 je  $351^\circ$  až  $360^\circ$ .

#### Porovnání směru všech sakád

Pokud se zaměříme primárně na nejčastější směry pohledu a sekundárně na celkový vzhled, v grafech se vyskytují skupiny napříč správně a špatně řešícími. Ze správně řešících je nejfrekventovanější pohled pro osm (P04, P06, P08, P09, P14, P18, P19, P23) ze sedmnácti správně řešících účastníků v intervalu  $261^\circ$  až  $279^\circ$ . U špatně řešících se tyto směry objevují pro P21 a P22.

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P02	151,3
P03	150,9
P04	170,0
P06	137,5
P08	127,0
P09	129,6
P10	160,9
P12	160,9
P13	210,7
P14	144,4
P15	121,4
P16	129,5
P17	148,7
P18	94,4
P19	155,7
P23	161,7
P24	131,4
Průměr	146,24
Špatně	
P05	111,0
P07	207,5
P20	160,5
P21	156,4
P22	136,4
P25	159,8
Průměr	155,26

Tabulka 3.1: Průměrná velikost sakád u Dřepování



Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P02	16	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
P03	32	1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 3 2 1 1 1
P04	15	1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1
P06	17	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
P08	4	1 1 1 1
P09	3	1 1 1
P10	5	1 1 1 1 1
P12	2	1 1
P13	5	1 1 2 1
P14	10	2 1 1 3 1 1 1
P15	24	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 3 1 1 1
P16	15	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P17	4	1 1 2
P18	12	1 1 1 1 2 1 2 1 2
P19	12	2 2 1 2 1 1 1 1 1
P23	9	1 2 1 1 1 1 1 1
P24	10	1 1 1 1 2 1 1 1 1
Průměr	11,5	
Špatně		
P05	8	1 1 1 1 1 1 1 1
P07	7	1 1 1 1 1 1 1
P20	8	1 1 1 2 1 1 1
P21	11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P22	8	1 1 1 1 1 1 1 1
P25	25	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
Průměr	11,2	

Tabulka 3.2: Návraty účastníků do stejných oblastí u Dřepování

Pro špatně řešící je nejčastější úsek  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Tímto směrem se převážně dívali tři účastníci P05, P07 a P25 z šesti. Ze správně řešících se hlavně v tomto úseku díval jen P03.

P05 má nejčastější pohledy do kříže, podobně jako správně řešící P02.

### 3.1.2 Směry prvních čtyřiceti sakád

U této úlohy budeme v následující podkapitole rozebírat směry prvních čtyřiceti sakád jednotlivých účastníků.

#### Směr prvních čtyřiceti sakád u správně řešících žáků

P04, P09, P15 a P16 mají nejfrekventovanější směr  $0^\circ$  až  $9^\circ$ . P18, P23 a P24 mají nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . P06, P12 a P19 mají nejčastější směr  $270^\circ$  až  $279^\circ$ . Žádný další směr se v nejčastějších neobjevuje víckrát než dvakrát. Zároveň se u prvních čtyřiceti fixací objevuje poměrně hodně relativně častých směrů. Například u P14 byl pohyb očí dvěma nejčastějšími směry proveden třikrát a deseti druhými nejčastějšími směry proveden dvakrát. Obdobně tomu tak je u P02, P03, P06, P09, P13. U ostatních už jsou naopak vidět význačnější směry.

#### Směr prvních čtyřiceti sakád u špatně řešících žáků

U této množiny se časté sakády téhož směru objevují pouze dvakrát, a to pro P07 a P20 pro úhel  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . A pro P20 a P21 pro úhel  $261^\circ$  až  $270^\circ$ . Hodně relativně častých směrů se objevuje pro P20.

#### Porovnání směru prvních čtyřiceti sakád

U prvních čtyřiceti sakád jsou skupiny grafů, které jsou si nějakým způsobem podobné, poměrně malé. Maximálně pro čtyři účastníky a to se vyskytovalo jen jednou. Zároveň si uvedené grafy nebyly tolik podobné celkově, ale měly mezi sebou společný jen jeden směr.

### 3.1.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád

#### Pro správně řešící žáky

U správně řešících žáků se zde objevují dvě skupiny. Jedna z nich má již vyhraněnější směry a druhá má poměrně hodně častých směrů. Za častý směr zde považujeme ten, který má nanejvýš o jeden pohled méně než nejdelsí. Uvádíme v dříve zmíněných skupinách ty, které mají alespoň šest častých směrů. Správně řešící účastníky budeme při porovnání třídit do čtyř skupin.

U první skupiny grafy prvních čtyřiceti sakád a všech neobsahují žádný společný směr a graf prvních čtyřiceti sakád obsahuje hodně poměrně častých směrů. Do zmíněné skupiny patří P02, P03, P08, P13, P14.

U druhé skupiny grafy první čtyřiceti sakád a všech neobsahují žádný společný směr a graf prvních čtyřiceti sakád je vyhraněnější. Do uvedené skupiny patří P04, P09, P17, P18, P23, P24.

Další skupina má stejný alespoň jeden nejčastější směr, který se svou polohou liší maximálně o jednu oblast, a zároveň má na začátku jen málo častých směrů. Sem patří P06, P10, P12, P15, P16, P19. Tolerance jedné oblasti je zvolena kvůli podobnosti grafů. Je pravděpodobné, že u některých z nich se pohledy pohybovaly okolo hraničního úhlu.

Skupina, která má na začátku méně častých směrů a zároveň se nejčastější směry změnila, zde není zastoupena. Pravděpodobně k tomu přispívá velká tolerance u skupiny předešlé.

### **Pro špatně řešící žáky**

P07, P21, P22 měli stejný alespoň jeden častý směr. Grafy P05, P20, P25 se nepodobají tak očividně jako ty předchozí. Přesto ale společné prvky najdeme. U všech je vidět výraznější nebo méně výrazná vzhledová podoba s grafem směrů prvních čtyřiceti sakád. U P25 je u obou grafů vidět kříž, i když u prvních čtyřiceti méně určitý. P20 má u obou grafů poměrně hodně pohybů do různých směrů a zároveň je u obou výrazný směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . U obou grafů P05 je vidět výrazná pravo-levá tendence.

### **3.1.4 Shrnutí pozorování u úlohy Dřepování**

Jak v průměrné délce sakád, tak v počtu po sobě následujících návratů byl pouze zanedbatelný rozdíl. U porovnávání směrů všech sakád v rámci úlohy bylo vidět, že vznikají skupiny, které měly podobné grafy a v nich podobné časté směry, napříč správně i špatně řešícími žáky. Zastoupení skupin je u správně a špatně řešících různé, ale vzorek je příliš malý na to, aby se dalo předpokládat, že jde o rozdíly mezi správně a špatně řešícími a ne o individuální rozdíly. U porovnání prvních čtyřiceti a všech se zdá, že u správně i špatně řešících žáků se vyskytovaly i grafy podobné i grafy odlišné.

## **3.2 Crash test auta**

Tři účastníci vyřešili úlohu správně, zbylých dvacet nesprávně. Průměrná velikost sakády je u správně řešících 138,1 a u špatně řešících je o 5,5 menší a to 132,6, jak je vidět v tabulce 3.3. Směrodatná odchylka velikosti sakád u správně řešících je 26,5 a u špatně řešících 25,0. Všichni správně řešící vykonali 16 návratů, jak je vidět v tabulce 3.4. Naproti tomu u špatně řešících byl průměrný počet návratů 10,8 a směrodatná odchylka 10,4.

Vzhledem k charakteru grafů zde budeme na rozdíl od předchozí úlohy rozebírat spíše počet oblastí v grafu určité velikosti. Velikost bude vždy vztahována k nejdelsí oblasti grafu.

### **3.2.1 Směry všech sakád**

U této úlohy budeme v následujících odstavcích rozebírat směry všech sakád jednotlivých účastníků.

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P04	155,4
P09	107,6
P13	151,3
Průměr	138,1
Špatně	
P02	178,5
P03	137,0
P05	83,5
P06	131,6
P07	163,7
P08	128,9
P10	119,4
P12	130,1
P14	143,5
P15	126,8
P16	117,3
P17	162,4
P18	84,9
P19	111,2
P20	115,8
P21	171,0
P22	127,5
P23	136,8
P24	130,5
P25	151,1
Průměr	132,6

Tabulka 3.3: Průměrná velikost sakád u Crash

Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P04	16	1 1 1 1 1 2 1 1 1 3 1 1 1
P09	16	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1
P13	16	1 3 1 1 1 1 1 2 2 2 1
Průměr	16,0	
Špatně		
P02	8	1 2 1 1 1 1 1
P03	2	1 1
P05	5	3 1 1
P06	5	1 1 2 1
P07	7	1 1 1 2 1 1
P08	13	2 1 1 1 1 1 2 1 1 1
P10	7	1 1 1 1 1 1 1
P12	9	1 1 1 1 1 2 2
P14	5	1 1 1 2
P15	7	2 1 1 1 1
P16	7	1 2 1 1 2
P17	11	1 1 1 1 1 3 1 1 1
P18	18	1 1 2 1 2 1 5 4 1
P19	9	1 1 1 1 1 1 1 1 1
P20	8	1 1 1 1 1 1 2
P21	10	1 1 1 1 1 1 1 1 2
P22	47	1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 5 1 ...
P23	4	1 1 1 1 1
P24	7	1 1 1 1 1 1 1
P25	26	1 1 1 2 1 2 1 2 5 1 3 1 1 1 2 1
Průměr	10,8	

Tabulka 3.4: Návraty účastníků do stejných oblastí u Crash

### Pro správně řešící žáky

Správně řešící účastníci byli P04, P09 a P13. P04 má tři, P09 pět a P13 tři směry, které mají minimálně 75 procent nejčastějšího směru. A zároveň minimálně osm směrů, které mají polovinu a více délký nejdelšího směru, postupně jich mají osm, osm a devět. Zároveň oblast, která je na kružnici o poloměru 1 nezaplňená, tvoří  $18^\circ$  a méně.

### Pro špatně řešící žáky

P22, P25 jsou grafy s podobnou charakteristikou. P25 má osm oblastí, které mají minimálně 75 procent nejčastějšího směru. P22 jich má také osm. Minimálně polovinu délky nejdelší má u P22 devatenáct oblastí. P25 jich má osmnáct.

U P02 osm oblastí má minimálně 75 procent délky nejdelší a jedenáct oblastí má 50 a více procent délky nejdelší oblasti. Oproti P22 a P25 tedy chybí velké množství oblastí mezi 50 procenty a 75 procenty délky nejdelší.

Grafy P08, P10, P14 a P17 působí na první pohled také poměrně hustě. P10 má tři oblasti, které dosahují 75 procent délky oblasti nejdelší. P08 má pět, P14 čtyři a P17 dvě. To je vše výrazně méně než u P22 a P25. P10 má devět oblastí s minimálně 50 procenty délky nejdelší. P08 má třináct, P14 dvanáct a P17 jedenáct. Zároveň oblast, která je na kružnici o poloměru 1 nezaplňená, tvoří  $45^\circ$  a méně.

P03, P18, P21 a P23 mají po řadě tři, dvě, dvě a tři oblasti, které mají minimálně 75 procent délky nejdelší. 50 a více procent má u P03 deset, P18 má pět, P21 má šest a P23 jich má deset. Nejpodstatnější rozdíl oproti předchozí skupině je vidět u nezaplňené oblasti u kruhu o poloměru jedna. U všech tří grafů je prázdná oblast větší než  $70^\circ$ . Zároveň jsme u každého z nich schopni rozdělit graf na čtvrtiny, aby v každé z částí byla alespoň jedna oblast dosahující délky alespoň padesáti procent.

Další skupinou jsou účastníci P05, P06, P07, P12, P16, P19, P24. Ti mají maximálně dva směry, které jsou do 75 procent včetně, a maximálně sedm dlouhých 50 procent a více z nejdelší oblasti. Skupina je velmi podobná výše popsané. Liší se tím, že nejsme schopni graf rozdělit na čtvrtiny tak, aby v každé z částí byla alespoň jedna oblast dosahující délky alespoň padesáti procent. Obvykle je možné si pomyslně představit přímkou procházející středem grafu, kde kolem jsou nejdelší oblasti.

P15 tvoří kříž s tolerancí jedna oblast. P20 má nejčastějších směrů pět a delších nebo stejně dlouhých jak 75 procent 10. Zároveň největší poloměr jsou čtyři.

### Porovnání směru všech sakád

Všichni tři správně řešící žáci měli grafy podobné. Ze skupiny špatně řešících žáků se nejvíce podobali skupině P08, P10, P14 a P17. Grafy si jsou podobné spíše opakováním nebo neopakováním směrů než směrem nejčastějších.

### 3.2.2 Směry prvních čtyřiceti sakád

U prvních čtyřiceti sakád budeme porovnávat směry nejčastějších.

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u správně řešících žáků**

Všechny grafy mají jeden nejčastější směr, ale žádné dva se neshodují. P04 má  $180^\circ$  až  $189^\circ$ , P09  $27^\circ$  až  $36^\circ$  a P13  $81^\circ$  až  $90^\circ$ .

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u špatně řešících žáků**

P15, P19, P18 a P07 mají nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . P18 a P07 mají navíc ale minimálně další dva nejčastější směry. P07, P16, P18 a P21 mají nejčastější směr  $252^\circ$  až  $261^\circ$ . P02, P17 a P20 mají nejčastější směr  $270^\circ$  až  $279^\circ$ . P12, P14, P25 mají nejčastější směr  $189^\circ$  až  $198^\circ$ . P23 a P24 mají nejčastější směr  $162^\circ$  až  $171^\circ$ . P10 a P22 mají nejčastější směry  $9^\circ$  až  $18^\circ$ . Zbylé nejčastější směry se neopakují. Zajímavé je, že P07 má pět nejčastějších směrů a dalších šest druhých nejčastějších.

### **Porovnání směru prvních čtyřiceti sakád**

Grafy si ani u správně řešících žáků, ani u špatně řešících žáků nejsou moc podobné. Nejčastější nejfrekventovanější směr je  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Mezi grafy lze však najít jen málo souvislostí.

## **3.2.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád**

### **Pro správně řešící žáky**

P04 má i u prvních čtyřiceti sakád i u všech stejný nejfrekventovanější směr. Zbylí dva účastníci podobné grafy nemají.

### **Pro špatně řešící žáky**

P05, P06, P16, P17, P18, P23, P24 mají stejné časté směry u prvních čtyřiceti a u všech. U P15 je už v prvních čtyřiceti sakádách vidět kříž, který se objevuje u grafu všech sakád. Přibude jen častý směr v záporné části osy y.

## **3.2.4 Shrnutí pozorování u úlohy Crash**

U průměrné velikosti sakád jsme neviděli podstatný rozdíl. Naproti tomu v počtu návratů byl zaznamenán rozdíl podstatný. Průměrný počet návratů se lišil o 5,2. Zároveň data pro správně řešící měla výrazně nižší rozptyl než pro špatně řešící. Grafy směrů všech sakád u správně řešících se všechny podobaly. Ze skupiny špatně řešících žáků se správně řešícím nejvíce podobaly grafy účastníků P08, P10, P14 a P17. V grafech prvních čtyřiceti sakád se vyskytovalo jen málo podobných. Podobnost grafu prvních čtyřiceti sakád a grafu všech sakád se u části účastníků objevovala. Nebyla tam ale vidět souvislost se skupinami správně a špatně řešících žáků. Odlišnosti správně a špatně řešících žáků mohou být dány malým vzorkem správně řešících žáků.

### 3.3 F-t

Tato úloha byla úloha s výběrem možností, proto ji zde nebudeme rozebírat. Grafy se však nacházejí také v příloze. V tabulce 3.5 vidíme průměrnou délku sakád a v tabulce 3.6 počet návratů.

### 3.4 Kinetická energie

Úlohu Kinetická energie řešilo jedenáct žáků správně a dvanáct špatně. V tabulce 3.7 vidíme průměrné velikosti sakád. U správně řešících je průměrná délka sakád 221,4 a směrodatná odchylka 36,8. U špatně řešících je průměrná délka sakády 217,9 a směrodatná odchylka 41,2. Rozdíl průměrů správně a špatně řešících je 3,5.

Počty návratů u špatně a správně řešících vidíme v tabulce 3.8. Průměrný počet návratů u správně řešících je 5,9 a směrodatná odchylka je 4,0. Průměrný počet návratů u špatně řešících je 7,0 a směrodatná odchylka 5,4. Rozdíl průměrného počtu návratů u špatně a správně řešících je 1,1.

#### 3.4.1 Směry všech sakád

Budeme porovnávat nejčastější směry sakád.

##### Směr všech sakád u správně řešících žáků

P04, P08 a P22 měli nejčastější směr  $0^\circ$  až  $9^\circ$ . P02, P10, P20, P22 mají nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ .

Žádný další směr se neopakuje. Zajímavý je graf P10, který má pět nejčastějších směrů do různých stran.

##### Směr všech sakád u špatně řešících žáků

U P12, P16 a P21 byl jediný nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . P14 a P25 mají nejčastější směr  $90^\circ$  až  $99^\circ$ . P06 a P19 mají nejfrekventovanější směr  $18^\circ$  až  $27^\circ$ . P23 a P13 mají nejčastější směr  $261^\circ$  až  $270^\circ$ . Zbylé nejčastější směry se u špatně řešících neopakují.

##### Porovnání směru všech sakád

Směry pohledu byly velmi různorodé a jen málo se opakovaly. Neobvyklejší oblast, ve které byly nejčastější směry pohledu, byla  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Mělo ji mezi nejfrekventovanějšími směry sedm účastníků, z toho čtyři špatně řešící a tři správně řešící.

#### 3.4.2 Směry prvních čtyřiceti sakád

##### Směr prvních čtyřiceti sakád u správně řešících žáků

Nejvyšší počet účastníků, kteří mají společný směr, byl čtyři. Jde o oblast  $180^\circ$  až  $189^\circ$ , ve které měli častý směr P02, P07, P10, P20 a oblast  $27^\circ$  až  $36^\circ$ ,



Účastník	Vzdálenost
Správně	
P02	234,5
P07	200,9
P18	220,9
P22	186,5
P23	208,1
P24	216,9
Průměr	211,3
Špatně	
P03	226,1
P04	246,3
P05	172,3
P06	177,4
P08	231,3
P09	175,1
P10	173,0
P12	188,6
P13	194,9
P14	192,6
P15	190,3
P16	187,5
P17	226,2
P19	259,8
P20	184,8
P21	221,1
P25	225,2
Průměr	204,3

Tabulka 3.5: Průměrná velikost sakád u F-t

Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P02	8	1 1 1 1 1 2 1
P07	4	1 1 1 1
P18	2	1 1
P22	12	1 1 1 3 1 1 1 1 1 1
P23	11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P24	6	2 2 2
Průměr	7,2	
Špatně		
P03	10	1 2 1 1 1 1 1 1
P04	12	1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1
P05	6	1 2 1 1 1
P06	8	1 1 1 1 1 1 1 1
P08	12	1 1 2 1 1 1 4 1
P09	9	1 1 2 1 2 1 1
P10	1	1
P12	4	1 2 1
P13	8	1 1 1 1 1 2 1
P14	5	1 1 1 1 1
P15	12	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
P16	16	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
P17	14	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P19	5	1 1 2 1
P20	10	2 1 1 2 2 2
P21	5	2 1 1 1
P25	5	1 1 1 1 1
Průměr	8,4	

Tabulka 3.6: Návraty účastníků do stejných oblastí u F-t

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P02	255,5
P03	275,7
P04	249,4
P05	170,0
P07	224,3
P08	189,8
P09	183,5
P10	193,1
P20	191,1
P22	247,7
P24	255,5
Průměr	221,4
Špatně	
P06	186,9
P12	178,9
P13	248,0
P14	219,7
P15	141,8
P16	192,6
P17	212,6
P18	289,7
P19	276,9
P21	215,8
P23	228,5
P25	223,5
Průměr	217,9

Tabulka 3.7: Průměrná velikost sakád u  $E_k$

Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P02	8	1 1 1 2 1 1 1
P03	8	1 1 1 1 2 1
P04	4	1 1 1 1 1
P05	2	1 1
P07	6	1 1 1 1 1 1
P08	12	1 1 1 3 1 1 1 1 1 1
P09	11	1 2 1 1 1 1 2 1 1
P10	1	1
P20	9	1 1 2 2 1 1
P22	3	1 1 1
P24	1	1
Průměr	5,9	
Špatně		
P06	8	1 1 1 1 3 1
P12	10	1 1 1 1 2 1 1 1
P13	4	1 1 1 1 1
P14	9	2 1 1 1 1 1 1 1
P15	20	3 1 1 1 1 1 1 1 1 5 2
P16	12	1 1 2 1 1 1 2 1 2 1
P17	5	1 1 3
P18	2	1 1
P19	1	1
P21	2	1 1
P23	4	1 1 1 1
P25	7	1 1 1 1 1 1 1
Průměr	7,0	

Tabulka 3.8: Návraty účastníků do stejných oblastí u  $E_k$

ve které měli častý směr P05, P07, P10, P20 . Zastoupená byla i oblast  $207^\circ$  až  $216^\circ$ , kterou měli mezi nejfrekventovanějšími účastníci P03, P04, P22. Ostatní nejčastější směry se nevyskytovaly víckrát než jednou. P10 a P22 měli čtyři hlavní směry.

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u špatně řešících žáků**

Nejobvyklejší nejčastější směr byl  $90^\circ$  až  $99^\circ$  a měli ho mezi svými nejčastějšími směry účastníci P14, P17, P23, P25. Dvojice P06, P19 měli společný nejčastější směr  $18^\circ$  až  $27^\circ$ . Další dvojice P15, P16 měli nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Dvojice P12, P13 mají společné dva nejčastější směry, které na sebe přiléhají  $351^\circ$  až  $9^\circ$ .

### **Porovnání směru prvních čtyřiceti sakád**

Nejobvyklejší nejčastější oblast byla  $180^\circ$  až  $189^\circ$ , mělo jí šest účastníků. Z toho čtyři z nich byli správně řešící. Další frekventované oblasti byly oblasti  $90^\circ$  až  $99^\circ$  u špatně řešících a  $27^\circ$  až  $36^\circ$  u správně řešících.

### **3.4.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád**

#### **Pro správně řešící žáky**

Stejnou polovina a více z nejčastějších směrů u grafů prvních čtyřiceti sakád a všech měli účastníci P02, P03, P05, P09, P10, P20.

#### **Pro špatně řešící žáky**

Stejnou polovina a více z nejčastějších směrů u grafů prvních čtyřiceti sakád a všech měli účastníci P06, P12, P14, P16, P18, P19.

### **3.4.4 Shrnutí pozorování u úlohy Kinetická energie**

Rozdíly v počtu návratů i v délce sakád byly zanedbatelné. Nejčastější směry u této úlohy byly velmi různorodé. Opakovala se však oblast  $180^\circ$  až  $189^\circ$ , a to jak u správně, tak u špatně řešících. U prvních čtyřiceti sakád byla také velká různorodost grafů a rovněž byla nejfrekventovanější oblastí  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Z velké části šlo o tytéž účastníky. Dvanáct účastníků z dvaceti tří mělo podobný graf prvních čtyřiceti sakád a celkový.

## **3.5 Potenciální energie**

Správně úlohu vyřešilo patnáct lidí a špatně osm. Průměrné velikosti sakád vidíme v tabulce 3.9. Průměrná velikost sakád u správně řešících je 203,3 a u špatně řešících 223,0. Rozdíl průměrů je 19,7. Směrodatná odchylka u správně řešících je 21,4 a u špatně řešících 64,5. Špatně řešící žáci mají mnohem větší směrodatnou odchylku než správně řešící. Počty návratů vidíme v tabulce 3.10. I u správně řešících i u špatně řešících byl průměrný počet návratů pět. Směrodatná odchylka

u správně řešících byla 2,9 a u špatně řešících 3,2. Z hlediska návratů jsou opět rozdíly mezi skupinami minimální.

### 3.5.1 Směry všech sakád

V této kapitole budeme vyhodnocovat nejfrekventovanější směry. V celkovém vzhladu nejsou tak velké rozdíly.

#### Směr všech sakád u správně řešících žáků

Nejobvyklejší nejčastější směr je  $342^\circ$  až  $351^\circ$  a mají ho žáci P02, P20, P21 a P22. Tři žáci P04, P08, P09 měli nejčastější směr  $0^\circ$  až  $9^\circ$ . Dvojice P24 a P04 mají nejčastější směr  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Jiná dvojice P07 a P25 mají nejčastější oblast od  $189^\circ$  do  $198^\circ$ . Ačkoliv se některé nejčastější směry opakují, grafy vypadají celkově velmi různorodě.

#### Směr všech sakád u špatně řešících žáků

P12, P16, P23 mají stejný nejčastější směr, a to  $198^\circ$  až  $207^\circ$ . Zároveň mají všichni tři častý směr kolem kladného směru osy  $y$ . Pro P23 je oblast  $90^\circ$  až  $99^\circ$  oblastí nejčastější. Pro P16 je oblast  $90^\circ$  až  $99^\circ$  druhým nejčastějším směrem. P12 má další nejčastější oblast  $81^\circ$  až  $90^\circ$ . Všechny tři grafy výše uvedených účastníků se proto na první pohled podobají. P15 má nejčastější směr také  $81^\circ$  až  $90^\circ$ . Ostatní čtyři účastníci nemají směry stejné jako někteří ostatní.

#### Porovnání směru všech sakád

Nejobvyklejší směr u správně řešících je  $342^\circ$  až  $351^\circ$ , tento směr se u špatně řešících nevyskytuje. Špatně řešící žáci mají skupinu žáků P12, P16, P23 s podobnými grafy. Odpovídající graf u správně řešících nenajdeme. Při pohledu na grafy vidíme, že žáci s podobnými grafy, pokud jsou minimálně tři, jsou vždy buď všichni správně a nebo všichni špatně řešící. Výjimku tvoří oblast  $189^\circ$  až  $198^\circ$ . V textu výše jsou vypsané všechny dvojice a větší skupiny u špatně a správně řešících. Lze proto jednoduše srovnat dané směry se zbytkem účastníků. Celkově vzato jsou grafy u této úlohy velmi různorodé a to může přispívat k nepodobnosti mezi správně a špatně řešícími, vzhledem k tomu, že i mezi stejně řešícími vzájemná podoba není až na výše uvedené výjimky velká.

### 3.5.2 Směry prvních čtyřiceti sakád

Zde budeme opět vyhodnocovat nejčastější směry.

#### Směr prvních čtyřiceti sakád u správně řešících žáků

Nejobvyklejší nejčastější oblast je od  $0^\circ$  do  $9^\circ$ , kterou měli tři žáci: P04, P09 a P08. Dalšími výraznými směry jsou směry kolem úhlu  $243^\circ$ . P05 a P20 mají nejčastější směr  $234^\circ$  až  $243^\circ$  a hned vedle se nachází nejčastější směr P21 a P22:  $243^\circ$  až  $252^\circ$ . Dvojice P05 a P08 mají nejčastější směr  $54^\circ$  až  $63^\circ$ .

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P02	225,3
P03	214,3
P04	209,1
P05	166,1
P06	177,5
P07	215,2
P08	234,0
P09	240,1
P10	191,7
P13	205,3
P20	205,3
P21	208,8
P22	175,1
P24	191,7
P25	189,6
Průměr	203,3
Špatně	
P12	181,9
P14	192,1
P15	168,9
P16	217,2
P17	212,7
P18	279,9
P19	356,4
P23	174,7
Průměr	223,0

Tabulka 3.9: Průměrná velikost sakád u  $E_p$

Účastníci	Počet návratů
Správně	
P02	3 1 1 1
P03	7 2 1 1 1 1 1
P04	6 1 1 1 1 1 1
P05	1 1
P06	6 1 1 1 1 1 1
P07	6 1 1 1 1 1 1
P08	2 1 1
P09	2 1 1
P10	9 1 1 1 1 1 1 1 2
P13	4 1 1 1 1
P20	9 1 2 1 1 1 1 1 1
P21	0 0
P22	7 1 1 1 1 1 1 1
P24	5 1 1 1 1 1
P25	8 1 1 4 1 1
Průměr	5,0
Špatně	
P12	3 1 1 1
P14	8 1 1 2 1 1 1 1
P15	9 1 1 1 3 1 1 1
P16	2 1 1
P17	2 1 1
P18	5 1 1 1 1 1
P19	2 1 1
P23	9 1 3 1 1 1 1 1
Průměr	5,0

Tabulka 3.10: Návraty účastníků do stejných oblastí u  $E_p$



## Směr prvních čtyřiceti sakád u špatně řešících žáků

P23 má šest nejfrekventovanějších směrů a dalších pět o jedna menších. Nevyskytují se zde stejné nejčastější směry kromě podobnosti právě s P23.

## Porovnání směru prvních čtyřiceti sakád

Skupiny podobných grafů byly u této úlohy malé, u špatně řešících žáků skoro žádné.

### 3.5.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád

#### Pro správně řešící žáky

Stejnou alespoň polovinu z nejčastějších směrů a vzhledově podobné grafy měla většina účastníků P02, P03, P04, P05, P06, P07, P08, P09, P13, P24, P25. Účastník P10 měl nejčastější směr různé, ale vyskytovaly se ve stejném kvadrantu. P20 má celkově podobný graf, ale jen jeden nejčastější směr stejný. Nepodobné grafy měli účastníci P21, P22.

#### Pro špatně řešící žáky

Stejnou alespoň polovinu z nejčastějších směrů a vzhledově podobné grafy měli účastníci P12, P14, P16, P17, P18, P19.

Méně než polovinu nejčastějších směrů měl účastník P23 - na začátku měl šest nejčastějších směrů, později už jen dva z nich.

Nepodobný graf měl účastník P15.

### 3.5.4 Shrnutí pozorování u úlohy Potenciální energie

Rozdíly v počtu návratů u velikosti sakád byly zanedbatelné. U porovnání směrů všech sakád vidíme, že jednotlivé grafy se od sebe hodně lišily. Pokud měli tři lidé více stejné nejčastější směry sakád, byli obvykle buď všichni správně nebo všichni špatně řešící, výjimku tvoří oblast  $189^\circ$  až  $198^\circ$ , což může být dáno i celkovou nepodobností grafů. Špatně řešící žáci P12, P16, P23 tvořili skupinu s podobnými grafy, obdobný graf se u správně řešících nevyskytoval. Naproti tomu nejobvyklejší směr u správně řešících je  $342^\circ$  až  $351^\circ$ , tento směr se naopak u špatně řešících nevyskytuje. U směrů prvních čtyřiceti sakád není skupina P12, P16, P23 zřetelná a rozdíly mezi grafy jsou ještě větší než u sakád všech. Grafy směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád si byly u většiny účastníků podobné a nezáviselo to na správnosti vyřešení úlohy.

## 3.6 Kinetická a potenciální energie

Úlohu potenciální a kinetická energie vyřešilo osmnáct účastníků správně a pět špatně. Průměrné velikosti sakád vidíme v tabulce 3.11. Průměr u správně řešících byl 191,3 a u špatně řešících 187,7. Lišily se tedy o 3,7. Směrodatná odchylka u správně řešících byla 18,6 a u špatně řešících 9,6. Mezi průměrnými hodnotami

Účastníci	Vzdálenost
Správně	
P02	232,8
P03	182,9
P04	213,1
P05	166,7
P07	181,8
P08	201,3
P09	174,0
P10	176,1
P12	194,1
P13	200,2
P14	196,6
P15	188,8
P17	208,7
P18	164,2
P19	218,7
P22	188,6
P23	180,9
P24	174,7
Průměr	191,3
Špatně	
P06	175,6
P16	194,2
P20	199,7
P21	181,6
P25	187,3
Průměr	187,7

Tabulka 3.11: Průměrná velikost sakád u  $E_p, E_k$

je zanedbatelný rozdíl. Správně řešící mají přibližně dvakrát větší směrodatnou odchylku, ale také je jich více než trojnásobek. Počty návratů můžeme vidět v tabulce 3.12. Správně řešící měli průměrný počet návratů 8,2 a špatně řešící 9,2. Směrodatná odchylka správně řešících je 2,4 a špatně řešících 3,1. Je vidět, že i počty návratů se významně neliší.

### 3.6.1 Směry všech sakád

Budeme srovnávat nejčastější a časté směry. Za časté směry považujeme ty, které mají 75 procent délky nejdelsí oblasti a více.

#### Směr všech sakád u správně řešících žáků

Můžeme vidět, že vyjma jednoho grafu P23 mají všechny z grafů nejčastější směr maximálně jednu oblast od osy  $x$ . P23 má nejfrekventovanější oblast  $261^\circ$

Účastníci	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P02	6	1 1 1 1 1 1
P03	9	1 1 1 1 1 2 1 1
P04	8	1 1 1 2 1 2
P05	5	1 1 1 1 1
P07	11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P08	9	1 1 1 1 2 2 1
P09	10	1 1 1 3 1 1 2
P10	8	1 1 1 1 3 1
P12	5	2 1 1 1
P13	8	1 1 1 1 2 1 1
P14	12	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P15	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P17	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P18	10	1 1 1 1 1 2 1 1 1
P19	7	1 1 1 1 1 1 1
P22	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P23	3	1 1 1
P24	6	2 1 1 1 1
Průměr	8,2	
Špatně		
P06	11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P16	12	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P20	9	1 1 1 1 1 1 1 1 1
P21	4	2 1 1
P25	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Průměr	9,2	

Tabulka 3.12: Návraty účastníků do stejných oblastí u  $E_k$  a  $E_p$

až  $270^\circ$ . Pokud bychom brali v úvahu i časté směry, tak všechny mají časté směry kolem osy x. P02, P22, P24 mají tři časté směry, a to kolem  $180^\circ$ , kolem  $0^\circ$  a kolem  $90^\circ$ . P18, P17, P03 a P04 mají časté směry kolem  $0^\circ$  až  $180^\circ$  s tolerancí jedné oblasti. P09, P19, P12, P15 mají časté směry kolem  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  a  $270^\circ$ . P08, P07 a P14 mají většinu častých směrů kolem  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . P08 má ještě jeden častý směr, který se nachází v toleranci dvou oblastí od  $180^\circ$ . P10 má častý směr v toleranci jedné oblasti od  $0^\circ$ . P13 a P23 mají dva časté směry, a to u P13  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , a P23 u  $0^\circ$  a  $270^\circ$ . Histogram P05 je hvězdicovitý a jsme schopný ho rozdělit na čtvrtiny tak, aby v každé byl alespoň jeden častý směr. P05 má devět častých směrů.

### **Směr všech sakád u špatně řešících žáků**

P06, P16 mají časté směry kolem  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . P20 má zase časté směry kolem  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  a  $180^\circ$ . Svislé časté směry má P21 a jsou to  $90^\circ$  a  $270^\circ$ . Časté směry připomínající kříž má P25, konkrétně kolem  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $0^\circ$ .

### **Porovnání směru všech sakád**

U této úlohy byly časté směry obvykle kolem os popřípadě ve vzdálenosti jedné oblasti od os. Mezi správně a špatně řešícími nejsou výrazné rozdíly.

## **3.6.2 Směry prvních čtyřiceti sakád**

Zde budeme srovnávat pouze časté směry, vzhledem k nízkému celkovému množství sakád v grafech.

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u správně řešících žáků**

P09, P13, P15, P22 mají nejčastější směry kolem  $0^\circ$ . P07, P12 mají nejčastější směr  $270^\circ$  až  $279^\circ$ . P07 má druhý nejčastější směr  $90^\circ$  až  $99^\circ$ . P12 má dva další časté směry a to  $81^\circ$  až  $90^\circ$  a  $171^\circ$  až  $180^\circ$ .  $351^\circ$  až  $0^\circ$  a  $162^\circ$  až  $171^\circ$  jsou nejčastější směry P03. Grafy P02 a P03 si jsou podobné, protože mají oba své nejčastější směry podél osy x.  $180^\circ$  až  $189^\circ$  mají jako nejčastější oblast účastníci P18 a P19 a ve vedlejší oblasti  $189^\circ$  až  $197^\circ$  má nejčastější směr P04.  $162^\circ$  až  $171^\circ$  je také nejčastější směr P10.  $171^\circ$  až  $180^\circ$  mají jako nejčastější směr účastníci P14, P02 a P17. Grafy P05 a P23 mají všechny nejčastější směr v toleranci tří oblastí od  $0^\circ$ . Obdobně P10 od  $180^\circ$ . P24 a P14 mají oba tři nejčastější směry a minimálně deset oblastí častých.

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u špatně řešících žáků**

P16 a P21 mají nejčastější směr kolem úhlu  $279^\circ$  a v oblasti  $189^\circ$  až  $197^\circ$  má nejčastější směr P20. U P06 a P25 mají oblasti maximální délku 3, proto působí grafy na první pohled podobně.

## Porovnání směru prvních čtyřiceti sakád

### 3.6.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád

#### Pro správně řešící žáky

U některých účastníků se směry narovnal více podél osy  $x$ . Poměr častých směrů v toleranci dvě kolem osy  $x$  vůči ostatním se zvýšil u žáků P03, P04, P07, P08, P10, P12, P14, P15, P17, P18, P22, P24. U P07, P12 byly první časté směry kolem osy  $y$  a později kolem osy  $x$ . Opačným směrem to proběhlo u P23. U P02, P13, P15, P19, P22 přibyl častý směr podél osy  $y$  v toleranci jedné oblasti. U P08 proběhla jen minimální změna a u P05 proběhlo hlavně zahuštění grafu.

#### Pro špatně řešící žáky

Poměr častých směrů v toleranci dvě kolem osy  $x$  vůči ostatním se zvýšil u žáků P06, P16, P20. Časté směry byly původně kolem osy  $y$  a později kolem osy  $x$  u účastníka P16.

U P21 přibyl směr kolem  $y$  a u P25 se objevil kříž podél os.

### 3.6.4 Shrnutí pozorování u úlohy Potenciální a kinetická energie

U porovnání směru všech sakád měli účastníci vyjma P23 a P21 u grafů nejčastější směr maximálně jednu oblast od osy  $x$ . Účastníci tvořili skupiny se stejnými grafy nezávisle na správném nebo špatném vyřešení. U směrů prvních čtyřiceti sakád je situace obdobná jako u směrů všech sakád. U srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech je vidět, že u většiny účastníků se časté směry přiblížili k ose  $x$ . Rozdíl mezi špatně a správně řešícími nebyl pozorován.

## 3.7 Šíp

Úlohu vyřešili tři žáci správně a dvacet žáků špatně. Průměrná velikost sakád u správně řešících byla 136,4 a u špatně řešících 146,4. Průměrné velikosti sakád jednotlivých účastníků vidíme v tabulce 3.13. Rozdíl obou hodnot je 10,1. Směrodatná odchylka správně řešících je 4,6 a špatně řešících 23,2. Je vidět, že všichni tři správně řešící měli průměrné velikosti sakád blízko u sebe oproti špatně řešícím. A vycházely i o něco nižší.

Průměrný počet návratů u správně řešících byl 9,3 u špatně řešících 11,2, počty návratů účastníků vidíme v tabulce 3.14. Směrodatná odchylka správně řešících je 4,0 a špatně řešících 8,4. Rozdíl hodnot je malý: 1,8.

### 3.7.1 Směry všech sakád

#### Směr všech sakád u správně řešících žáků

P25 měl nejčastější směr  $0^\circ$  až  $9^\circ$ , časté směry jsou kolem osy  $y$ . P23 měl nejčastější směr  $261^\circ$  až  $270^\circ$ .  $332^\circ$  až  $341^\circ$  je nejčastější směr P20 a častý směr

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P20	132,0
P23	135,9
P25	141,2
Průměr	136,4
Špatně	
P02	175,1
P03	149,4
P04	176,8
P05	130,5
P06	135,5
P07	150,7
P08	150,3
P09	101,9
P10	144,9
P12	132,0
P13	155,0
P14	131,3
P15	103,7
P16	162,7
P17	147,2
P18	146,3
P19	201,8
P21	147,2
P22	129,3
P24	157,2
Průměr	146,4

Tabulka 3.13: Průměrná velikost sakád u úlohy Šíp

Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P20	5	1 1 1 1 1
P23	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P25	13	1 1 1 1 1 1 1 4 1 1 1
Průměr	9,3	
Špatně		
P02	9	2 1 1 1 2 1 1
P03	4	1 1 1 1
P04	5	1 1 1 1 1
P05	15	1 1 1 1 4 2 1 1 1 1 1 1
P06	8	2 1 1 1 1 1 1
P07	13	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P08	26	1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1
P09	17	1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
P10	5	1 2 1 1
P12	15	1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1
P13	10	1 1 1 1 1 3 2
P14	7	1 1 1 1 1 1 1
P15	28	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 3 1
P16	9	1 1 2 2 1 1 1
P17	4	1 1 1 1
P18	11	2 1 1 1 1 1 1 2 1
P19	5	1 2 1 1
P21	1	1
P22	29	1 1 1 1 1 1 2 3 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
P24	2	1 1
Průměr	11,2	

Tabulka 3.14: Návraty účastníků do stejných oblastí u úlohy Šíp

kolem osy  $x$ .

### **Směr všech sakád u špatně řešících žáků**

Jen jeden nejčastější směr, který přiléhá k  $90^\circ$ , má P19, P03, P21. P05, P04 a P10 mají také jen jeden nejčastější směr, a to přiléhající k  $270^\circ$ . P06 a P18 mají jediný nejčastější směr a to  $180^\circ$  až  $189^\circ$ . Nejčastější směr  $189^\circ$  až  $198^\circ$  mají P16 a P14. P14 má navíc další nejčastější směr  $9^\circ$  až  $18^\circ$ . P02 a P09 mají časté směr kolem  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . P08 má častý směr  $90^\circ$  až  $99^\circ$ . Nejčastější směry výhradně kolem  $90^\circ$  a  $270^\circ$  mají P17 a P13. Nejčastější směr  $0^\circ$  až  $9^\circ$  má P12. Jediný nejčastější směr  $243^\circ$  až  $252^\circ$  má P07. P22 má tři časté směry  $72^\circ$  až  $81^\circ$ ,  $180^\circ$  až  $189^\circ$  a  $261^\circ$  až  $270^\circ$ . P15 má velké množství častých směrů. P24 má velké množství nejčastějších směrů.

### **Porovnání směru všech sakád**

Téměř všechny časté směry přiléhaly k osám. Mezi správně a špatně řešícími nebyly výrazné rozdíly.

## **3.7.2 Směry prvních čtyřiceti sakád**

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u správně řešících žáků**

Histogram P25 má pět nejčastějších směrů. P23 a P20 mají pouze jeden nejčastější směr, který se neshoduje.

### **Směr prvních čtyřiceti sakád u špatně řešících žáků**

P09, P12, P13, P22 mají nejčastější směr  $0^\circ$  až  $9^\circ$  a další dva nejčastější směry v intervalu  $9^\circ$  až  $180^\circ$ . P05 má dva nejčastější směry okolo oblasti  $0^\circ$  až  $9^\circ$  a další nejčastější směr také v intervalu  $9^\circ$  až  $180^\circ$ . Proto se podobá předchozí skupině. Další účastníci měli tři nejčastější směry: P07, P04, P10, P21, P16. Jeden nejčastější směr měli účastníci P06, P02, P03, P14, P15, P18, P24. Žádné ze směrů nebyly stejné. P08 a P17 mají dva nejčastější směry. P19 má pět nejčastějších směrů.

### **Porovnání směru prvních čtyřiceti sakád**

Grafy prvních čtyřiceti sakád jsou ještě hůře porovnatelné než grafy všech sakád. Mají jen málo společného, a to jak u špatně řešících tak i u správně řešících.

## **3.7.3 Srovnání směrů prvních čtyřiceti sakád a všech sakád**

### **Pro správně řešící žáky**

P20 a P23 mají stejný nejčastější směr pro prvních 40 sakád a pro všechny sakády. Grafy P20 se naproti tomu výrazně odlišují. Nemají shodný ani jeden nejčastější směr.



### Pro špatně řešící žáky

Velmi podobné grafy mají účastníci P03, P06, P07 - všechny nejčastější směry se shodují. Podobné grafy, takové, které mají alespoň jeden stejný směr, jsou grafy účastníků P09, P10, P12, P16, P17, P19. Nepodobné grafy mají účastníci P02, P04, P05, P13, P14, P15, P18, P21, P22, P24.

### 3.7.4 Shrnutí pozorování u úlohy Šíp

U této úlohy byly pouze tři správně řešící. Všichni tři měli podobně dlouhé sakády, směrodatná odchylka průměrné délky sakád byla pouze 4,6. V počtu návratů naopak výrazný rozdíl pozorován nebyl. U grafů směrů všech sakád nebyl pozorován výrazný rozdíl, zajímavé však bylo, že téměř všechny časté směry ať už u správně nebo u špatně řešících, přiléhali k osám.

## 3.8 Klávesnice

Úlohu klávesnice řešil správně pouze jeden žák. Nemá proto smysl porovnávat správně a správně řešící žáky a úlohu nebudeme vyhodnocovat. Grafy jsou však i přesto obsaženy v příloze a v tabulkách 3.15 a 3.16 vidíme průměrnou velikost sakád a počet návratů.

## 3.9 F-x

Úloha F-x je úloha s výběrem odpovědí. Proto ji také nebudeme vyhodnocovat. V tabulkách 3.17 a 3.18 najdeme průměrnou velikost sakád a počet návratů.

## 3.10 Shrnutí zjištění u úloh

U většiny úloh žáci tvořili skupiny, které měli podobné grafy. Zda vycházel nějaký rozdíl ve sledovaných faktorech u správně a špatně řešících se lišil u jednotlivých úloh.

Počty návratů se u správně a špatně řešících lišily u Crash, zároveň se u Crash grafy správně řešících se podobaly.

V úloze Kinetická energie zase účastníci ze skupiny s podobnými grafy byli obvykle buď všichni správně nebo všichni špatně řešící.

U úlohy Šíp měli správně řešící podobně dlouhé sakády.

Rozdíly mezi správně a špatně řešící se lišily u jednotlivých úloh a vzhledem k malému vzorku nebyla žádná souvislost průkazná.

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P24	214,4
Průměr	214,4
Špatně	
P02	251,3
P03	179,2
P04	201,5
P05	133,9
P06	158,0
P07	153,3
P08	186,4
P09	131,8
P10	169,0
P12	160,8
P13	218,7
P14	184,3
P15	129,2
P16	133,7
P17	172,4
P18	197,5
P19	201,0
P20	155,2
P21	153,7
P22	174,6
P23	184,8
P25	221,6
Průměr	175,1

Tabulka 3.15: Průměrná velikost sakád u úlohy Klávesnice

Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P24	6	1 2 2 1
Průměr	6,0	
Špatně		
P02	9	1 1 2 1 1 1 1 1
P03	10	1 1 1 3 1 1 2
P04	5	1 1 1 1 1
P05	12	1 1 1 1 1 1 2 2 1 1
P06	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P07	7	1 1 1 1 1 1 1
P08	19	2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 3 1 1
P09	30	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 3 1 1 2 1 1
P10	7	1 1 1 1 1 1 1
P12	22	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 4
P13	14	2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
P14	11	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P15	42	1 1 1 1 2 1 1 1 1 3 3 1 1 1 1 2 3 1 1 1 5 1 1 3 1 1
P16	8	1 1 1 1 1 1 1 1
P17	30	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 3 2 1
P18	6	1 1 1 1 1 1
P19	7	1 2 1 1 1 1
P20	8	1 1 1 1 1 1 1 1
P21	5	1 1 1 1 1
P22	6	1 1 1 1 1 1
P23	4	1 1 2
P25	11	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
Průměr	12,9	

Tabulka 3.16: Návraty účastníků do stejných oblastí u úlohy Klávesnice

Účastník	Vzdálenost
Správně	
P02	253,1
P03	202,8
P06	199,1
P07	200,3
P08	197,7
P09	172,6
P10	206,6
P12	206,6
P14	189,8
P17	257,6
P18	236,5
P22	189,4
Průměr	209,3
Špatně	
P04	184,6
P05	164,6
P13	223,6
P15	192,0
P16	181,2
P19	250,1
P20	178,4
P21	193,8
P23	192,1
P24	221,5
P25	248,7
Průměr	202,8

Tabulka 3.17: Průměrná velikost sakád u úlohy f-x

Účastník	Počet návratů	Sekvence
Správně		
P02	3	1 1 1
P03	11	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P06	7	1 1 1 1 1 1 1
P07	14	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3
P08	10	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P09	11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
P10	14	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
P12	3	1 1 1
P14	7	1 2 1 1 1 1 1
P17	3	1 1 1
P18	8	1 1 2 1 1 2
P22	11	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Průměr	8,5	
Špatně		
P04	16	2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 4
P05	4	2 1 1
P13	13	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
P15	19	2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1
P16	20	2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1
P19	6	1 1 1 1 1 1 1
P20	19	2 1 1 1 1 1 1 4 2 1 2 1 1 1 1
P21	8	1 1 1 2 1 1 1
P23	14	2 1 1 1 1 1 1 3 1 2 1
P24	7	2 1 1 1 1 1 1
P25	6	1 1 1 1 1 1 1
Průměr	12,0	

Tabulka 3.18: Návraty účastníků do stejných oblastí u úlohy f-x

# Závěr

V práci jsme se zabývali analýzou sakádických pohybů při řešení fyzikálních úloh s grafy. V první kapitole jsme se seznámili s oční kamerou, scanpathem, pohyby oka a prací, z jejíž dat tato práce vychází. V druhé kapitole jsme se již zabývali daty a jejich zpracováním. Stanovili jsme si, jak se data budou zpracovávat a poté způsoby, jak se taková zpracovaná data budou analyzovat. V rámci analýzy jsme vytvořili grafy, které jsou k nahlédnutí v příloze. V třetí a poslední kapitole jsme analyzovali zpracovaná data. U skupin správně a špatně řešících jsme hledali souvislosti a podobnosti. Na konci jsme určité souvislosti našli, ale vzhledem k malému vzorku dat není žádná z těchto souvislostí průkazná.

# Seznam použité literatury

- DUCHOWSKY, A. (2007). *Eye Tracking Methodology*. Second edition. Springer. ISBN 978-1-84628-609-4.
- HOLMQVIST, K. (2011). *Eye Tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Reprint Edition. Oxford university press, Oxford. ISBN 978-0198738596.
- HUSTON, J. P., NADAL, M., MORA, F., AGNATI, L. F. a CONDE, C. J. C. (2015). *Art, aesthetics, and the brain*. OUP Oxford.
- KLEIN, P., VIIRI, J., MOZAFFARI, S., DENGEL, A. a KUHN, J. (2018). Instruction-based clinical eye-tracking study on the visual interpretation of divergence: How do students look at vector field plots? *Physical Review Physics Education Research*, **14**(1), 010116.
- KLEIN, P., LICHTENBERGER, A., KÜCHEMANN, S., BECKER, S., KEKULE, M., VIIRI, J., BAADTE, C., VATERLAUS, A. a KUHN, J. (2020). Visual attention while solving the test of understanding graphs in kinematics: an eye-tracking analysis. *European Journal of Physics*, **41**(2), 025701.
- KREJČÍ, A. (2019). Učení se žáků z edukativního materiálu sledované oční kamerou.
- MENNIE, N., HAYHOE, M. a SULLIVAN, B. (2007). Look-ahead fixations: anticipatory eye movements in natural tasks. *Experimental brain research*, **179**(3), 427–442.
- TOBIO, F. (2010). Tobii pro tx300. [online]. URL <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-tx300/>.
- TSCHULAKOW, A. V., OLTRUP, T., BENDE, T., SCHMELZLE, S. a SCHRAERMEYER, U. (2018). The anatomy of the foveola reinvestigated. *PeerJ*, **6**, e4482.
- VAJNER, L., UHLÍK, J. a KONRÁDOVÁ, V. (2018). *Lékařská histologie II.: mikroskopická anatomie*. Charles University in Prague, Karolinum Press. ISBN 978-80-246-3827-0.
- VAN SILFHOUT, G. (2014). *Fun to read or easy to understand? Establishing effective text features for educational texts on the basis of processing and comprehension research*. Netherlands Graduate School of Linguistics.
- VONDRÁČKOVÁ, T. (2018). Interpretace grafu zaznamenaného siloměrnou plošinou žáky středních škol sledovaná oční kamerou.
- VONDRÁČKOVÁ, T. (2020). Interpretace fyzikálních grafů experty a začátečníky sledování oční kamerou. Master's thesis, Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, Praha.

# Seznam obrázků

1.1	Backtrack . . . . .	6
1.2	Regression . . . . .	7
1.3	Reading . . . . .	7
1.4	Scanning . . . . .	8
2.1	Dřepování . . . . .	11
2.2	Crash . . . . .	11
2.3	F-t . . . . .	11
2.4	Kinetická energie . . . . .	12
2.5	Potenciální energie . . . . .	12
2.6	Kinetická a potenciální energie . . . . .	13
2.7	Šíp . . . . .	13
2.8	Klávesnice . . . . .	14
2.9	F-x . . . . .	14
2.10	Data . . . . .	15
2.11	Histogram všech sakád . . . . .	16
2.12	Histogram prvních čtyřiceti sakád . . . . .	16



# Seznam tabulek

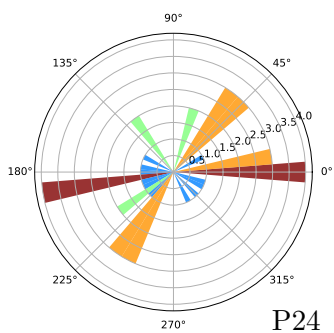
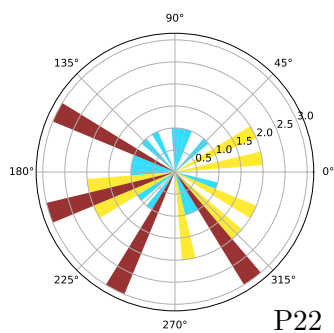
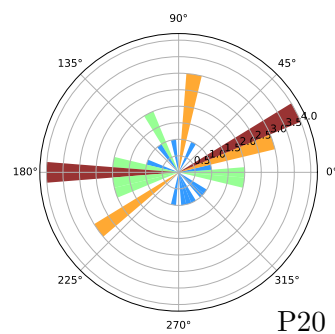
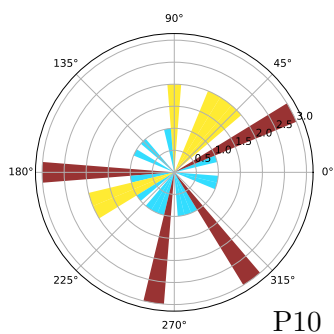
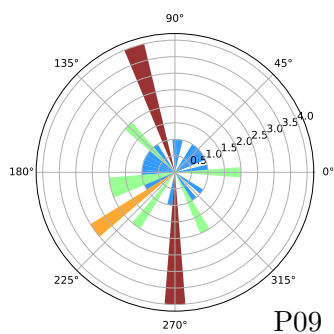
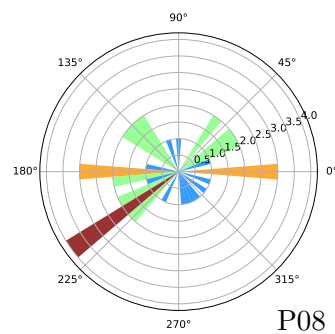
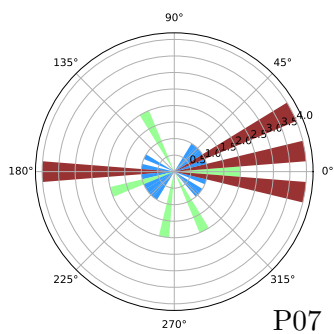
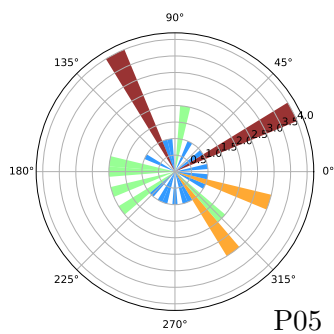
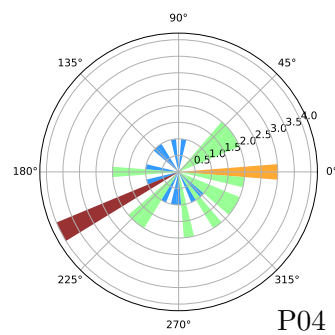
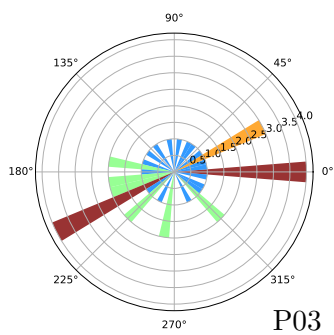
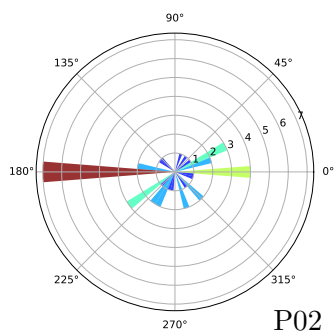
2.1	Úspěšnost řešení úloh u jednotlivých účastníků . . . . .	18
3.1	Průměrná velikost sakád u Dřepování . . . . .	20
3.2	Návraty účastníků do stejných oblastí u Dřepování . . . . .	21
3.3	Průměrná velikost sakád u Crash . . . . .	24
3.4	Návraty účastníků do stejných oblastí u Crash . . . . .	25
3.5	Průměrná velikost sakád u F-t . . . . .	29
3.6	Návraty účastníků do stejných oblastí u F-t . . . . .	30
3.7	Průměrná velikost sakád u $E_k$ . . . . .	31
3.8	Návraty účastníků do stejných oblastí u $E_k$ . . . . .	32
3.9	Průměrná velikost sakád u $E_p$ . . . . .	35
3.10	Návraty účastníků do stejných oblastí u $E_p$ . . . . .	36
3.11	Průměrná velikost sakád u $E_p, E_k$ . . . . .	38
3.12	Návraty účastníků do stejných oblastí u $E_k$ a $E_p$ . . . . .	39
3.13	Průměrná velikost sakád u úlohy Šíp . . . . .	42
3.14	Návraty účastníků do stejných oblastí u úlohy Šíp . . . . .	43
3.15	Průměrná velikost sakád u úlohy Klávesnice . . . . .	46
3.16	Návraty účastníků do stejných oblastí u úlohy Klávesnice . . . . .	47
3.17	Průměrná velikost sakád u úlohy f-x . . . . .	48
3.18	Návraty účastníků do stejných oblastí u úlohy f-x . . . . .	49

## A. Přílohy

# A.1 První příloha

## A.1.1 Kinetická energie, prvních čtyřicet sakád

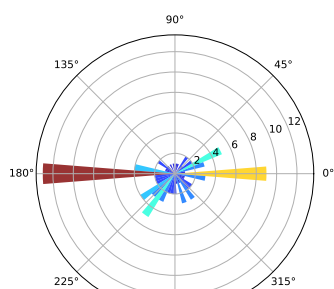
Správně



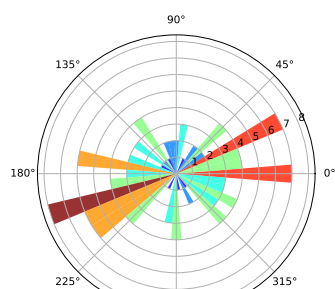


## A.1.2 Kinetická energie, všechny sakády

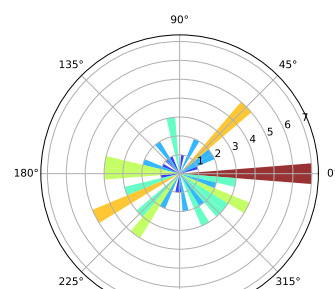
Správně



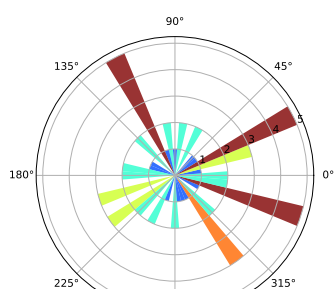
P02



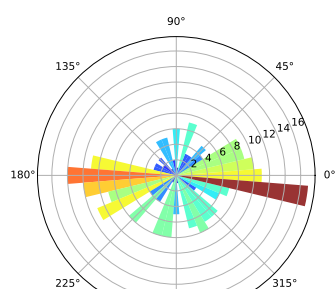
P03



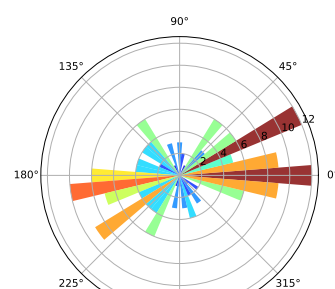
P04



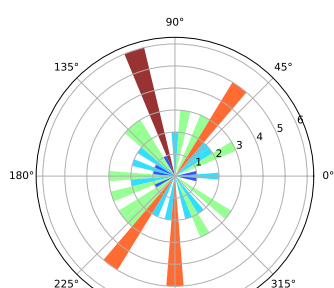
P05



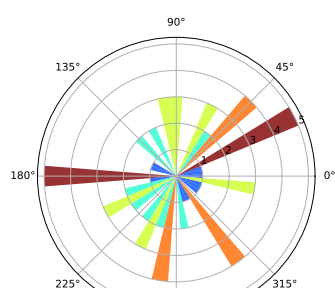
P07



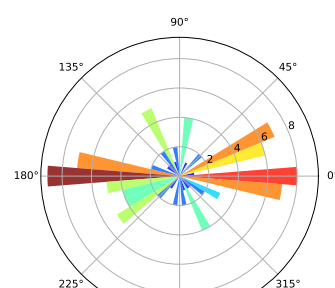
P08



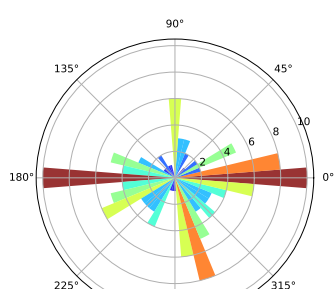
P09



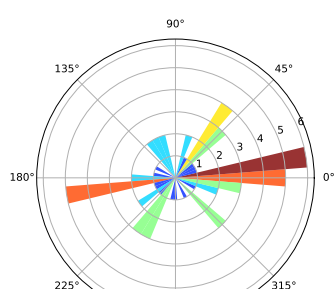
P10



P20



P22

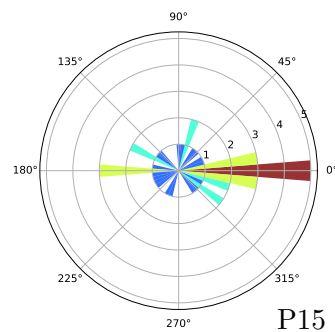
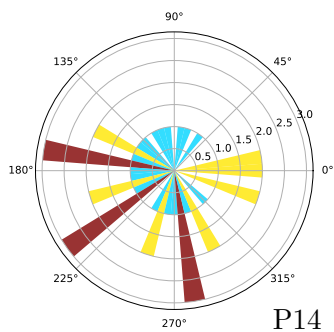
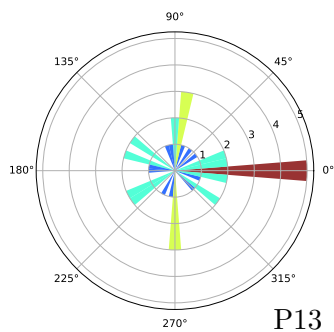
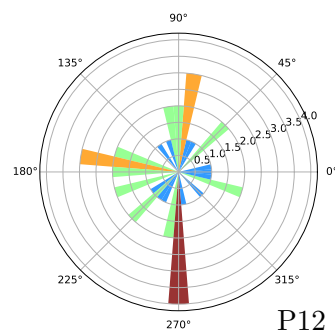
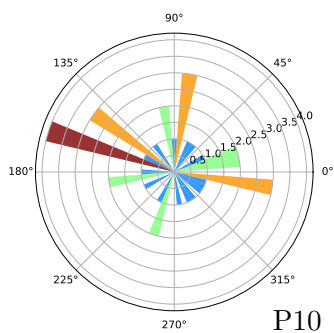
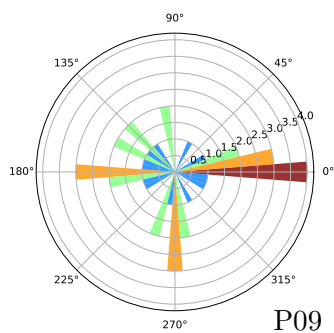
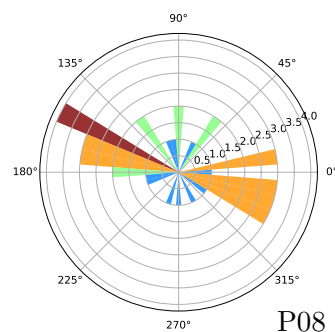
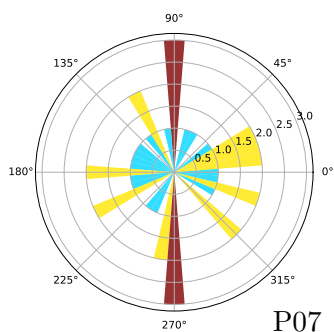
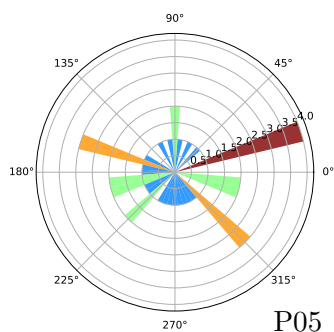
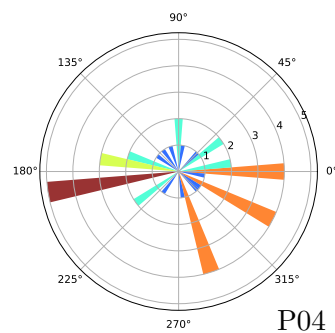
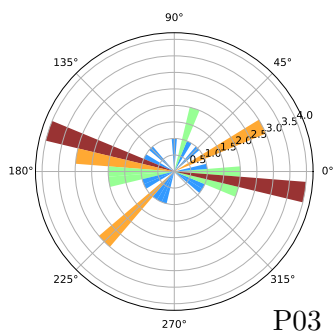
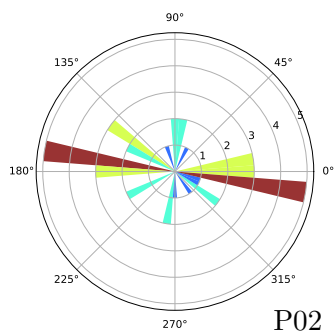


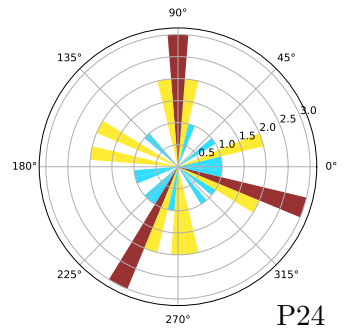
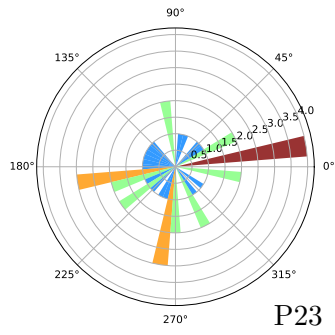
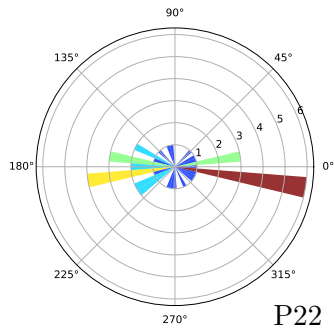
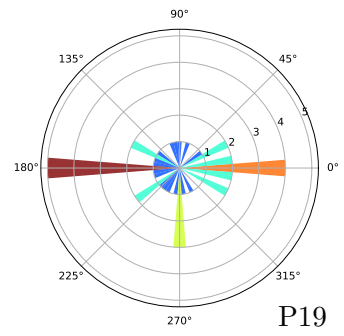
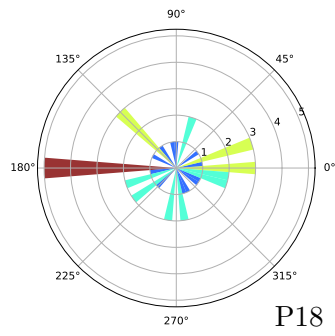
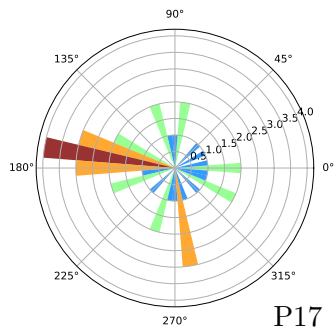
P24



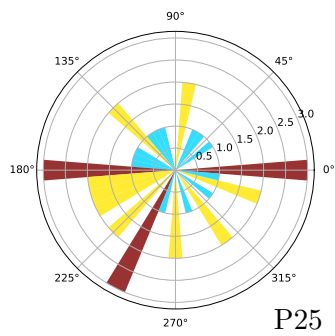
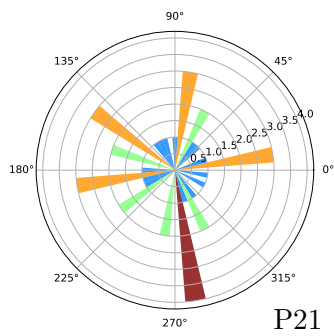
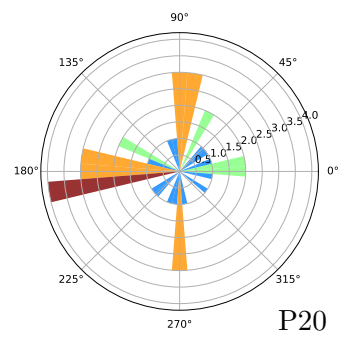
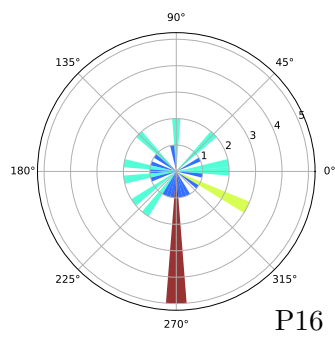
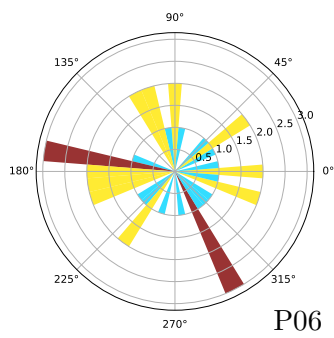
### A.1.3 Kinetická a potenciální energie, prvních čtyřicet sa- kád

Správně





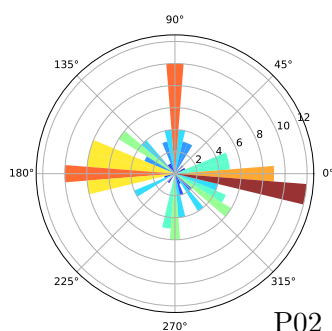
Špatně



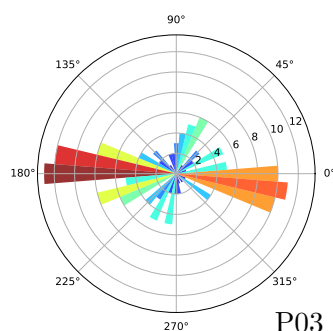


## A.1.4 Kinetická a potenciální energie, všechny sakády

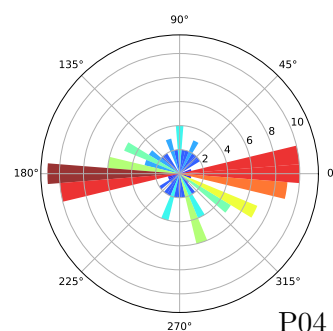
Správně



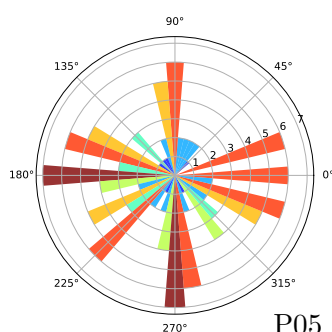
P02



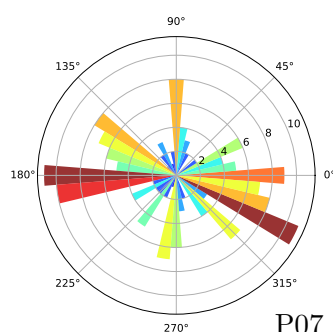
P03



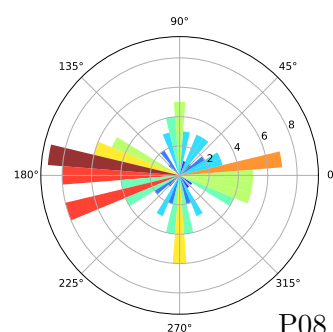
P04



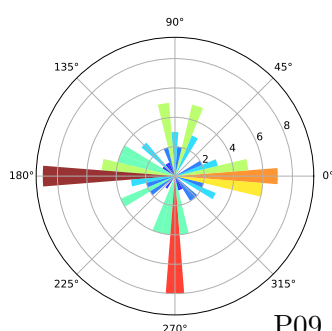
P05



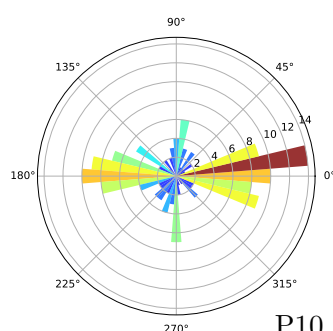
P07



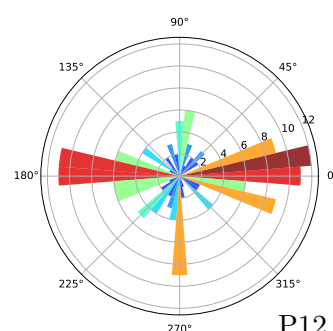
P08



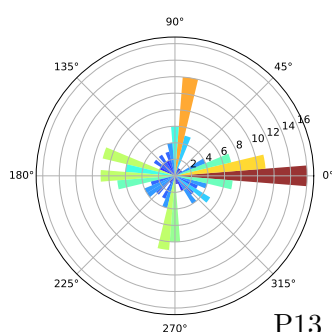
P09



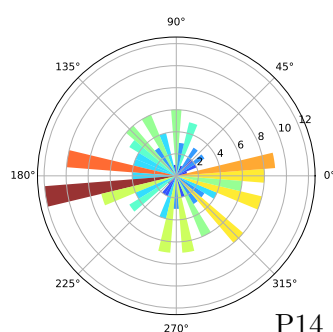
P10



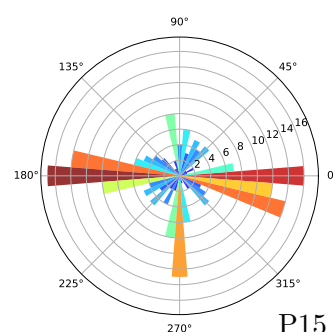
P12



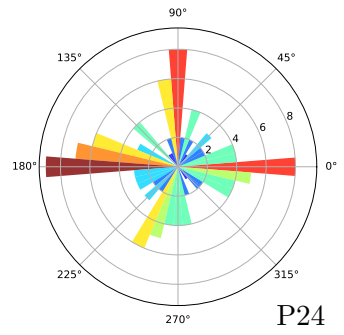
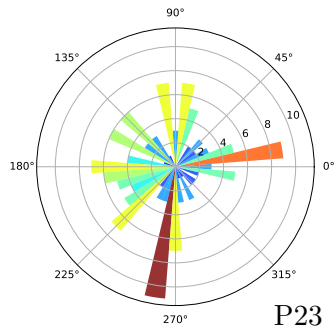
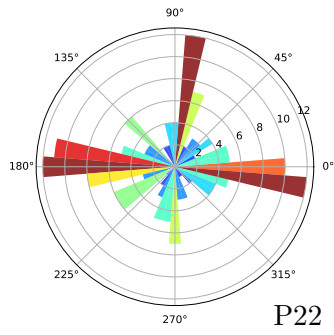
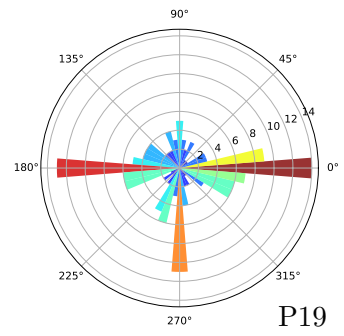
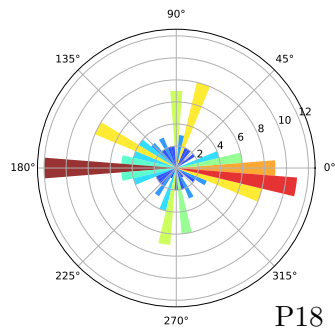
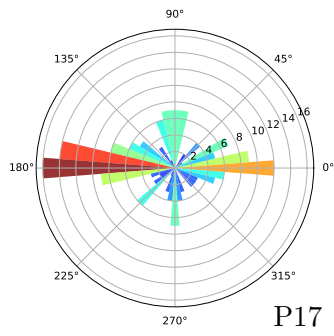
P13



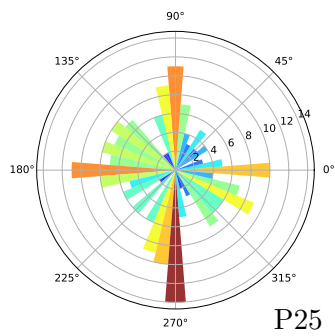
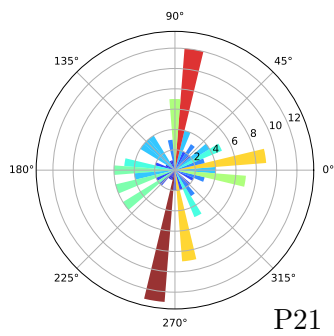
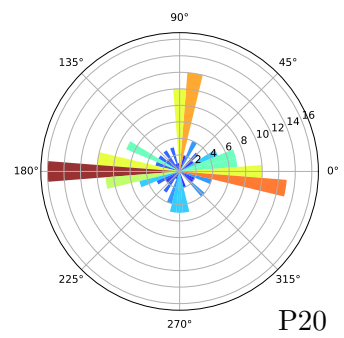
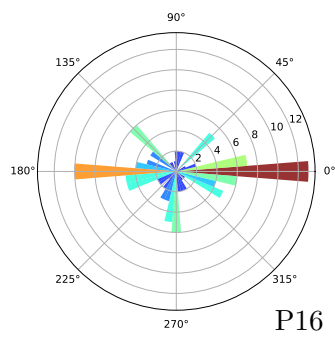
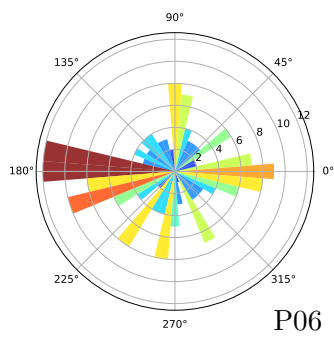
P14



P15

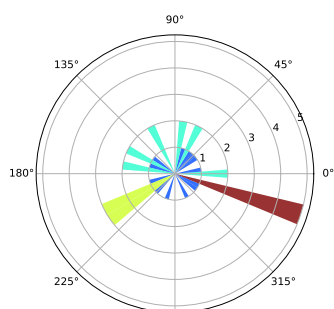


Špatně

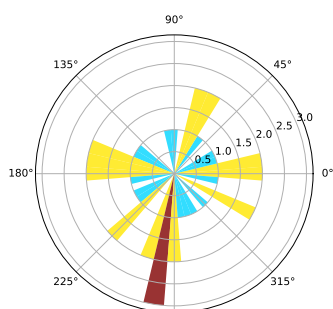


## A.1.5 Potenciální energie, prvních čtyřicet sakád

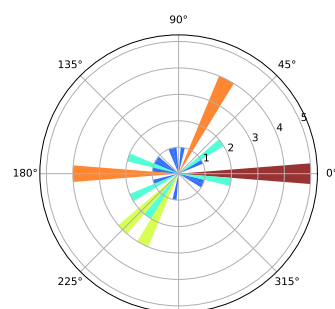
Správně



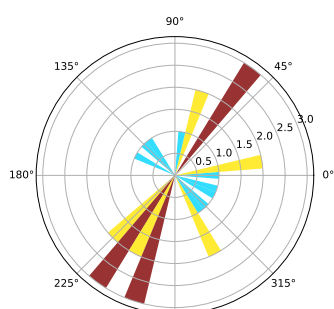
P02



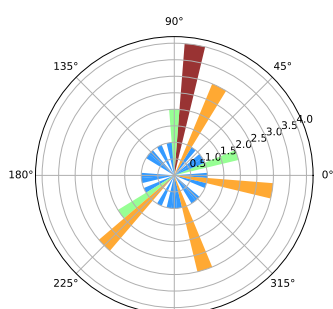
P03



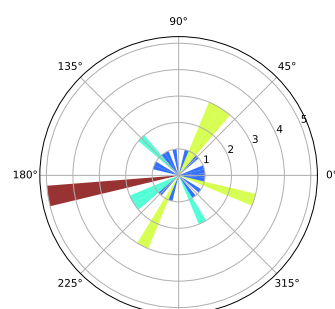
P04



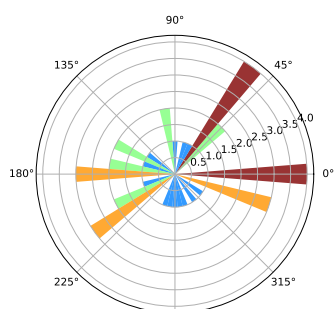
P05



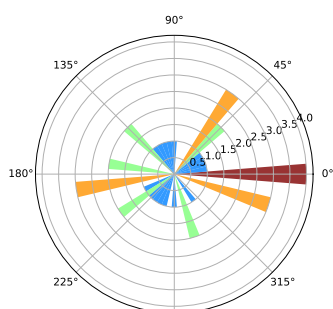
P06



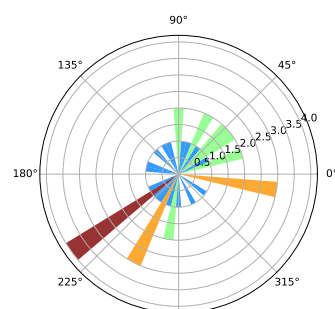
P07



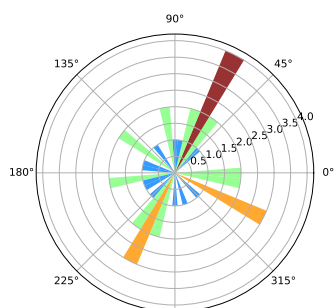
P08



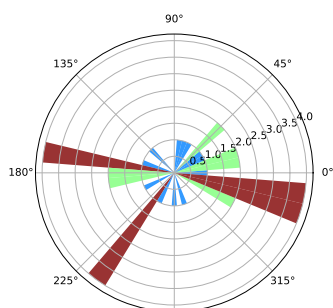
P09



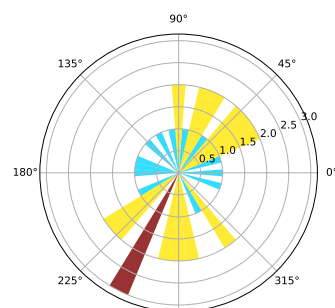
P10



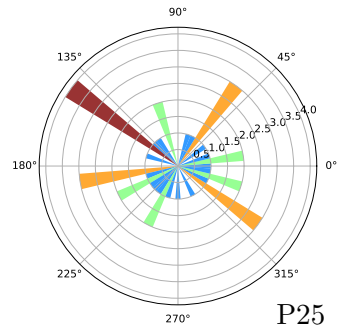
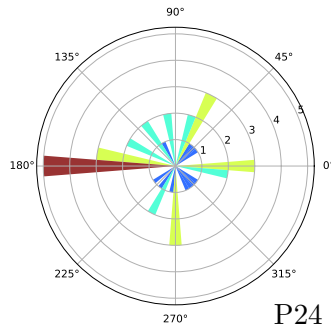
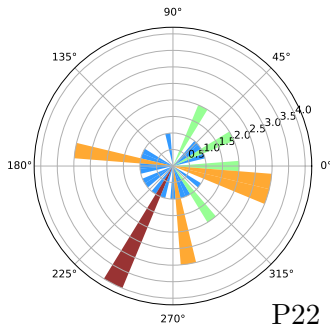
P13



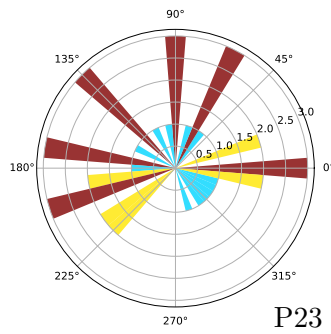
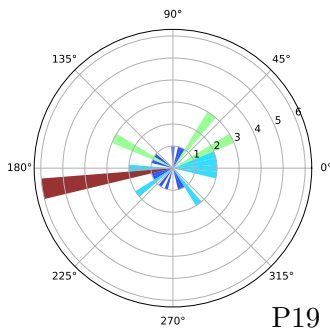
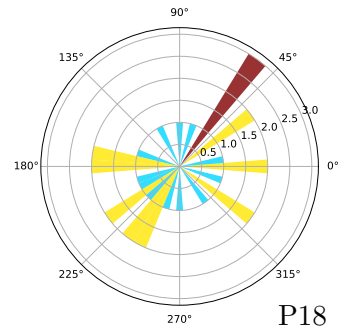
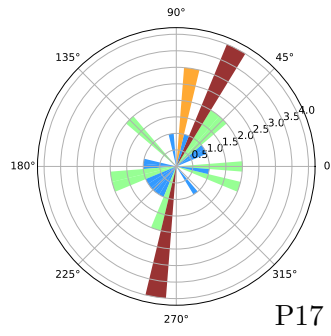
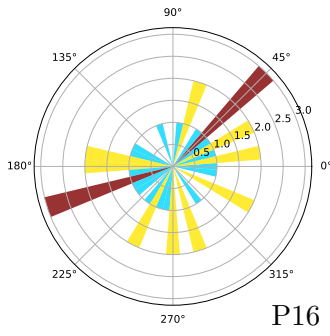
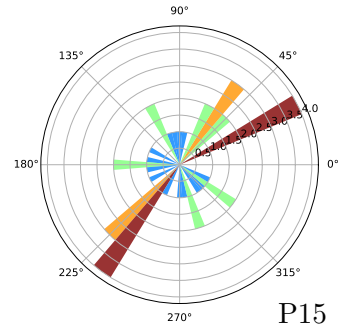
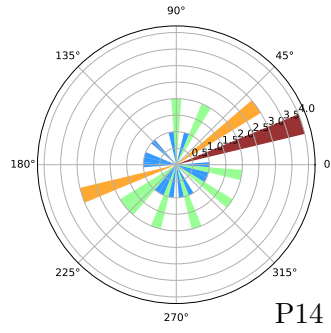
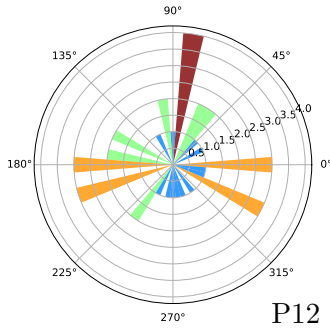
P20



P21

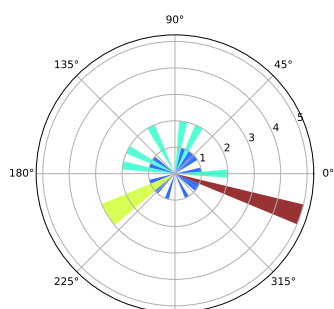


Špatně

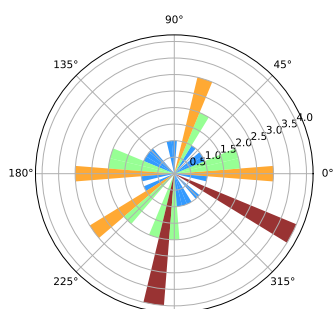


## A.1.6 Potenciální energie, všechny sakády

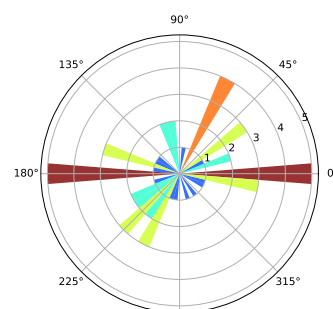
Správně



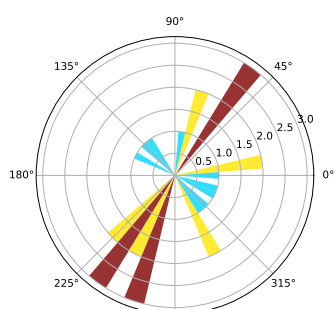
P02



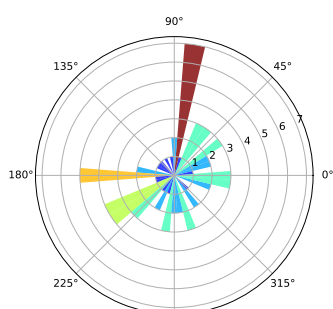
P03



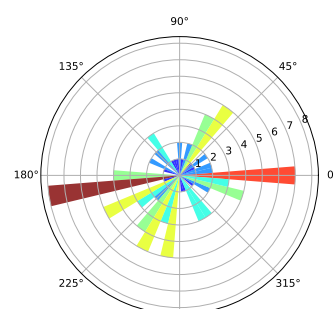
P04



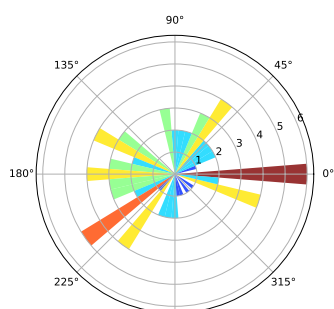
P05



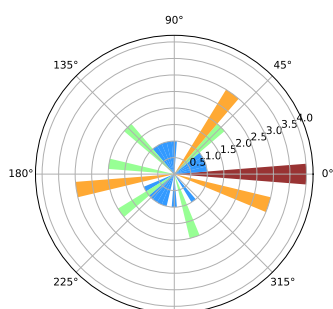
P06



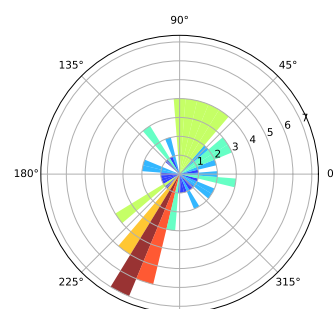
P07



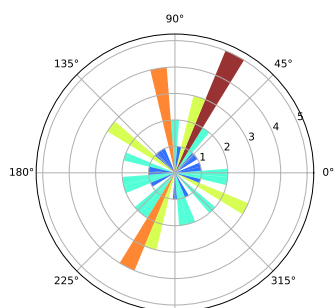
P08



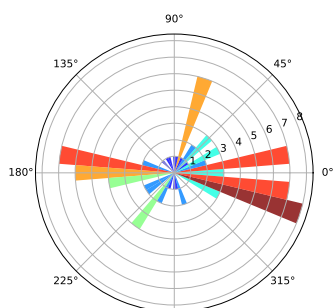
P09



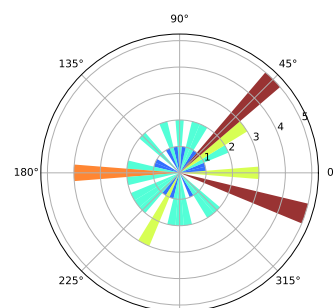
P10



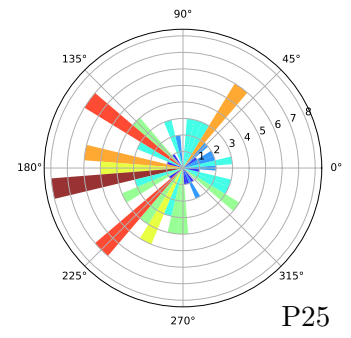
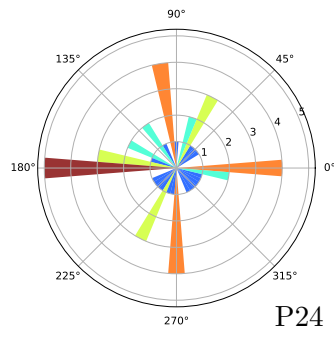
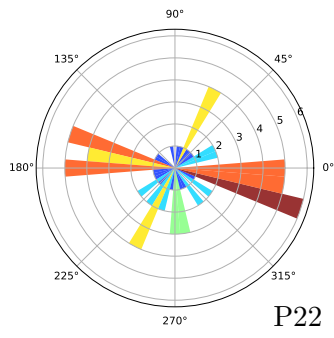
P13



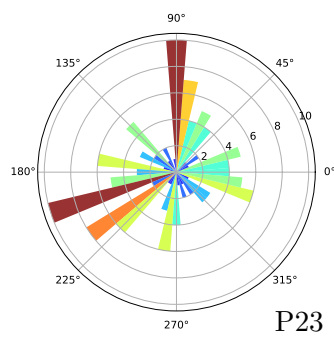
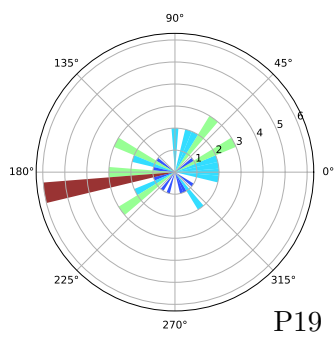
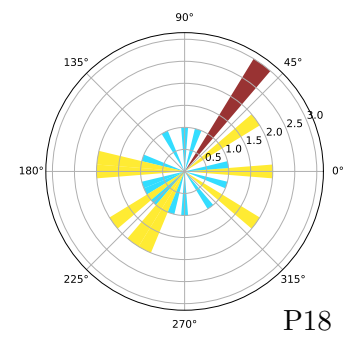
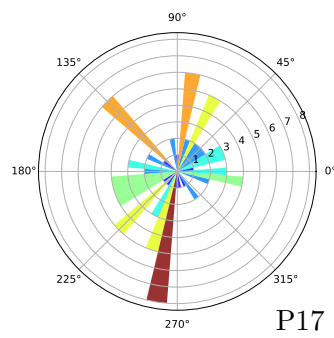
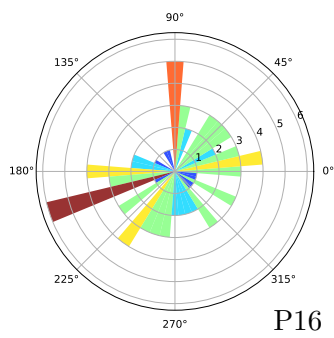
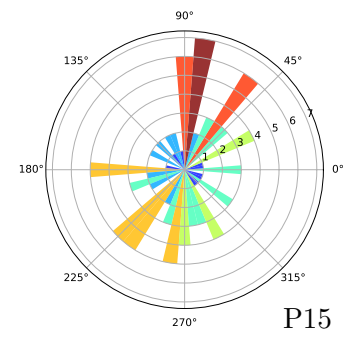
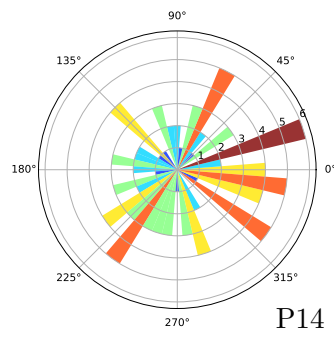
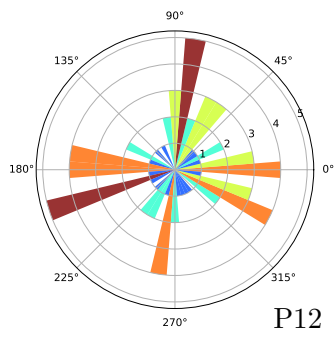
P20



P21

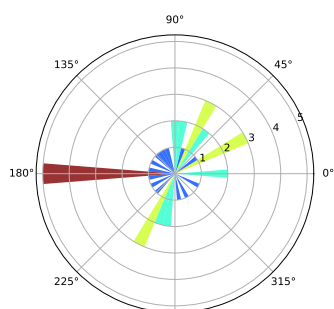


Špatně

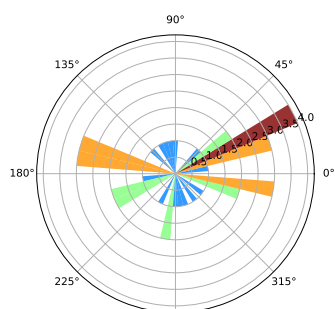


## A.1.7 Crash, prvních čtyřicet sakád

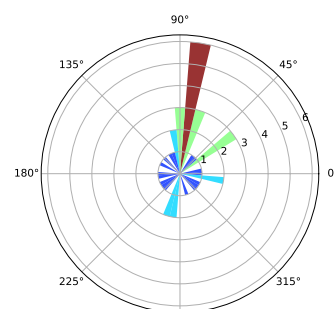
Správně



P04

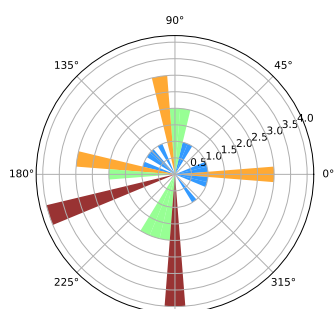


P09

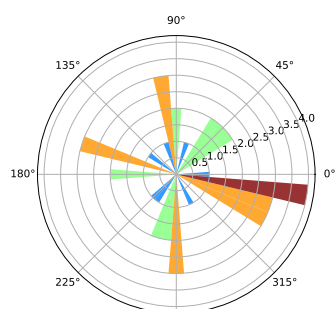


P13

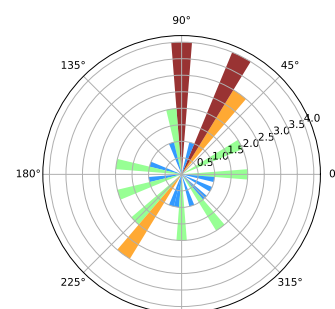
Špatně



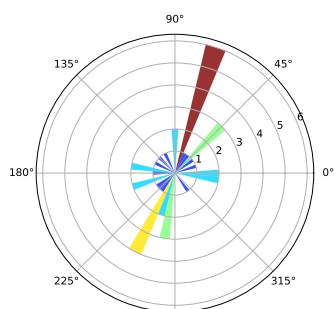
P02



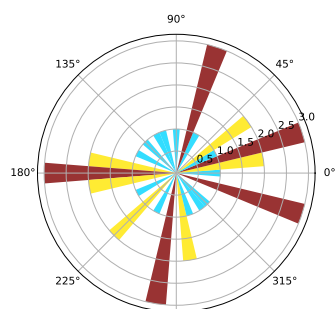
P03



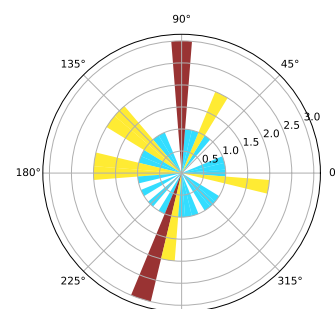
P05



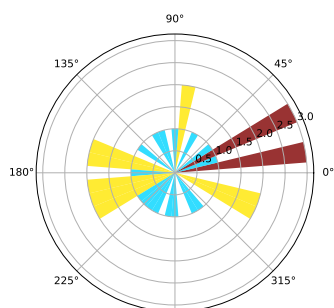
P06



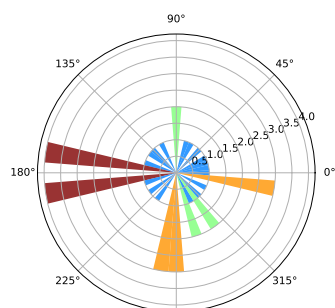
P07



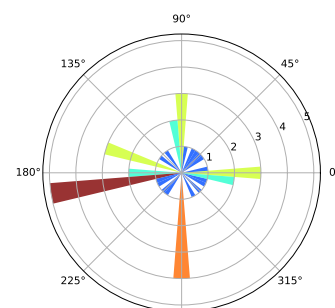
P08



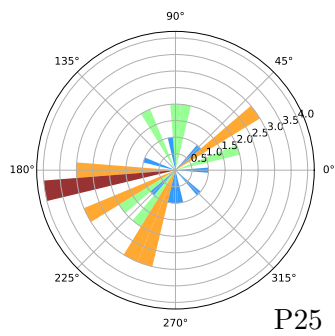
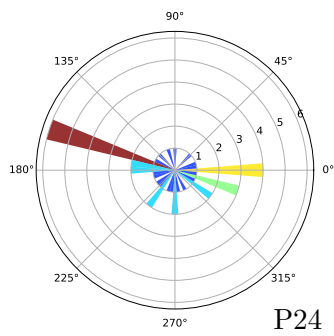
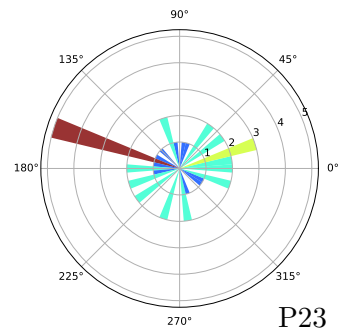
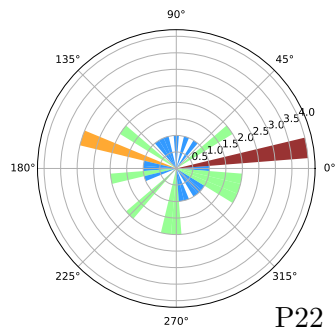
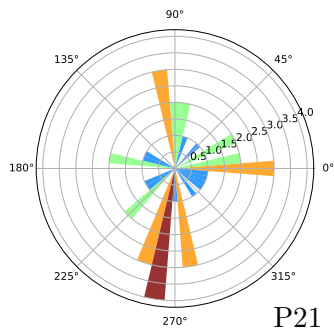
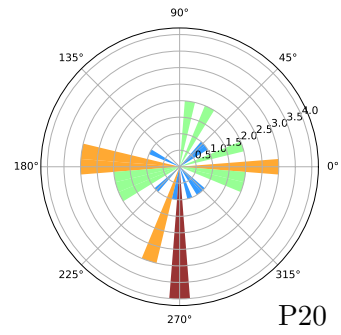
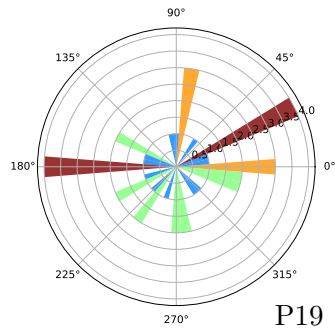
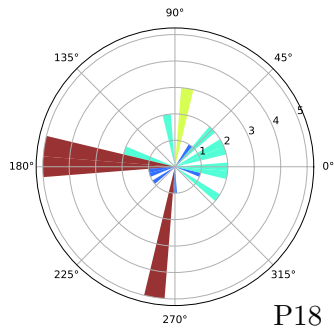
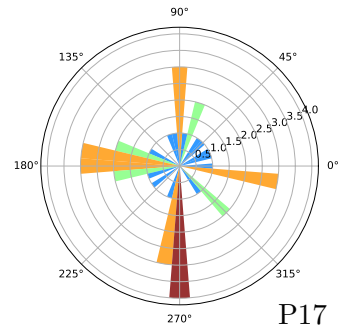
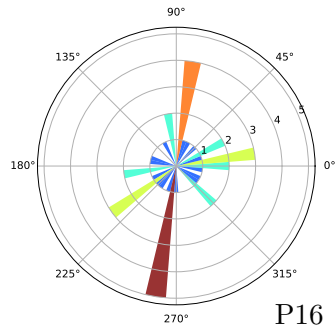
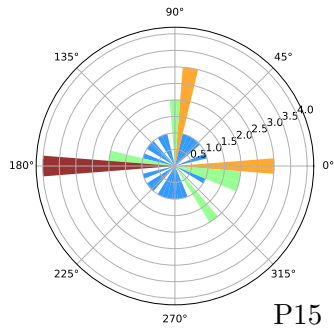
P10



P12



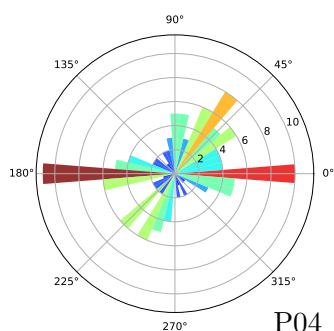
P14



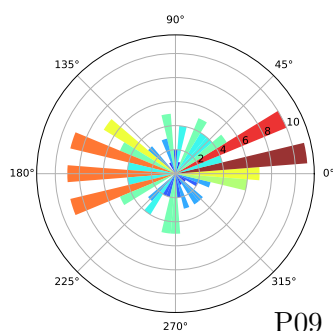


## A.1.8 Crash, všechny sakády

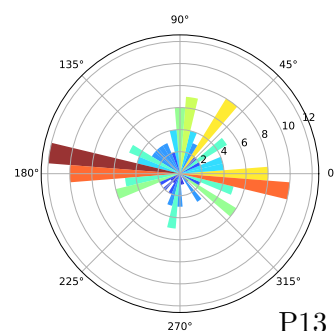
Správně



P04

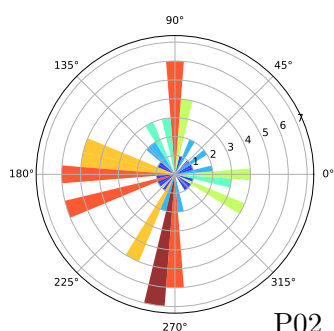


P09

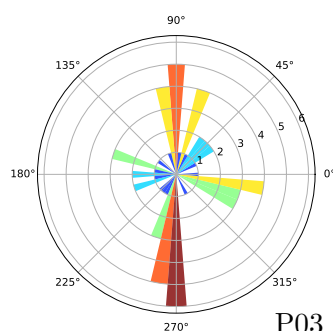


P13

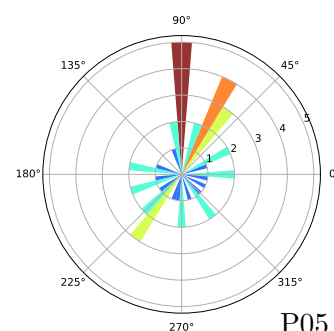
Špatně



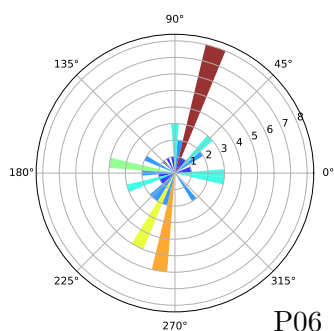
P02



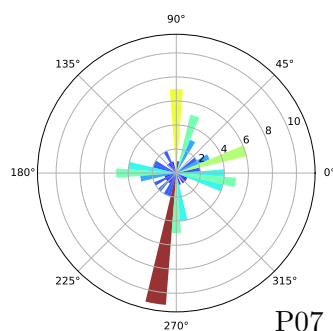
P03



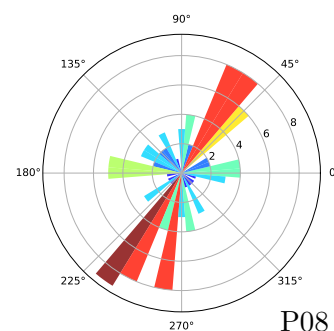
P05



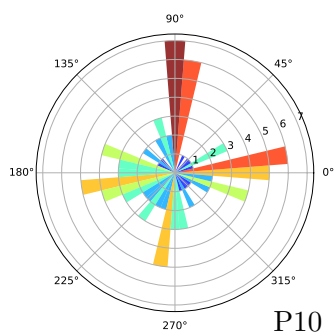
P06



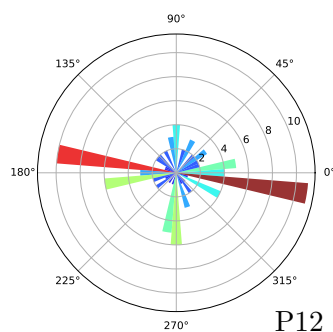
P07



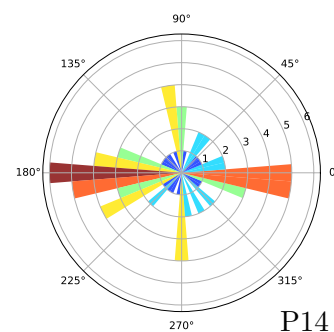
P08



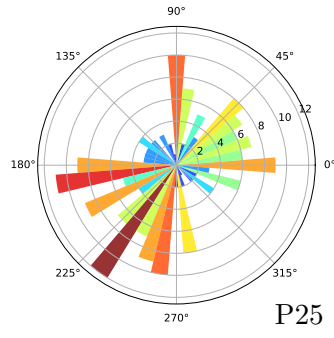
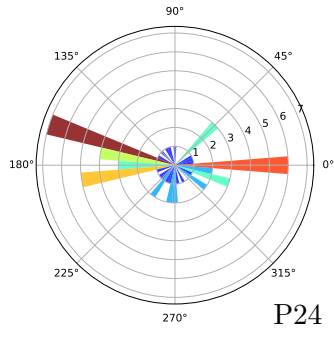
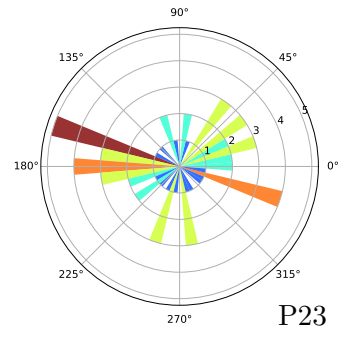
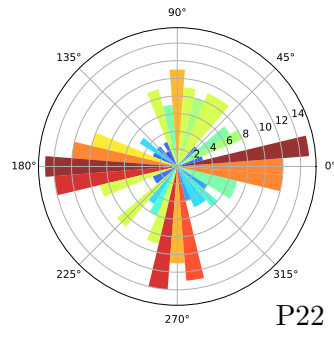
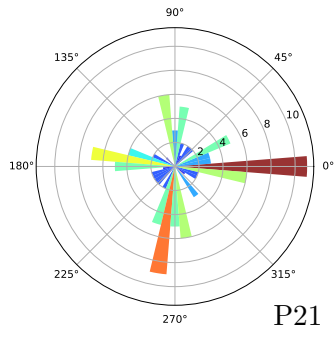
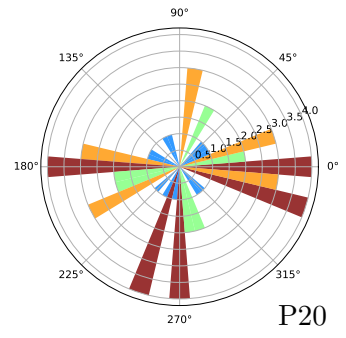
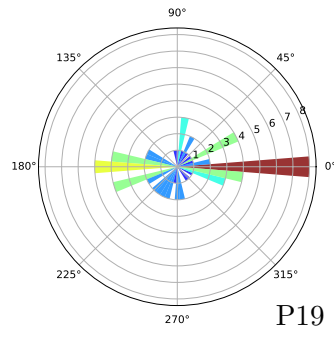
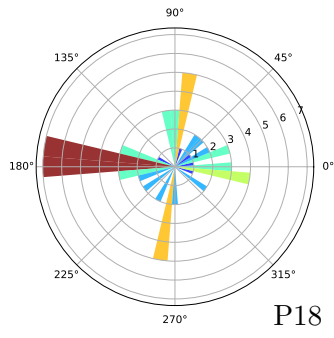
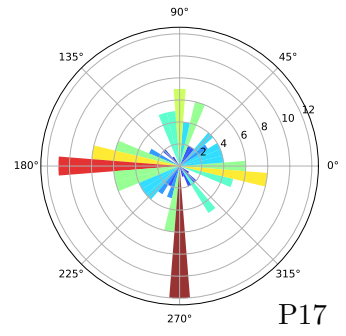
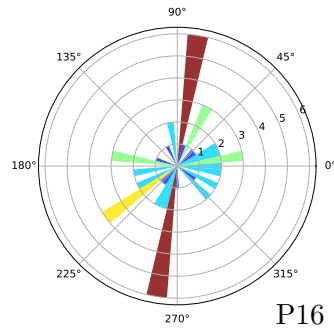
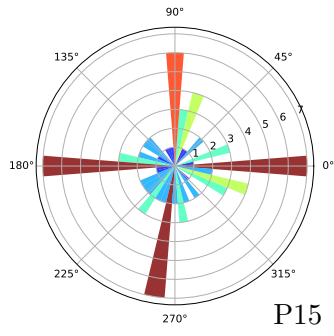
P10



P12

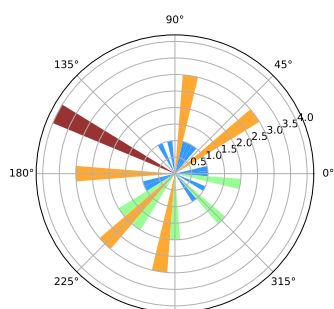


P14

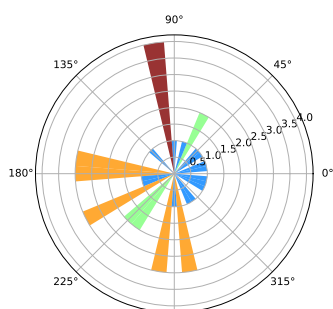


## A.1.9 Dřepování, prvních čtyřicet sakád

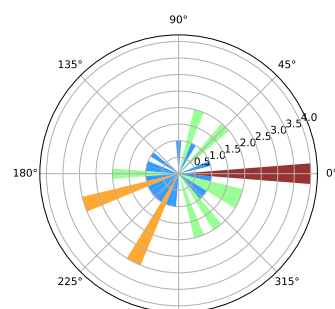
Správně



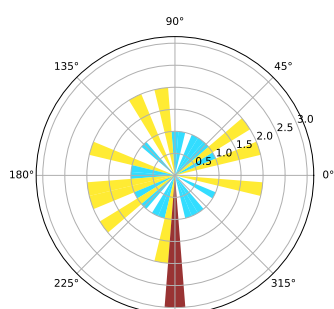
P02



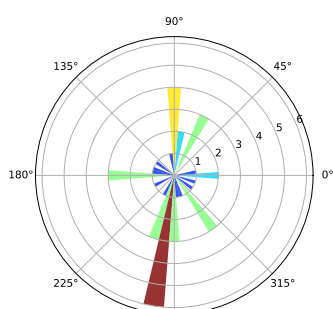
P03



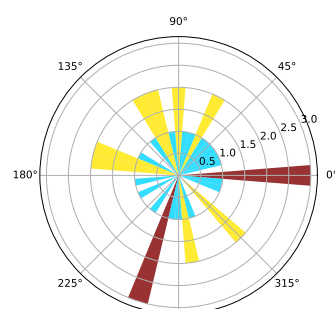
P04



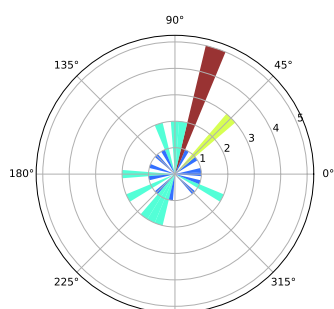
P06



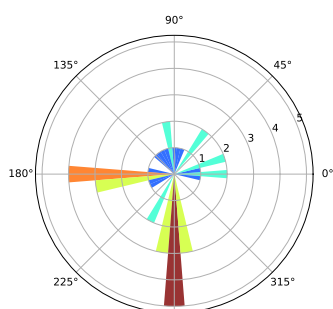
P08



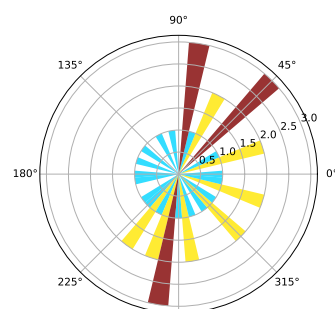
P09



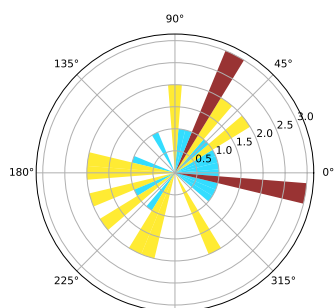
P10



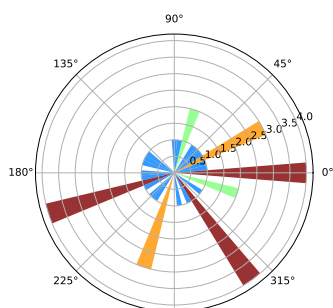
P12



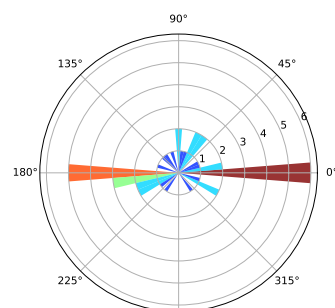
P13



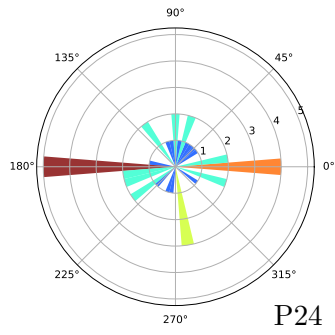
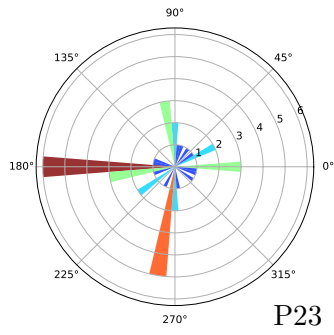
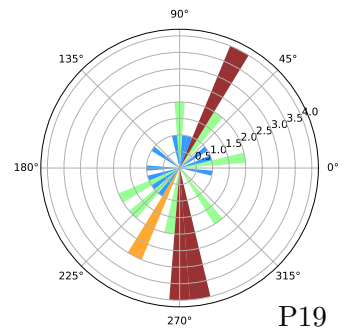
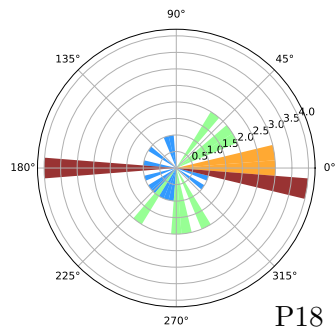
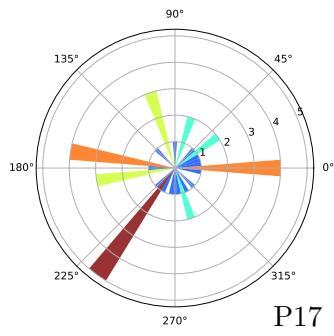
P14



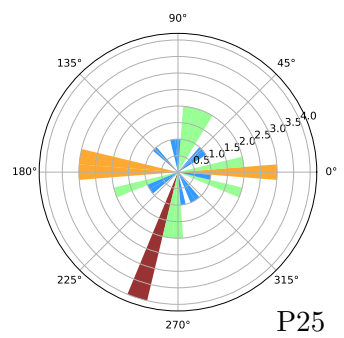
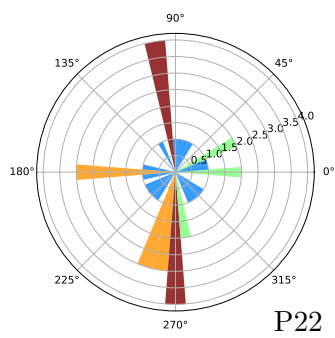
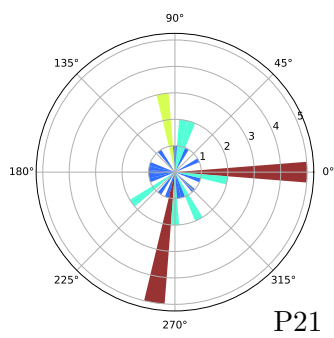
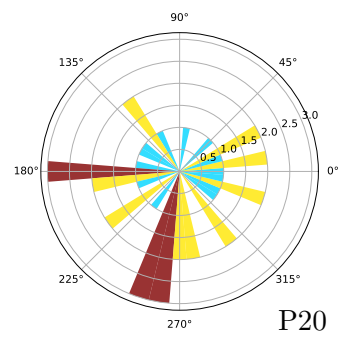
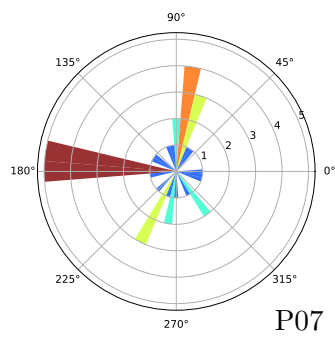
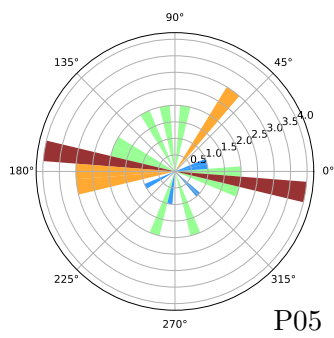
P15



P16

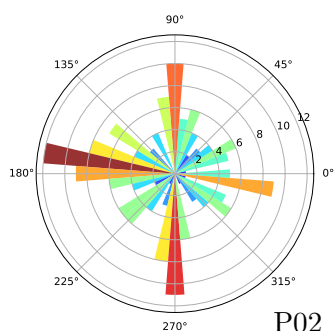


Špatně

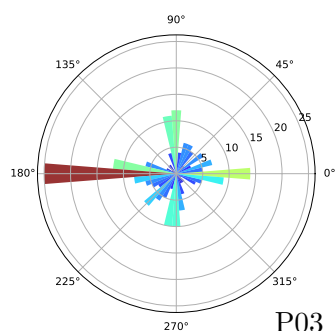


## A.1.10 Dřepování, všechny sakády

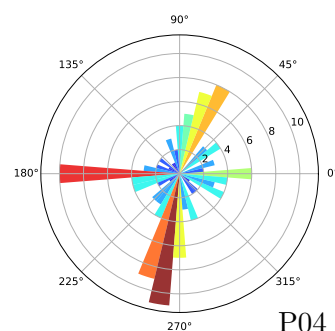
Správně



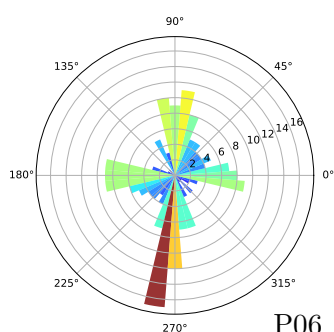
P02



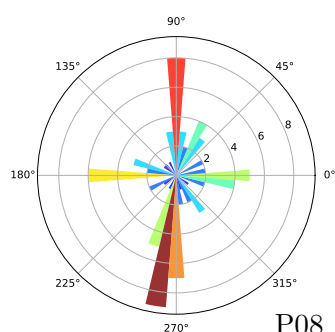
P03



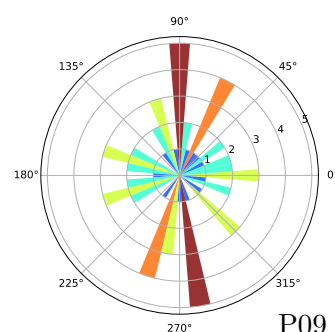
P04



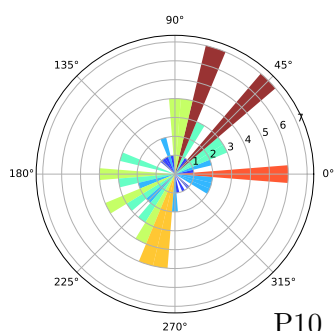
P06



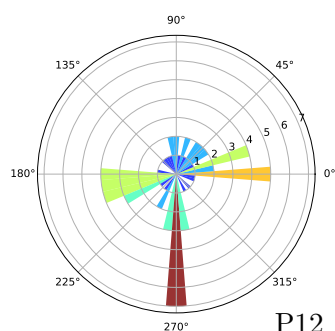
P08



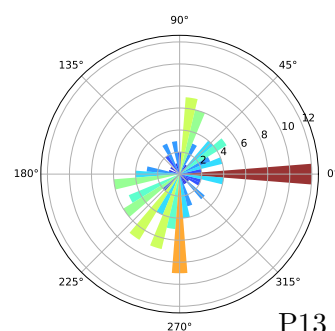
P09



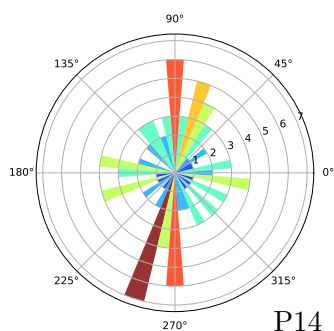
P10



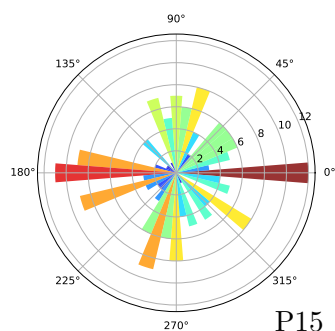
P12



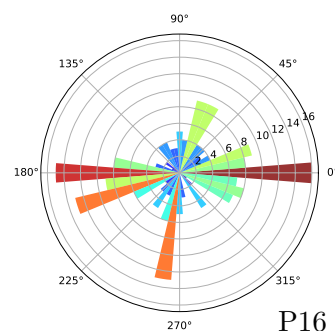
P13



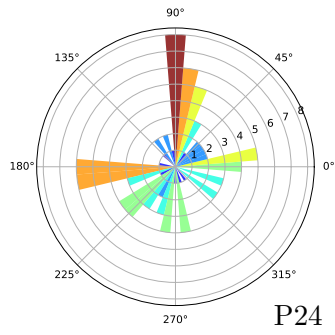
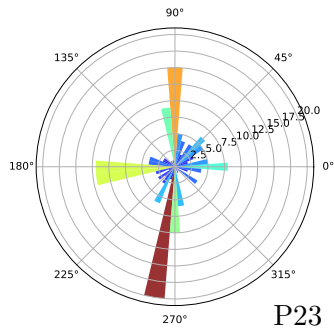
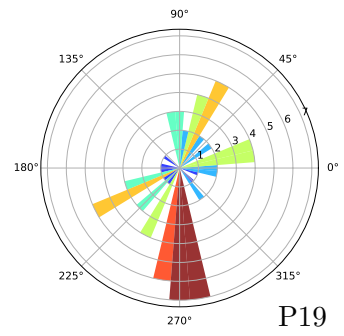
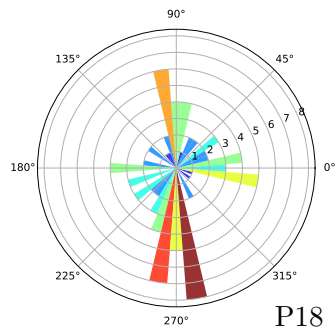
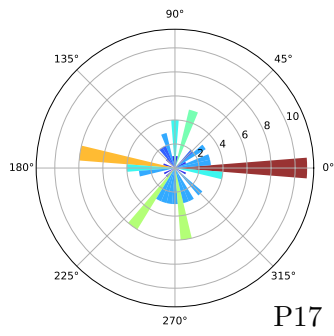
P14



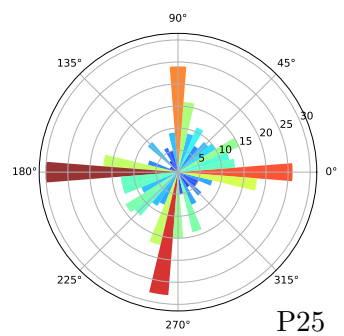
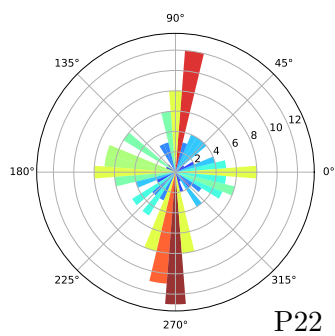
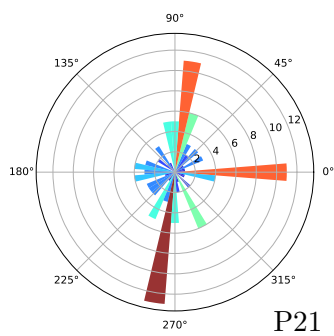
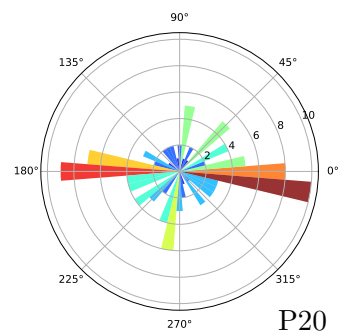
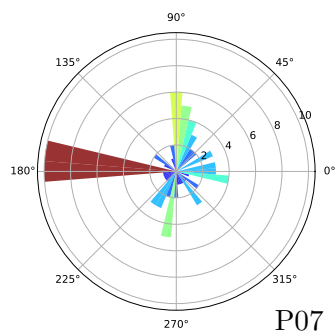
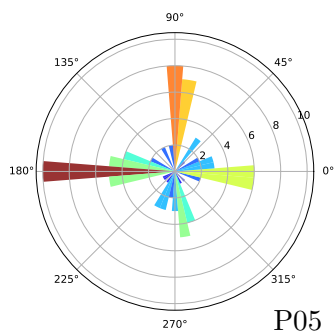
P15



P16

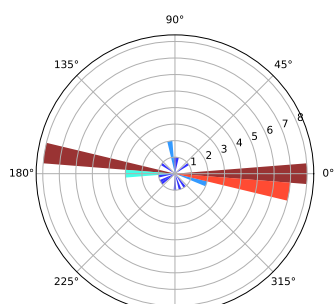


### Špatně

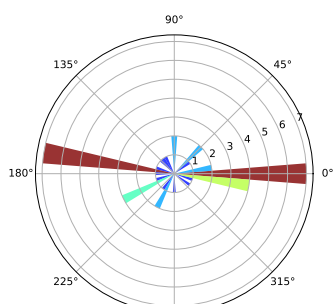


## A.1.11 F-t, prvních čtyřicet sakád

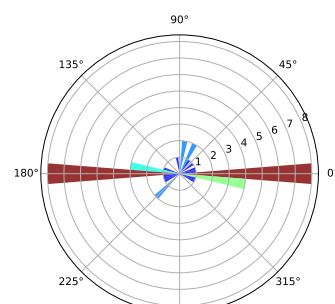
Správně



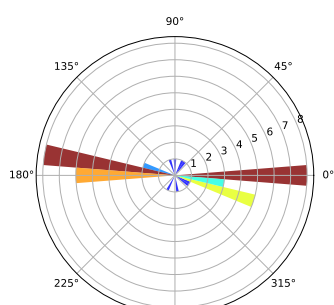
P02



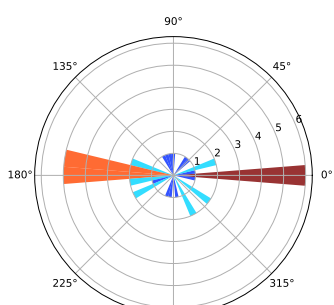
P07



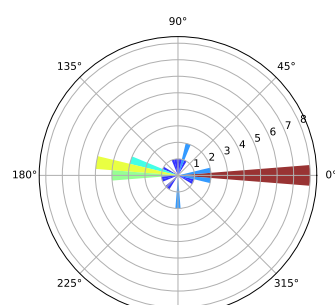
P18



P22

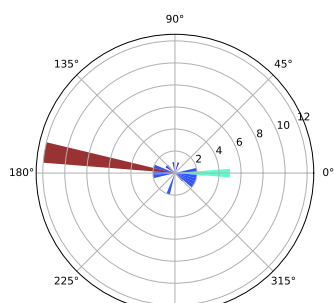


P23

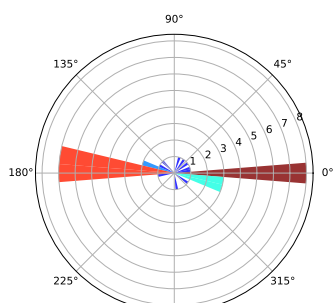


P24

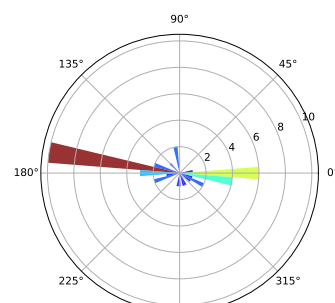
Špatně



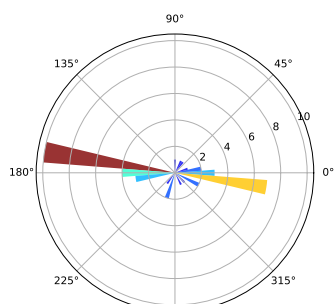
P03



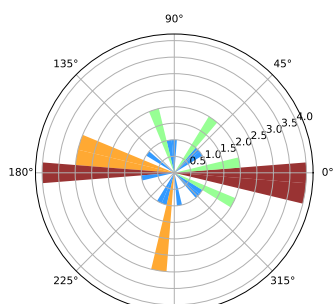
P04



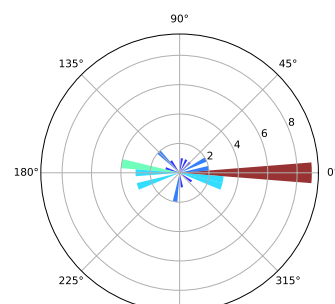
P05



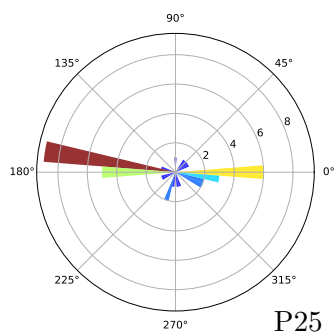
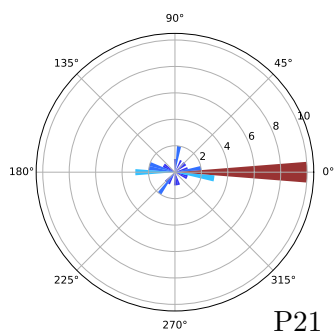
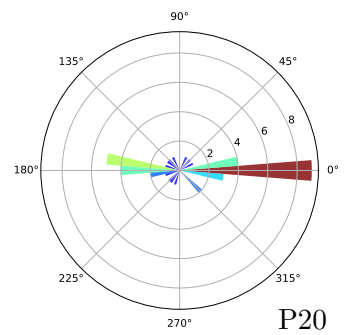
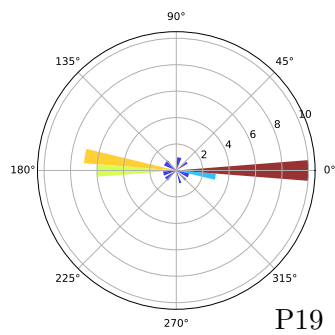
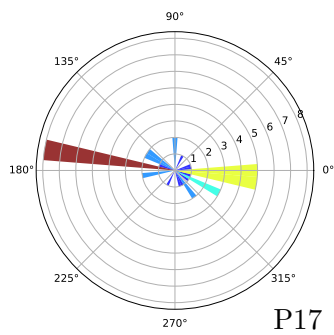
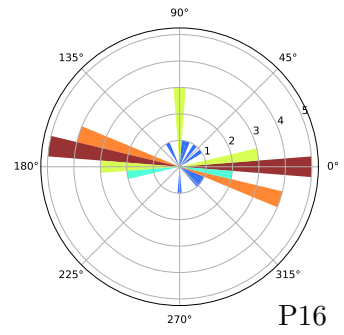
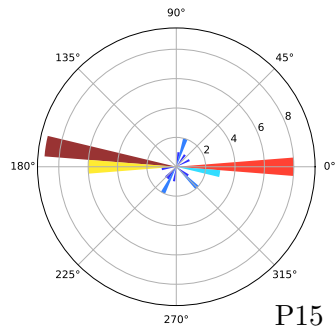
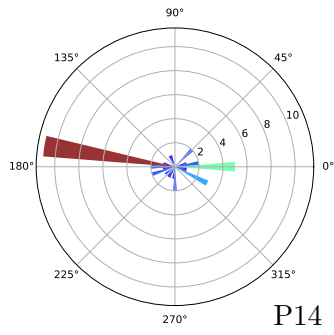
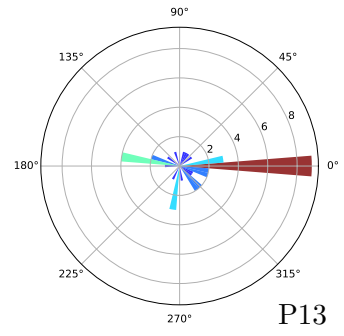
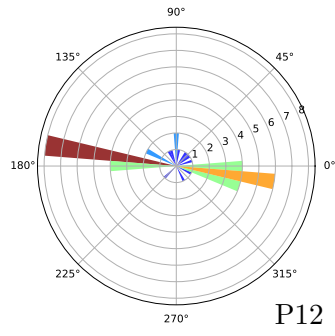
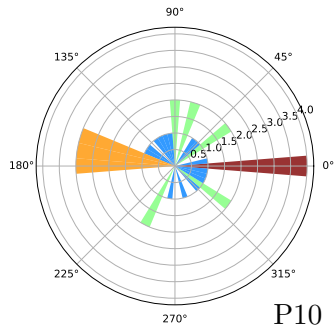
P06



P08



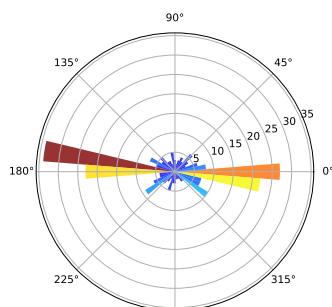
P09



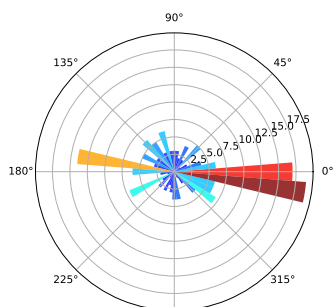


## A.1.12 F-t, všechny sakády

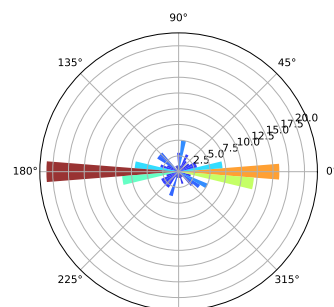
Správně



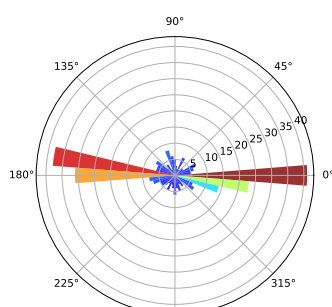
P02



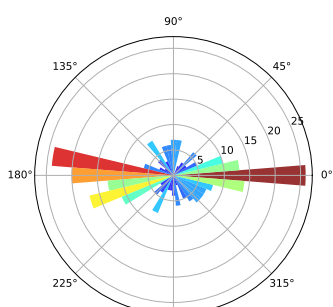
P07



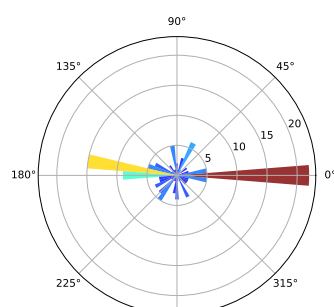
P18



P22

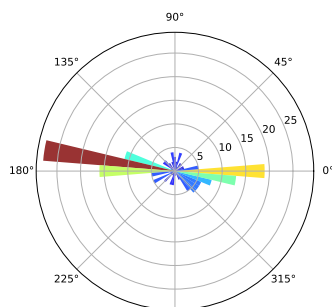


P23

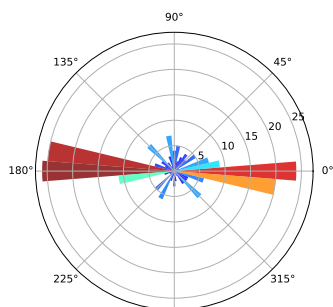


P24

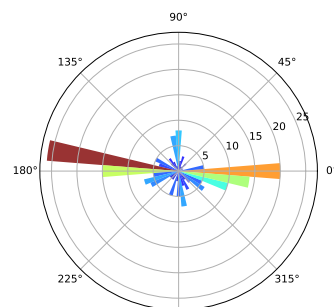
Špatně



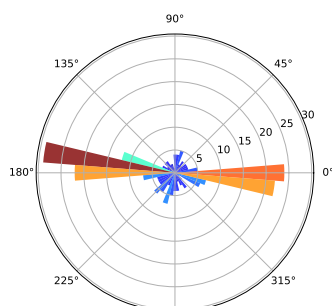
P03



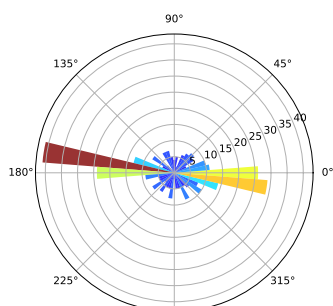
P04



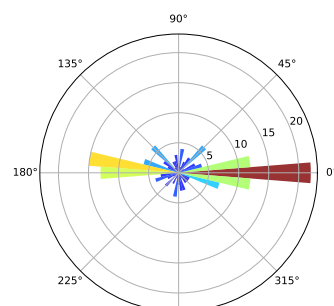
P05



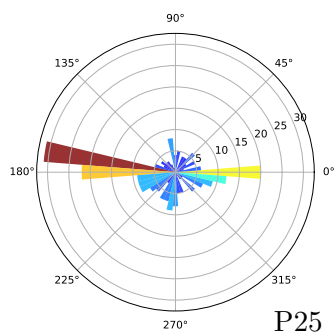
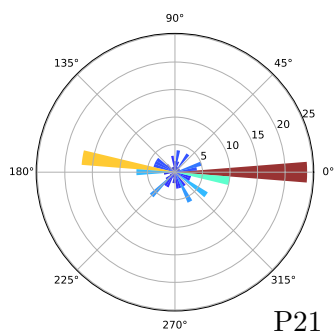
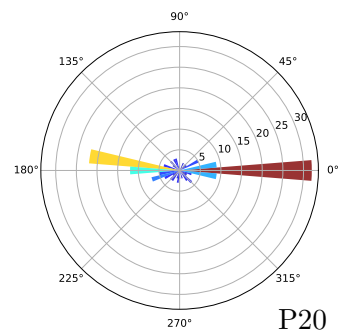
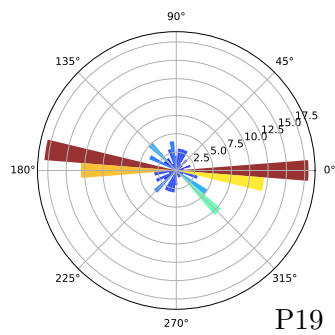
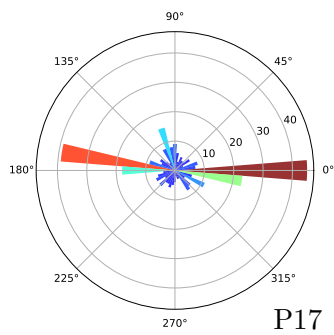
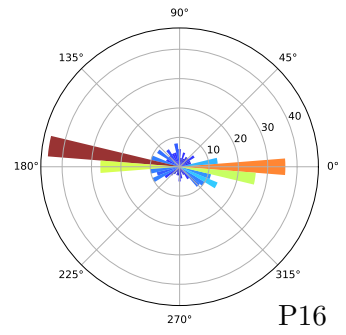
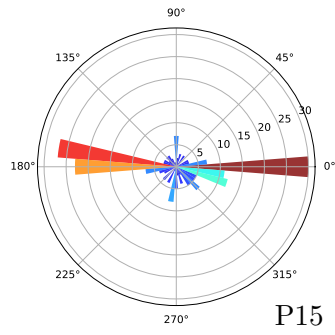
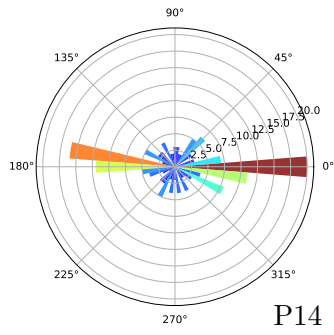
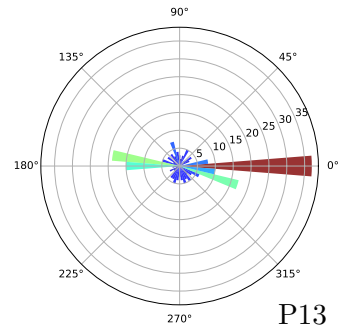
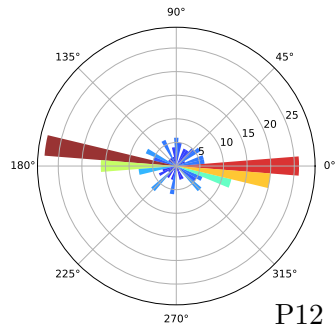
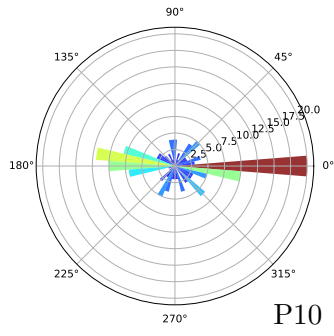
P06



P08

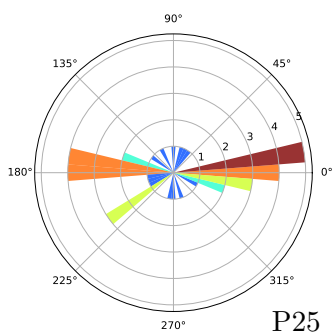
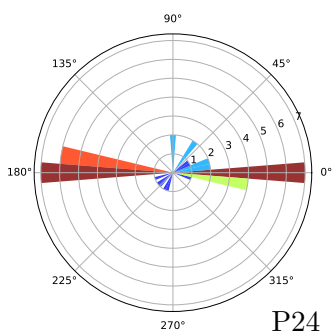
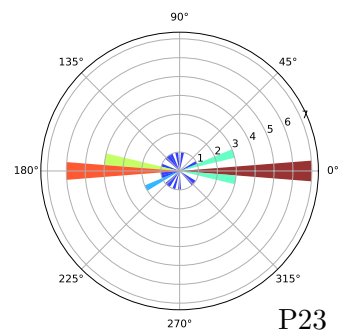
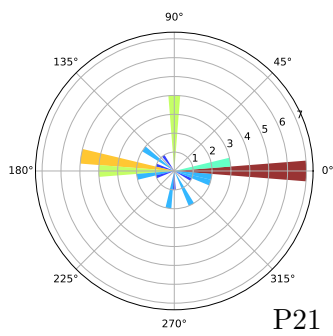
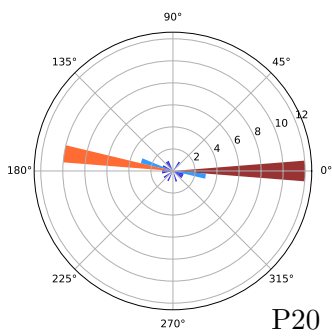
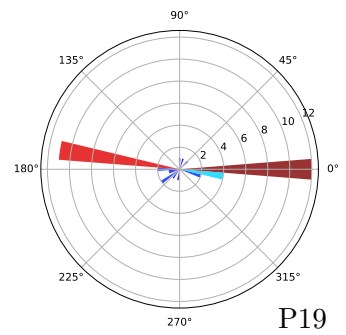
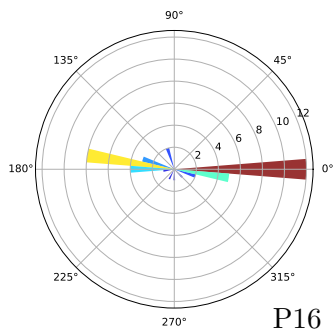
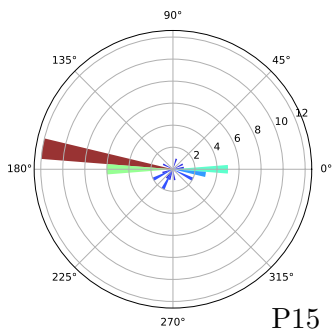
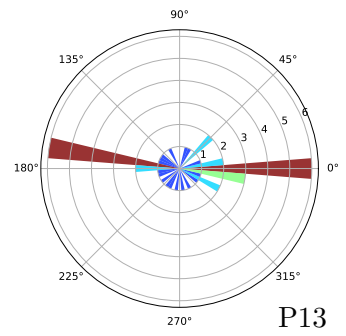
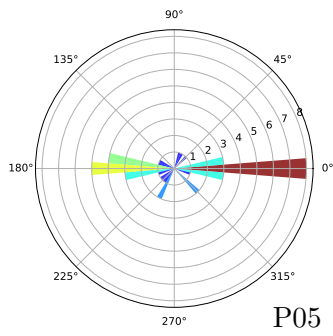
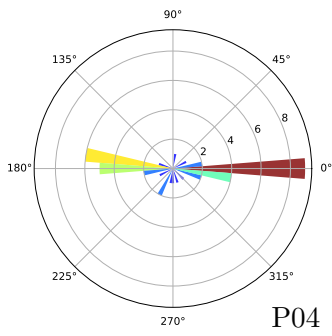


P09



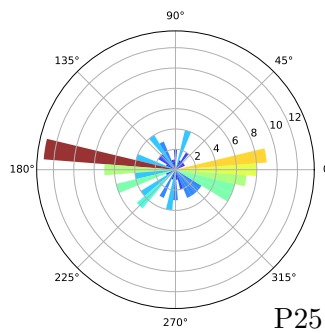
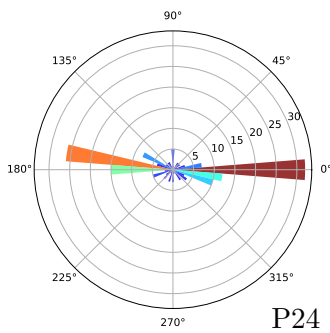
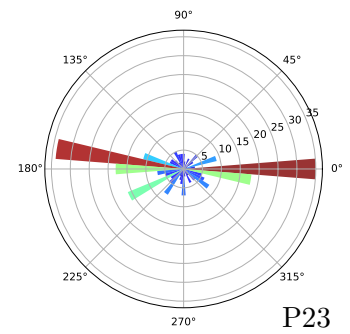
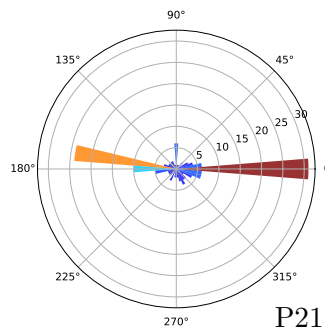
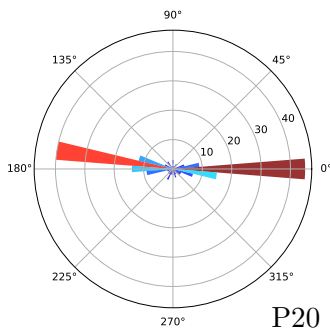
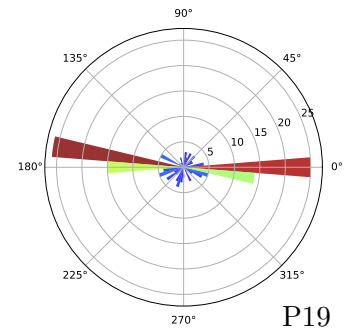
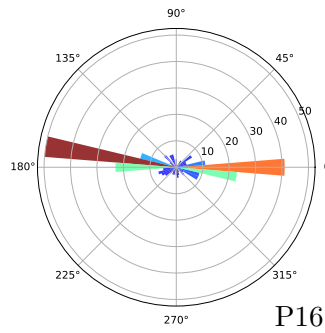
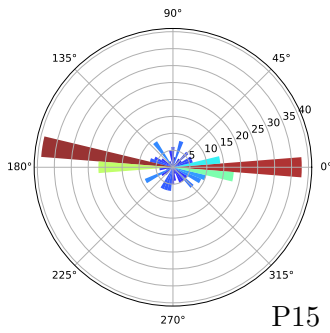
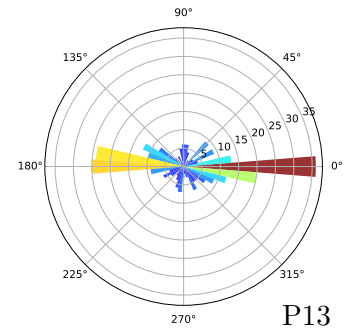
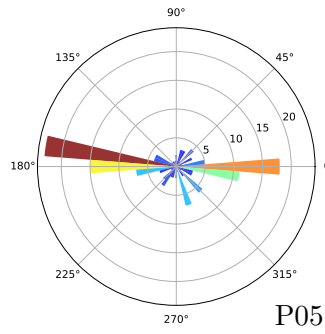
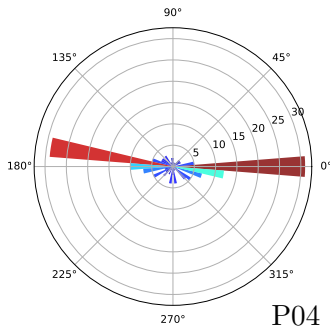


# Špatně



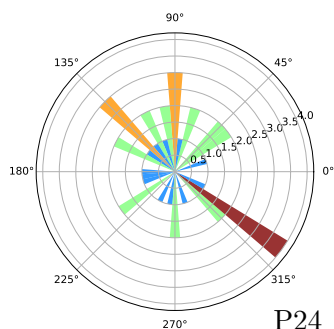


# Špatně



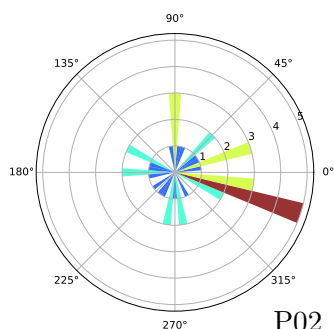
## A.1.15 Klávesnice, prvních čtyřicet sakád

Správně

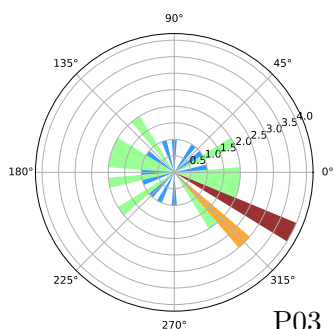


P24

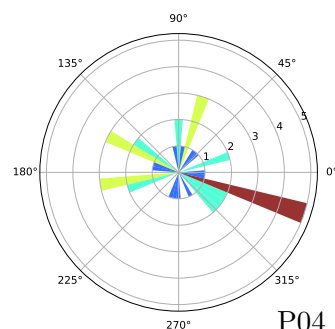
Špatně



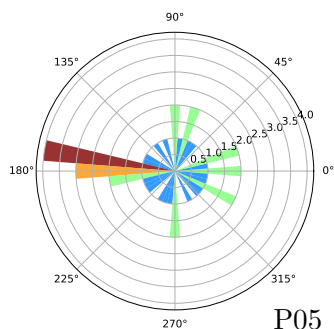
P02



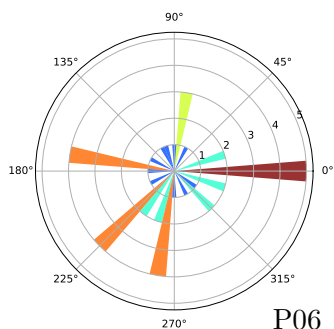
P03



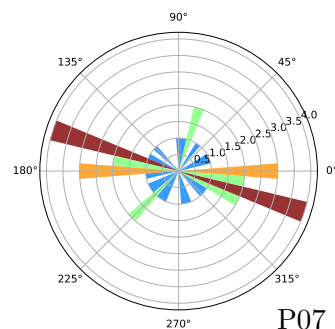
P04



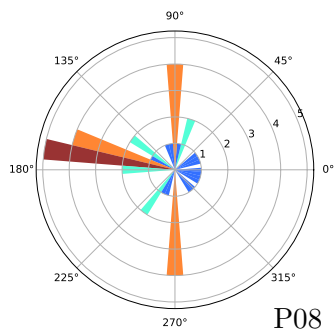
P05



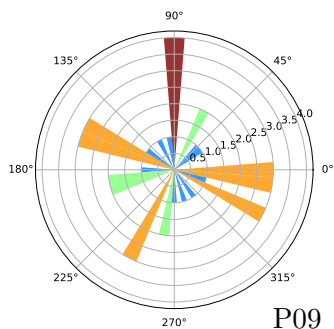
P06



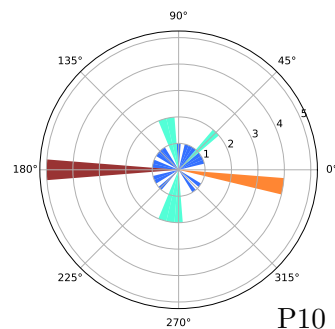
P07



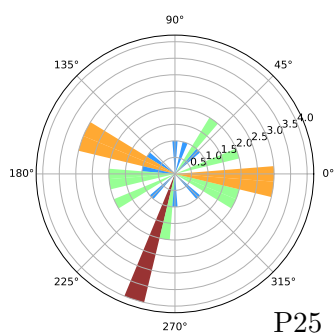
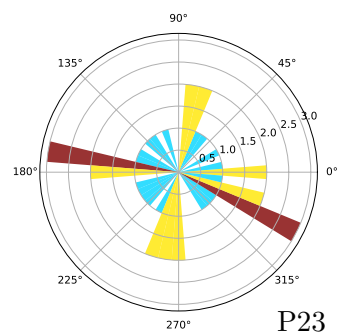
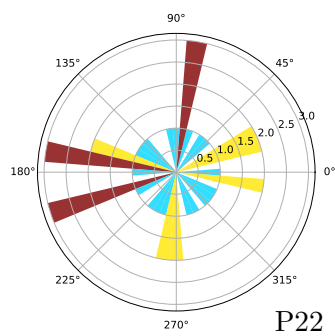
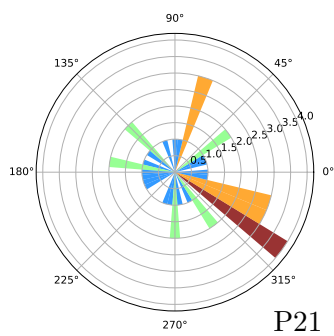
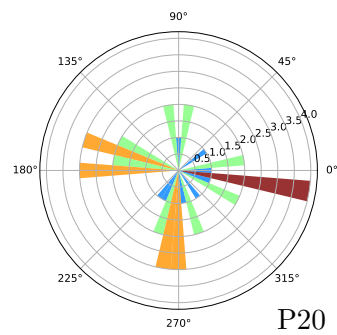
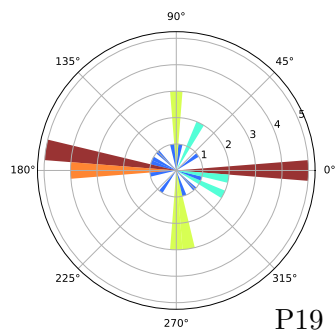
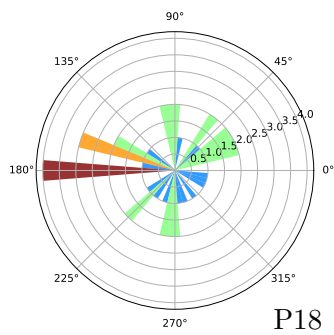
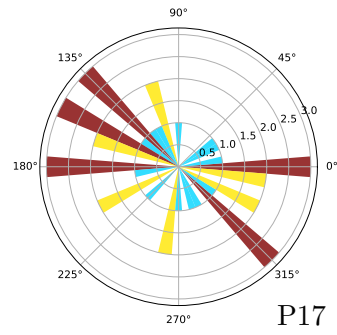
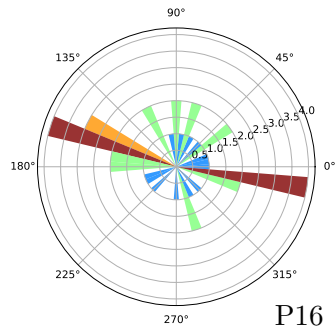
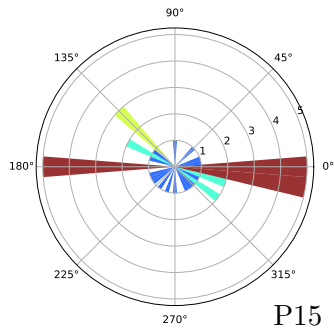
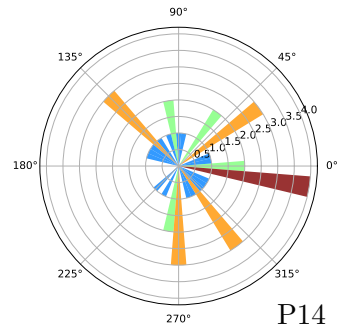
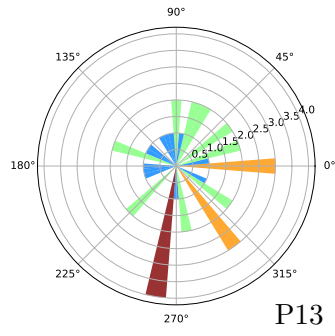
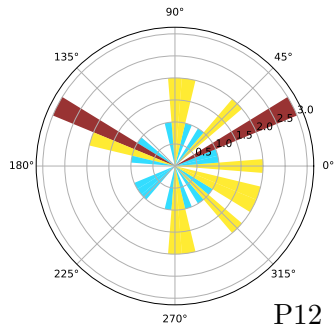
P08



P09



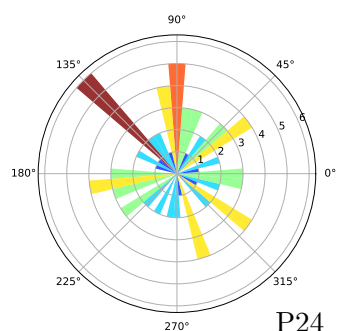
P10





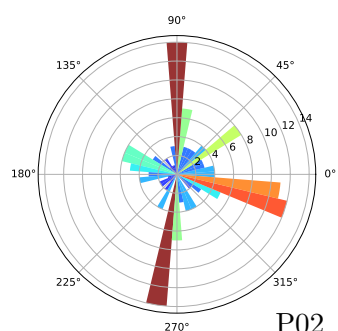
## A.1.16 Klávesnice, všechny sakád

Správně

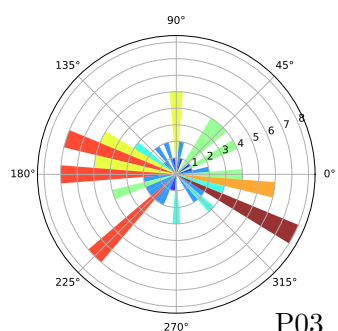


P24

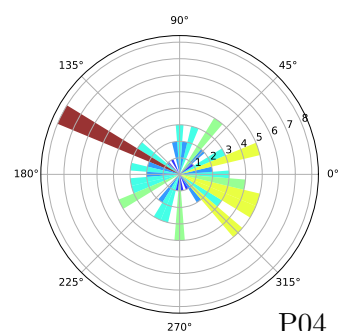
Špatně



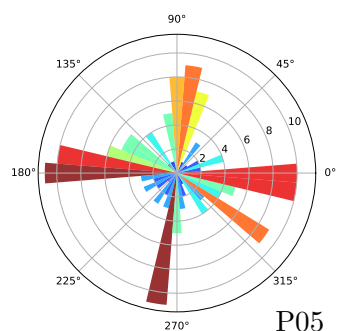
P02



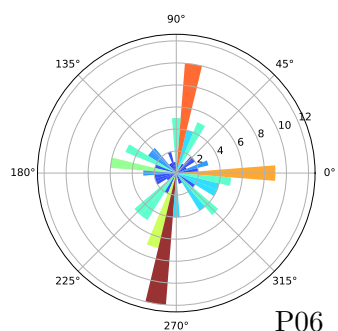
P03



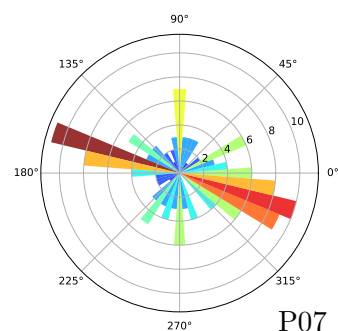
P04



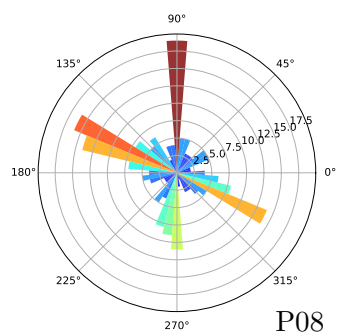
P05



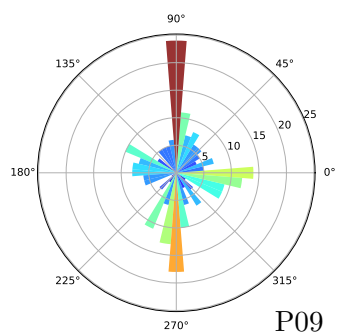
P06



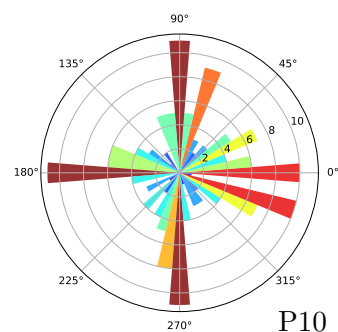
P07



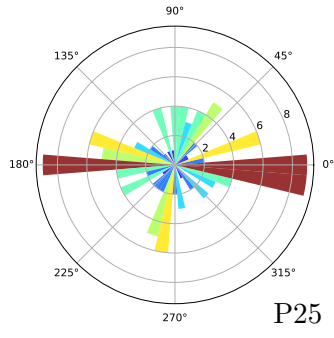
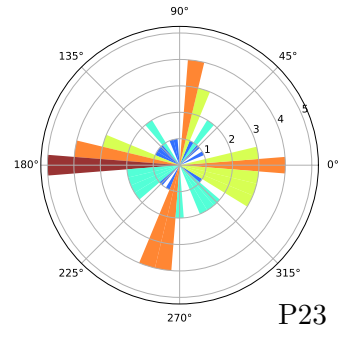
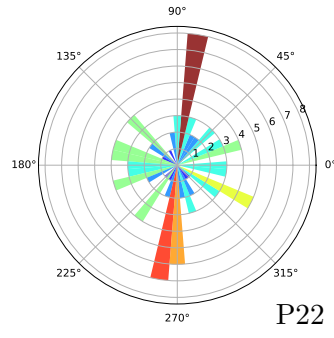
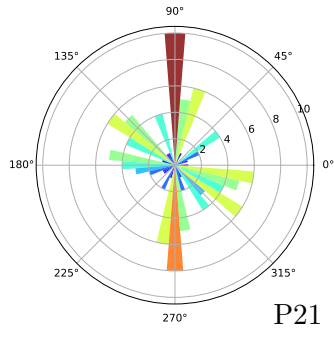
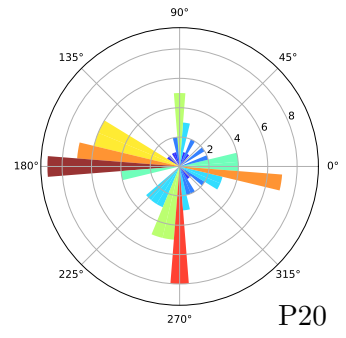
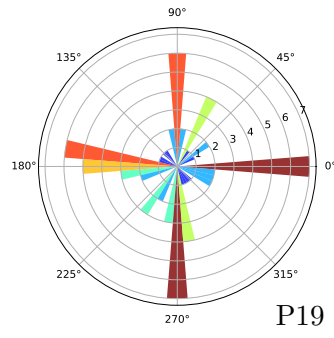
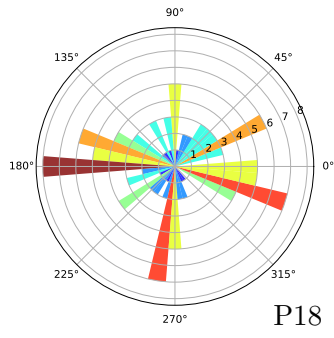
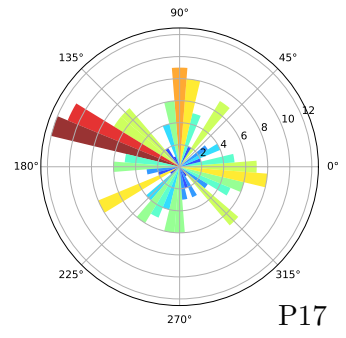
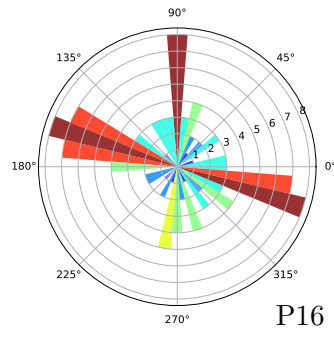
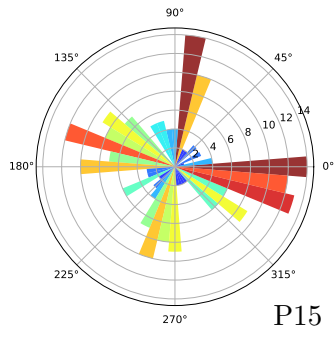
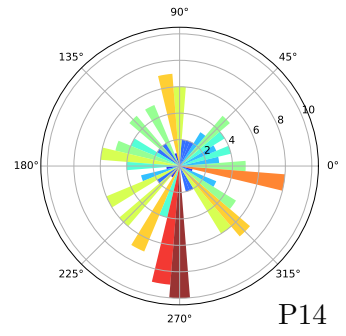
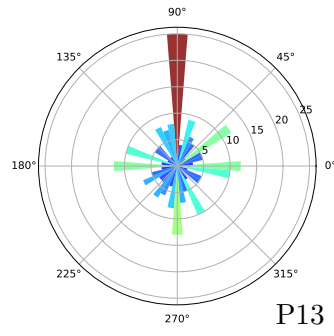
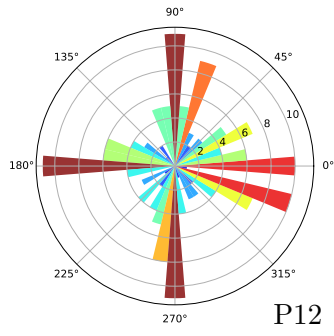
P08



P09

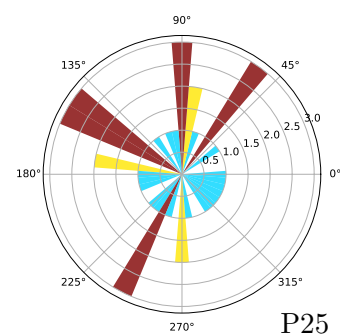
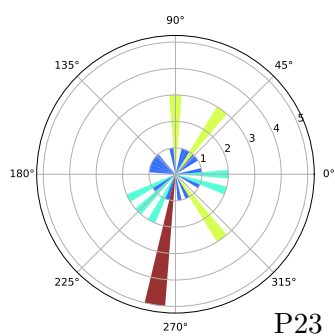
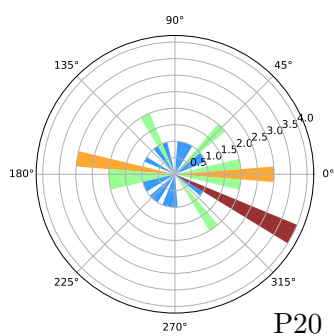


P10

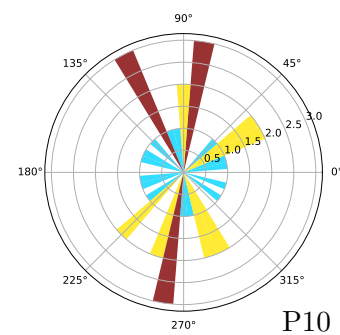
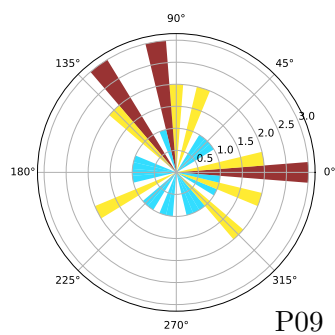
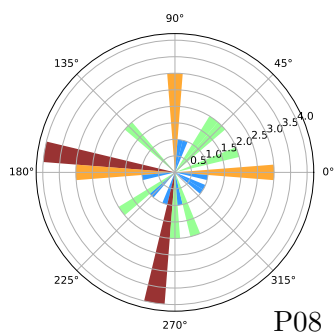
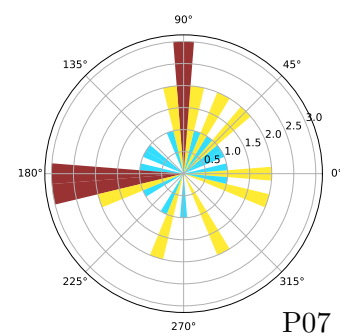
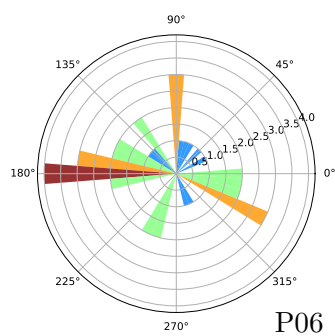
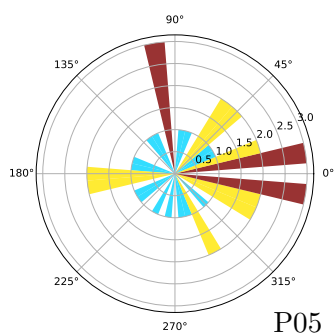
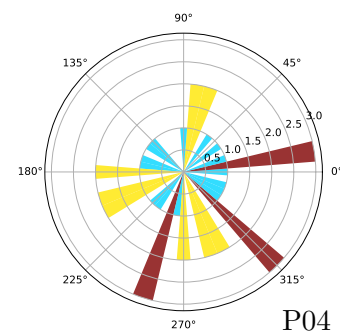
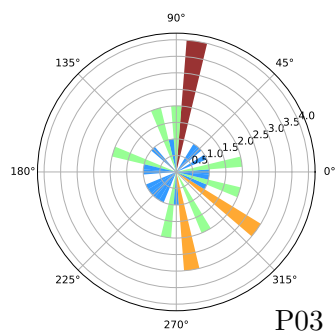
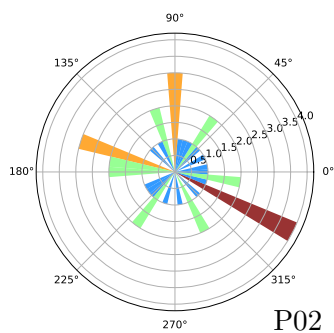


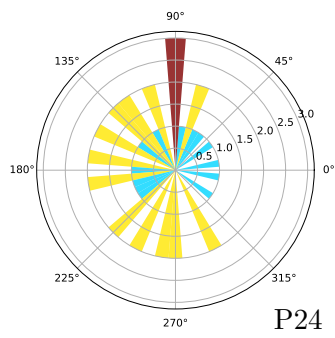
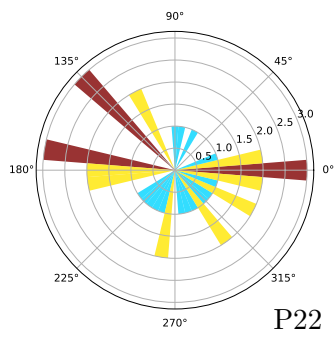
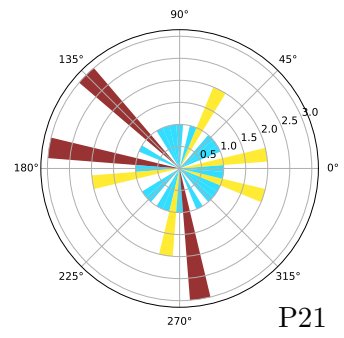
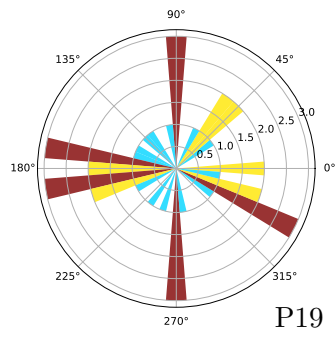
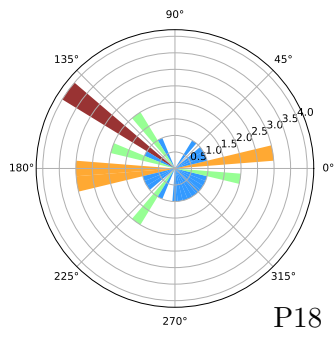
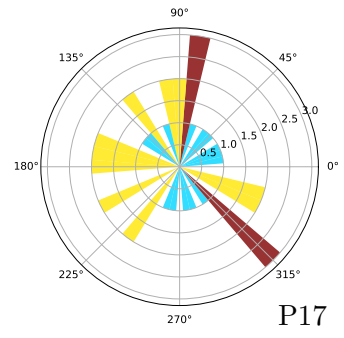
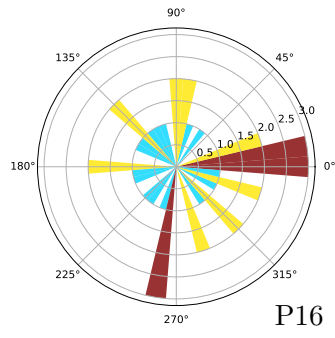
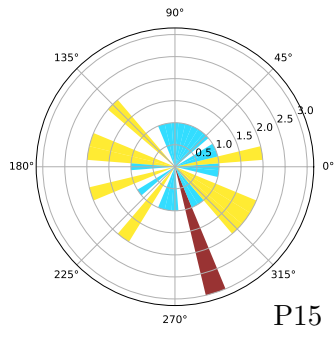
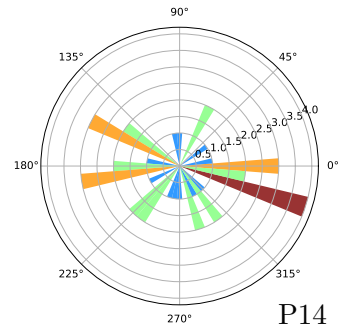
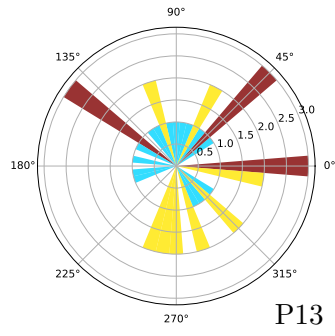
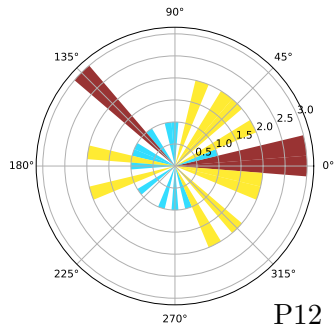
## A.1.17 Šíp, prvních čtyřicet sakád

Správně



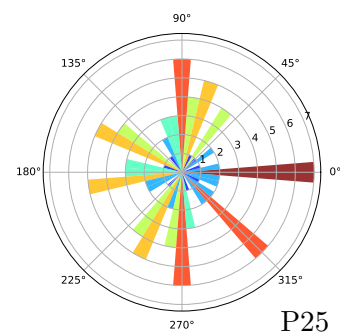
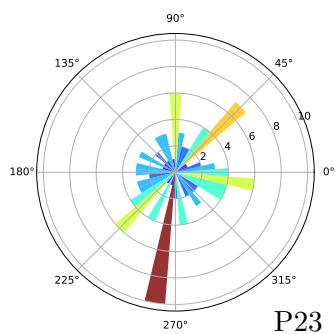
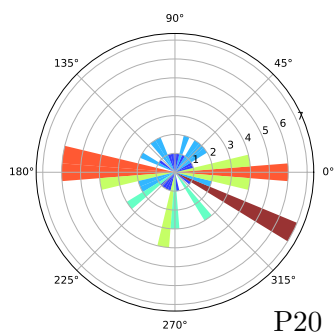
Špatně





## A.1.18 Šíp, všechny sakády

Správně



Špatně

