

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
DATORIKAS FAKULTĀTE

**CILVĒKA KUSTĪBU NOVĒROŠANA, IZMANTOJOT  
INERCIĀLOS SENSORUS**  
BAKALaura DARBS

Autors: **Pauls Austris Akmentiņš**

Studenta apliecības Nr.: pa16005

Darba vadītājs: Mg.sc.ing. Juris Ormanis

RĪGA 2020

## ANOTĀCIJA

Cilvēka kustību novērošana, izmantojot inerciālos sensorus, mūsdienas ir ļoti populāra pētniecības metode, ko pielieto medicīnā, rehabilitācijā, sportā un citās nozarēs. Darbā tika izpētītas tehnoloģiskās iespējas, lai veiktu cilvēka kustību novērošanu, kā arī esošie pielietojumi cilvēka kustību novērošanai hokejā. Darba mērķis ir veikt profesionāla un entuziasta līmeņa hokejistu hokeja metienu kustību novērošanu, lai noteiktu, kura entuziasta hokeja metiens procentuāli visvairāk atbilst profesionāla hokeja metiena sasniegtajam lineārajām paātrinājumam. Novēroto datu apstrādei, tika izmantota “*Python*” programmēšanas valoda, ar kuru tika veiktas visas nepieciešamās darbības, lai veiktu entuziastu un profesionāla hokejista metienu salīdzināšanu.

**Atslēgvārdi:** Cilvēka kustību novērošana, inerciālie sensori, lineārais paātrinājums, “*Python*” programmēšanas valoda.

## ABSTRACT

### HUMAN MOTION CAPTURE USING INERTIAL SENSORS

Nowadays human motion capture using inertial sensors is a very popular research technique applied in medicine, rehabilitation, sport and other industries. The study explored technological options for monitoring human movements, as well as existing applications of inertial sensors in ice-hockey. The aim of the work is to observe professional and amateur hockey players' shots on net, to determine which amateur's shot has the biggest percentage compliance with the professional hockey player's shot. For the processing of the observed data, the programming language of "*Python*" was used, which was used to do all the necessary calculations to compare the shots of professional and amateur hockey players.

**Keywords:** Human motion capture, inertial sensors, linear acceleration, "*Python*" programming language.

# SATURS

Apzīmējumu saraksts.....	1
Ievads.....	2
1. Cilvēka kustību novērošanas tehnoloģijas.....	4
1.1. Ne-optiskā sistēma.....	4
1.2. MEMS inerciālie sensori .....	5
2. Esošie cilvēka kustību novērošanas pielietojumi hokejā.....	11
2.1. Hokeja metiena raksturojošo kustību novērošana .....	11
2.2. Hokeja slidojuma atspērienu novērošana .....	13
2.3. Hokejista aktivitāšu novērošana spēles laikā.....	14
3. Hokeja metienu novērošana un to apstrāde .....	17
3.1. Hokeja metienu veidi.....	17
3.2. Izpildīto hokeja metienu datu ievākšana .....	19
3.3. Novēroto hokeja metienu datu apstrāde .....	23
4. Rezultāti.....	29
4.1. Labākā entuziasta noteikšanas rezultāti.....	29
4.2. Entuziastu metienu grafiskie attēlojumi .....	30
Secinājumi .....	32
Izmantotā literatūra un avoti.....	34
Pielikumi.....	36
1. pielikums .....	36

# APZĪMĒJUMU SARAKSTS

1. tabula

## Apzīmējumu saraksts

Apzīmējums	Paskaidrojums
SI	Starptautiskā mērvienību sistēma
MEMS	Mikro elektromehāniskā sistēma
CSV (Comma-separated values)	Datnes veids, kur vērtības tiek atdalītas ar komatu
“Bluetooth”	Maza darbības rādiusa bezvadu datortīklu standarts
“Arduino”	Atvērtā pirmkoda aparatūras un programmatūras uzņēmums
<i>Pitch</i>	Kustības ap X asi apzīmējums
<i>Roll</i>	Kustības ap Y asi apzīmējums
<i>Yaw</i>	Kustības ap Z asi apzīmējums
Dreifēšana (inerciālā sensora)	Ierīces datu novērošanas nobīde, ārējo apstākļu ietekmes dēļ
Mašīnmācīšanās	Mākslīgā intelekta apakš nozare, kas izmanto datorsistēmas, lai efektīvi veiktu konkrētus uzdevumus, neizmantojot skaidri programmētas instrukcijas
Plauksta metiens (hokejā)	Metiena veids, kur tā tehniskajā izpildījumā netiek pielietots atvēziens
Šķēliens jeb metiens ar atvēzienu (hokejā)	Metiena veids, kur tā tehniskajā izpildījumā tiek pielietots atvēziens
“Python”	Augsta līmeņa programmēšanas valoda
“GitHub”	Repozitoriju uzglabāšanas pakalpojums
“git”	Programmas pirmkoda versiju kontroles sistēma
Programmas pirmkods	Formulējumu virkne, kas rakstīta cilvēkam saprotamā programmēšanas valodā

## IEVADS

Cilvēka kustību novērošana ir process, kurā tiek izmantotas dažādas tehnoloģijas, lai veiktu cilvēka ķermeņa kustību novērošanu un rastu pielietojumu iegūtajiem novērojuma datiem. Automatizēta jeb ar tehnoloģijām veikta cilvēka kustību novērošana mūsdienās ir ļoti aktīva pētniecības joma [1], jo tehnoloģijām attīstoties, parādās jaunas pielietošanas iespējas, kur veikt cilvēku kustību novērošanu, lai pozitīvi ietekmētu dažādu nozaru pētījumu precizitāti un uzlabotu cilvēku dzīves kvalitāti.

Lai veiktu cilvēka kustību novērošanu, galvenokārt, tiek izdalīti 2 tehnoloģiskie risinājumi – optiskā novērošana, kur tiek izmantotas videokameras un ne-optiskā novērošana, kur tiek izmantoti inerciālie sensori. Inerciālie sensori ir ierīces, kas sastāv no dažādām mikro elektromehāniskām sistēmām (MEMS), kas mēra paātrinājumu, leņķisko ātrumu, magnētisko lauku attiecību un citus kustību ietekmējošus atribūtus.

Cilvēka kustību novērošanai ar inerciālajiem sensoriem ir liels potenciāls, jo ar katru gadu izmantotās tehnoloģijas paliek ar vien precīzākas, vieglāk lietojamas un pieejamas, tomēr dažādās sporta nozarēs sportistu kustību novērošana tieši ar inerciālajiem sensoriem nav tik aktuāla, piemēram, hokejā. Hokejs ir komandas spēle, kas tiek aizvadīta uz ledus, kurā sacenšas divas komandas, ar mērķi veikt pēc iespējas vairāk precīzus ripas raidījumus vārtos. Hokeja spēles raksturojošie elementi ir metieni pa vārtiem, spēka paņēmieni, slidošana un citi.

Darba ietvaros tiks izstrādāts eksperiments, kurā, izmantojot inerciālos sensorus, tiks novēroti dažāda profesionalitātes līmeņa hokejistu metieni pa vārtiem. Izmantojot novērotos datus, tiks noteikta entuziasta līmeņa hokejistu metiena atbilstība profesionālam hokeja metienam. Pirms novērojumu veikšanas, darbā tiks apskatītas cilvēka kustību novērošanas tehnoloģiskās iespējas un jau esošie inerciālo sensoru pielietojumi, lai veiktu hokejistu kustību novērošanu, izpildot dažādus hokeja spēles raksturojošus elementus.

### **Darba mērķis:**

Veikt profesionāla un entuziasta līmeņa hokejistu hokeja metienu novērojumu, lai noteiktu, kura entuziasta hokeja metiens procentuāli visvairāk atbilst profesionāla hokeja metiena izpildei.

### **Darba uzdevumi:**

- Izpētīt cilvēka kustību novērošanas tehnoloģiskās iespējas un to darbības principus cilvēka kustību novērošanai.
- Izpētīt esošos kustības novērošanas pielietojumus hokejā

- Novērot profesionāla un entuziasta līmeņa hokejistu metienus pa vārtiem un noteikt, kura entuziasta izdarītie metieni visvairāk atbilst profesionāli izpildītam hokeja metienam

### **Darba struktūra:**

Darbs sastāv no 4 nodaļām un 10 apakšnodaļām, kur:

1. Cilvēka kustību novērošanas tehnoloģijas – ne-optiskas sistēmas darbības princips un inerciālo sensoru darbības padziļināta izpēte.
2. Esošie cilvēka kustību novērošanas pielietojumi hokejā – hokeja metienu, slidojuma un spēka paņēmienu novērošana ar inerciālajiem sensoriem.
3. Hokeja metienu novērošana un to apstrāde - hokeja metienu veidu skaidrojums, datu ievākšanas un apstrādes metodes.
4. Rezultāti – labākā entuziasta noteikšanas rezultāti un entuziastu attiecīgo metienu veidu grafiskie attēlojumi.

# 1. CILVĒKA KUSTĪBU NOVĒROŠANAS TEHNOLOĢIJAS

Pēdējās desmitgades laikā vajadzība pēc kvalitatīvas cilvēka kustību novērošanas ir būtiski palielinājusies, jo ir parādījusās interese no jaunām nozarēm, kurās līdz šim netika izmantotas inerciālo kustību mērīšanas tehnoloģijas. Pastāv dažādas metodes, kā tiek novērota cilvēku kustība. Cilvēku kustību novērošanas tehnoloģiskās iespējas, galvenokārt, iedalās 2 sistēmu veidos - optiskajās sistēmās un ne-optiskajās sistēmās. Optiskās sistēmas darbības princips tiek balstītas uz videokamerām, kuras veic videoierakstu, koncentrējoties uz objektu, uz kura ir piestiprināti gaismas atstarojoši marķieri. Ne-optiskas sistēmas darbība, galvenokārt, balstās uz trīs veida sensoriem [2], kur viens no tiem ir inerciālais sensors, kas nozīmē, ka tieši šāda veida sistēmas darbības princips būtu jāapskata, lai saprastu, kā iespējams izmantot inerciālos sensorus, lai veiktu novērojumus.

## 1.1. Ne-optiskā sistēma

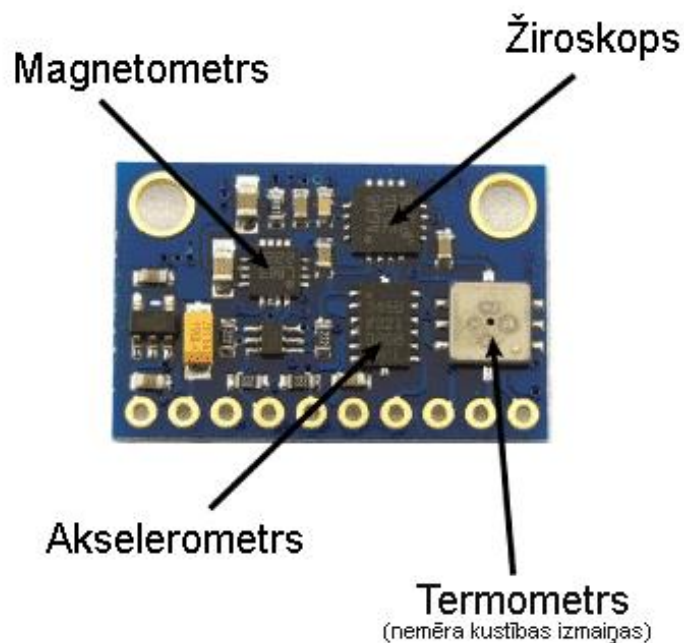
Cilvēku kustību novērošana ar ne-optiskajām sistēmām, galvenokārt, tiek veikta ar 3 veida sensoriem - inerciālie sensori, mehāniskie sensori un magnētiskie sensori. Tā kā bakalaura darbs paredz kustību novērošanu ar inerciālajiem sensoriem, tad ne-optiskās sistēmas darbība ar citiem sensoriem netiks apskatīta. Inerciālie sensori ir mazas, pārnēsājamas un lētas elektromehāniskas ierīces, kas mēra un ziņo par dažādām inerciālo kustību izmaiņām. Šīs ierīces pārsvarā sastāv no 3 mikro elektromehāniskā sistēmām (MEMS) jeb inerciālo kustību mērītājiem – akselerometra, žiroskopa un magnetometra. Lai veiktu kvalitatīvu pilna cilvēka ķermeņa kustību novērošanu ir nepieciešami aptuveni 14 līdz 17 inerciālie sensori [3], kuri tiek izvietoti uz cilvēka ķermeņa, kas ievāc datus par cilvēka ķermeņa daļu kustības paātrinājumu, leņķiskajām ātruma izmaiņām un magnētisko lauku ietekmi. Mūsdienās kustības novērošanai tiek izmantoti bezvadu inerciālo sensoru tīkli (skatīt 1.2.1. att.), kas līdzīgi kā optiskajām sistēmām, tiek piestiprināti uz cilvēka ķermeņa daļām un nerada diskomfortu, veicot novērojamās kustības. Sensoru novērotie dati tiek sūtīti uz datu pārraidīšanas ierīci, kura tālāk tos nosūta uz datoru. Cilvēka kustību novērošana ar inerciālajiem sensoriem tiek izmantota vairākās nozarēs, piemēram, medicīnā, rehabilitācijā, sportā un citās. Lai, varētu veikt novērojumus ar inerciālajiem sensoriem, būtu jāsaprot, kādi dati tiek novēroti ar katru no mērīšanas vienībām, tāpēc darba turpinājumā tiks apskatīti akselerometra, žiroskopa un magnetometra darbības principi.



1.2.1. att. Inerciālo sensoru izvietojums uz cilvēka ķermeņa [4]

## 1.2. MEMS inerciālie sensori

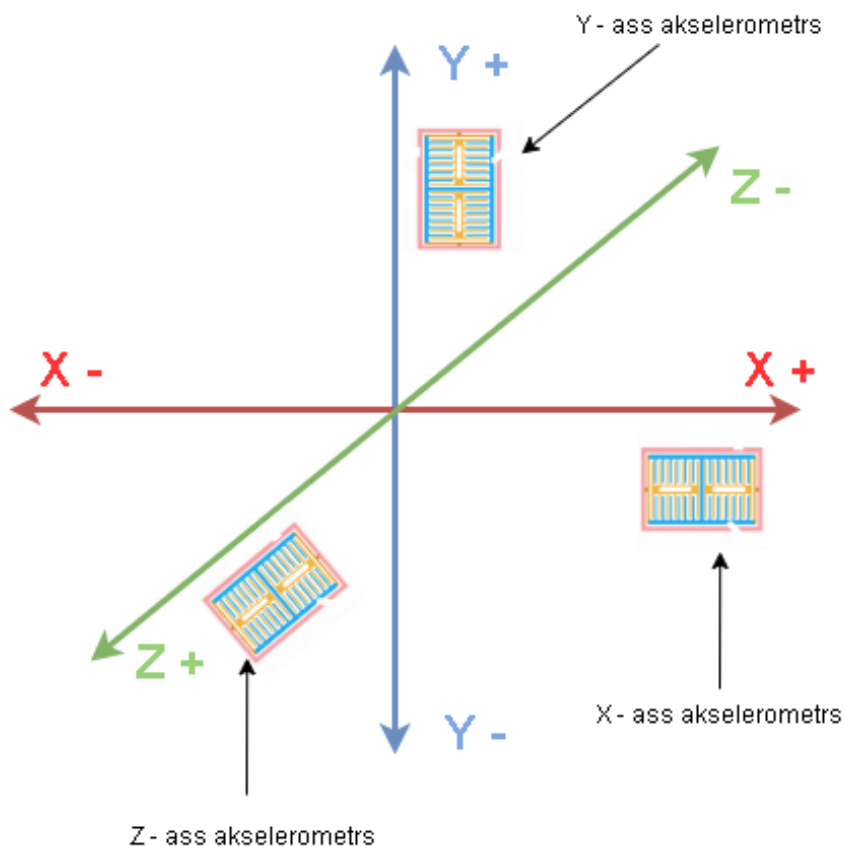
Kā jau tika minēts, inerciālie sensori, galvenokārt, sastāv no 3 elektroniskām mērīšanas iekārtām – akselerometra, žiroskopa un magnetometra. Attēlā (skatīt 1.4.1. att.) kā inerciālā sensora piemērs ir redzams “Arduino” uzņēmuma ražots inerciālais sensors “GY80”, kas mēra paātrinājumu, leņķiskās izmaiņas, kustības virzienu, temperatūras un iegūtos datus atgriež katru savā mērvienību sistēmā, kur akselerometra, žiroskopa un magnetometra tiek iegūti dati no 9 kustību izmaiņu X, Y un Z asīm.



1.4.1. att. Elektronisko mērīšanas ierīču izvietojums uz inerciālā sensora [5]

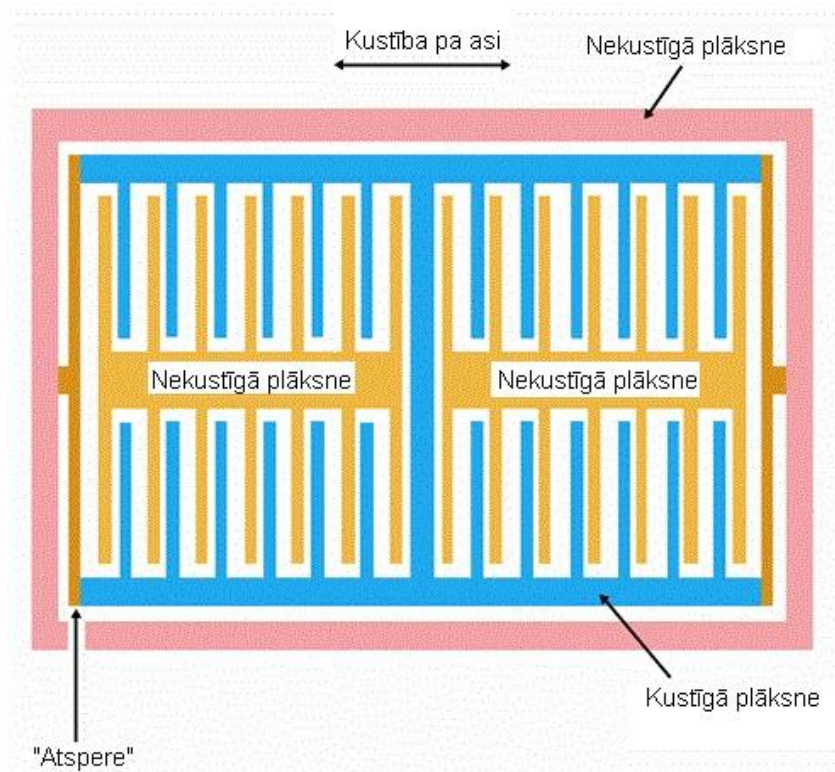
### 1.2.1. Akselerometrs

Akselerometrs ir ierīce, kas mēra objekta paātrinājumu. SI mērvienību sistēmā paātrinājuma mērvienība ir metrs uz sekundi kvadrātā ( $\frac{m}{s^2}$ ). Tas sastāv no 3 izvadēm (skatīt 1.2.1.1. attēlu) – X, Y un Z, kur katra izvade atgriež skalāru vērtību atkarībā no 6 novietojuma izmaiņām – X un -X, Y un -Y, Z un -Z. Orientācijas izmaiņas X, Y un Z kustības virzienos relatīvi no inerciāla sensora paliek konstantas jeb nemainīgas, ja konkrētajā virzienā sensors nekustas. Akselerometra mērvienības tiek var tikt izteiktas gan kā gravitācijas spēks jeb g-spēks (g), kas ir vienāds ar Zemes pievilkšanas spēku ( $\sim 9,8\frac{m}{s^2}$ ), gan kā SI mērvienību sistēmas paātrinājuma mērvienība ( $\frac{m}{s^2}$ ). Akselerometrs miera stāvoklī atgriež vērtību, kas ir 1 g (standarta gravitācija), kas ir vienāds ar aptuveno Zemes gravitācijas spēku, jo, lai novērotu kāda objekta precīzu paātrinājumu, ir jāņem vērā tas, ka uz to iedarbojas arī Zemes gravitācijas spēku. Tātad, lai precīzi novērotu kāda objekta paātrinājumu, piemēram, kā tas tiek veikts dažādās navigācijas sistēmās, nepieciešams veikt akselerometra kalibrāciju miera stāvoklī, jo Zemes pievilkšanas spēks, lai gan ļoti nedaudz, bet atšķiras dažādās vietās uz Zemes.



1.2.1.1. att. Akselerometra vispārīgs paātrinājuma mērīšanas virzienu attēlojums

Akselerometrs, kas tiek lietots inerciālajos sensoros, ir mikro elektromehāniska sistēma (MEMS), kas mēra paātrinājumu. Tā kā šī mērīšanas ierīce ir elektromehāniska, tā pamatā balstās uz kapacitātes izmaiņām, reaģējot uz mērāmā objekta paātrinājumu [6]. Elektromehāniskā akselerometrā izmanto 2 plāksnes, kur viena ir statiska jeb nekustīga (attēlā 1.2.1.2. redzams kā “Nekustīgā plāksne”) un tā paredzēta, lai varētu veikt paātrinājuma novērtējumu atkarībā no otras plāksnes. Otrai plāksnei (attēlā 1.2.1.2. redzams kā “Kustīgā plāksne”) ir sava masa, kas piestiprināta uz “atsperēm” (attēlā 1.2.1.2. redzams kā “Atspere”) abos galos, kur atkarīgi no pielietotā paātrinājuma tā kustas uz priekšu un atpakaļ, un tādējādi starp šīm plāksnēm mainās kapacitāte un tiek piegādāts sprieguma signāls, kas ir proporcionāls objekta paātrinājumam noteiktā virzienā. MEMS akselerometrs ir salīdzinoši jūtīgs uz cilvēka kustībām, jo mazākais paātrinājums veido kapacitātes izmaiņas, tāpēc no sensora iegūtajiem datiem bieži vien ir jāveic nederīgo datu izmešana, lai dati būtu kvalitatīvi un būtu iespējams rast tiem pielietojumu dažādās nozarēs, kur augsta precizitāte ir viens no galvenajiem faktoriem.

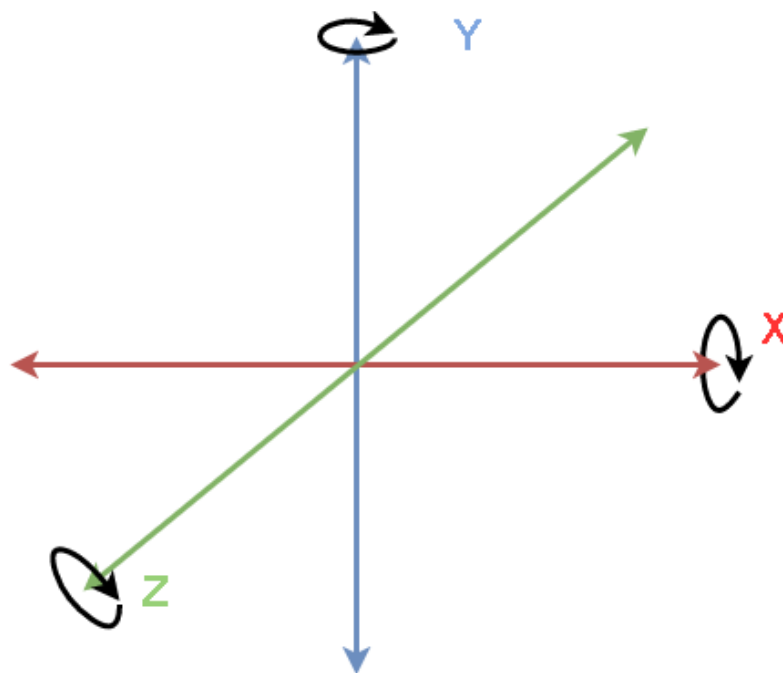


1.2.1.2. att. MEMS akselerometra konceptuālais modelis [7]

## 1.2.2. Žiroskops

Žiroskops ir ierīce, kas mēra objekta kustības leņķiskā ātruma izmaiņas ap kādu konkrētu asi. SI mērvienību sistēmā leņķiskās ātruma izmaiņas mērvienība ir radiāni pret sekundi ( $\frac{rad}{sec}$ ). Tāpat

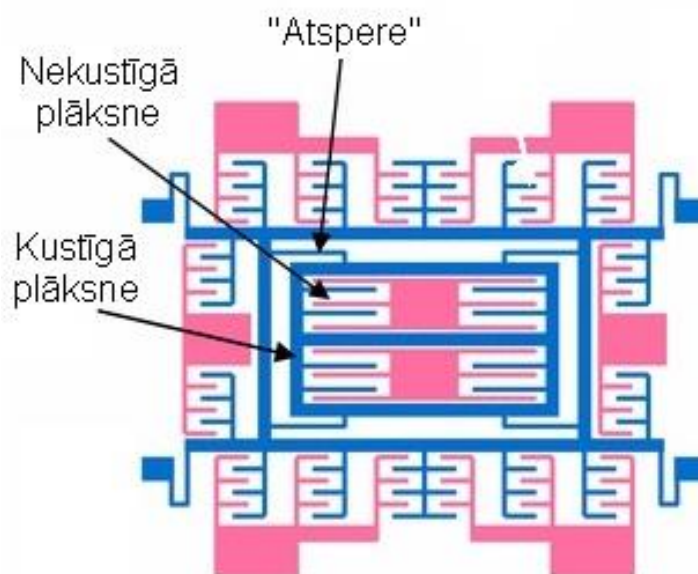
kā akselerometrs, arī žiroskops izvada 3 vērtības, kas mērāmas leņķiskajā ātruma izmaiņā ap X, Y un Z asīm (skatīt 1.2.2.1. att.). Leņķiskās ātruma izmaiņas ap X, Y un Z asīm relatīvi no inerciāla sensora paliek konstantas jeb nemainīgas, ja ap konkrēto asi objekts neveic nekādu rotāciju. Piemēram, ja lidmašīna veic manevrēšanu, kur viens spārns paceļas augstāk un otrs zemāk, tad leņķiskās ātruma izmaiņas tiek novērotas ap Y asi, ja lidmašīna veic pacelšanos vai nolaišanos, tad leņķiskās ātruma izmaiņas tiek novērotas ap X asi, un visbeidzot, ja lidmašīnas veic kustību sāniski, tad leņķiskās ātruma izmaiņas tiek novērotas ap Z asi. Žiroskopa leņķiskās ātruma izmaiņas ap asīm, kā tika pieminēts piemērā par lidmašīnu, tiek apzīmētas arī kā leņķiskās ātruma izmaiņas ap “pitch” jeb X asi, “roll” jeb Y asi un “yaw” jeb Z asi.



#### 1.2.2.1. att. Žiroskopa vispārīgs rotācijas novērošanas attēlojums

Žiroskops, kas tiek izmantots inerciālajos sensoros, līdzīgi kā akselerometrs, ir mikro elektromehāniska sistēma (MEMS). Tā kā šī ierīce arī ir elektromehāniska, tā pamatā balstās uz kapacitātes izmaiņām atkarībā no objekta novietojuma leņķiskajām izmaiņām. MEMS žiroskopa darbības princips ir arī sastāv no 2 galvenajām plāksnēm – nekustīgās un kustīgās plāksnes. Nekustīgā plāksne (attēlā 1.2.2.2. redzams kā “Nekustīgā plāksne”) ir paredzēta, lai varētu novērot leņķisko izmaiņu atkarībā no kustīgās plāksnes. Kustīgā plāksne (attēlā 1.2.2.2. redzams kā “Kustīgā plāksne”) žiroskopā darbības laikā visu laiku kustās perpendikulāri mērāmajai asij, tā ir “iekarināta atsperēs” (attēlā 1.2.2.2. redzams kā “Nekustīgā plāksne”) un tai ir sava masa. Objekta kustības laikā, ja mainās leņķiskais novietojums, kustīgā plāksne kustās 360 grādu rādiusā un veidojas kapacitātes izmaiņas starp abām plāksnēm, kas kā sprieguma signāls tiek nodots ierīcei,

kas to apstrādā un atgriež leņķisko novietojumu [8]. Žiroskopa iegūtie dati ar laiku sāk lineāri pieaugt, jo rodas dreifēšana, ko izraisa līdzstrāvas nobīdes [9], tāpēc, lai precīzāk varētu veikt objekta kustības novērošanu, tiek kombinēti akselerometra un žiroskopa iegūtie dati.



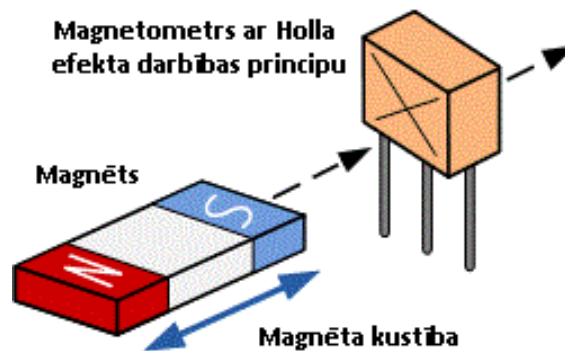
1.4.2.2. att. MEMS žiroskopa konceptuālais modelis [10]

### 1.2.3. Magnetometrs

Magnetometrs ir ierīce, kas nosaka un novēro magnētisko lauku ietekmi uz objektu, pie kā ir piestiprināts magnetometrs. To darbības princips, nosakot un novērojot magnētiskos laukus, iedalās 2 veidos – Holla efekts (*"Hall effect"*) vai magnētiskā pretestība. Aptuveni 90% MEMS sensori izmanto Holla efekta darbības principu savos magnetometros [11], kas novēro elektriskās strāvas plūsmas izmaiņu atkarība no magnētiskajiem laukiem, kas to ietekmē. Ar Holla efektu iespējams novērot sprieguma izmaiņas, kas ļauj noteikt magnētiskā lauka stiprumu un tādējādi iespējams pateikt, no kuras puses magnētiskā lauka ietekme ir spēcīgāka. Savukārt magnētisko lauku noteikšana izmantojot magnētiskās pretestības izmanto metālus, kas ir jūtīgi pret magnētiskajiem laukiem. Tātad, kad šie metāli saskarās ar magnētiskajiem laukiem, rodas magnētiskā pretestība, kas ļauj magnetometram novērot un noteikt magnētiskos laukus. Arī MEMS magnetometri paredz kustību pa 3 asīm – X, Y un Z, kas ļauj noteikt kustības virzienu. Lai noteiktu kustības virziena debespuses, nepieciešamas veikt magnetometra kalibrāciju tā, lai, piemēram, ja kustība tiek novērota pa X asi, tad sākotnējā pozīcija jeb nulles pozīcija rādītu uz ziemeļiem, pēc kuras tiktu noteiktas kustības virziena izmaiņas – pagriežot magnetometru pa X asi par 90 grādiem

uz vienu vai otru pusi, attiecīgi kustības virziens būs austrumi vai rietumi, savukārt pagriežot magnetometru par 180 grādiem, kas ir pretēji ziemeļiem, magnetometrs norādītu uz dienvidiem.

Attēlā (skatīt 1.2.3.1. att.) iespējams redzēt, kā notiek magnētiskā lauka novērošana ar magnetometru, kas darbojas pēc Holla efekta principa. Magnētiskais lauks (attēlā “Magnēts”) tiek novietots perpendikulāri attiecībā pret sensoru. Jo tuvāk magnētiskais lauks tiek novietots sensoram, jo lielāks tiek izvadīts signāls jeb rodas lielāks spriegums, kas nozīmē, ka magnetometrs atrodas tuvāk magnēta dienvidu polam (attēlā “S”), savukārt, ja tas tiktu apgriezts otrādāk, tad spriegums būtu pretējs, kas nozīmētu, ka tas atrodas tuvāk magnēta ziemeļu polam (attēlā “N”).



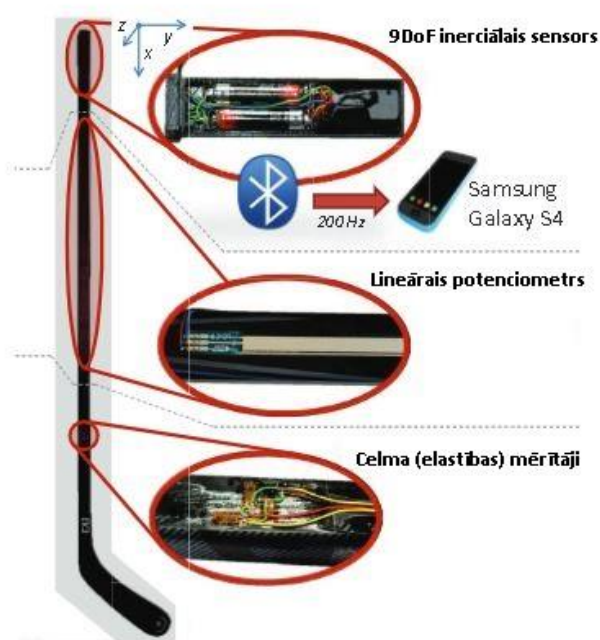
1.2.3.1. att. Magnetometra darbība pēc Holla efekta principa [12]

## 2. ESOŠIE CILVĒKA KUSTĪBU NOVĒROŠANAS PIELIETOJUMI HOKEJĀ

Kā jau tika minēts 1. nodaļā par tehnoloģijām, pēdējā desmitgadē vajadzība pēc cilvēka kustību novērošanas ir būtiski palielinājusies [23], jo ar katru gadu tehnoloģiskās iespējas attīstās un parādās daudz jaunas nozares un veidi, kā tās pielietot. Nodaļā tiks apskatīti jau esošie pielietojumi, kur tiek izmantoti inerciālie sensori, lai veiktu hokeja dažādo spēles elementu kustību novērošanu, piemēram, metienu pa vārtiem, slidojuma un spēka paņēmieni novērošanu.

### 2.1. Hokeja metiena raksturojošo kustību novērošana

Viens no esošajiem pielietojumiem, lai veiktu hokeja metiena pa vārtiem novērošanu tika piedāvāts 2015. gadā, kur Šveices pētnieku komanda izveidoja hokeja nūjas prototipu, kas ir aprīkots ar inerciālajiem sensoriem un “Bluetooth Smart” datu pārraidi bezvadu tīklā uz viedtālruni [13]. Hokeja nūjas augšdaļā tika piestiprināts “Bosch Sensortech BNO055” inerciālais sensors, kas tika ievietots speciāli izveidotā plastmasa kastītē, lai to pasargātu no iespējamajiem triecieniem hokeja metienu novērošanas laikā. Vēl hokeja nūjas ārējā daļā tika piestiprināti divi spiedienjūtīgi lineārie potenciometri. Ar šiem hokeja nūjas sensoriem, pētnieku komanda varēja novērot hokejista roku izvietojumu uz nūjas. Vēl uz hokeja nūjas apakšējās daļas tika pielīmēti 4 celma (nūjas kāta elastības) mērītāji, kas pētnieku komandai ļāva novērot nūjas elastību, kas rodas izpildot hokeja metienus. Attēlā (skatīt 2.1.1. att.) iespējams redzēt, kā izskatās izveidotais ar sensoriem aprīkotā hokeja nūja metienu novērošanai.



2.1.1. att. Hokeja nūjas prototips metienu novērošanai [13]

Novērotajos hokeja metienu datos tika veikta metiena veida noteikšana (plauksta metiens vai metiens ar atvēzienu), kur tika izmantots metiena klasifikācijas algoritms, kas datos atrod hokeja nūjas novirzes maksimumus (pīķus), lai noteiktu, ka ir izdarīts hokeja metiens. Lai klasificētu, kāds ir bijis metiena veids, tika izmantoti nūjas kustības dati tieši pirms nūjas novirzes maksimuma. Ja pirms hokeja nūjas novirzes maksimuma tika novērots atvēziens, tad metiens tika klasificēts kā metiens ar atvēzienu, ja netika novērots, tad tas tika klasificēts kā plauksta metiens. Pēc metienu noteikšanas un klasificēšanas, no katra metiena novērotajiem datiem tika “izvilkti” konkrēta metiena veida raksturojoši novērojumi – hokeja nūjas maksimālā, minimālā un vidējā leņķiskā ātruma izmaiņas, nūjas sasniegtā paātrinājuma izmaiņas un to novērotie laika raksturojumi, piemēram, laika daudzums starp maksimālo atvēziena punktu un hokeja nūjas kontaktu ar ledus virsmu.

Lai pielietotu šādu hokeja metienu novērošanu un to apstrādi, tika izveidots vēl viens hokeja nūjas prototips, lai hokeja metienus var veikt hokejisti, kas spēlē ar nūjas izliekumu uz labo pusi un kreiso pusi. Tālāk tika veikts 11 entuziasta līmeņa hokejistu un 8 profesionālu hokejistu metienu novērojumi. Novērotajiem datiem tika pielietots hokeja metienu klasificēšanas algoritms, kas no izdarītajiem 100 metieniem spēja noteikt katra metiena veidu ar 100% precizitāti. Lai identificētu galvenās metiena raksturojošās atšķirības starp entuziasta un profesionāla metieniem, tika pielietots SFS (*Sequential Feature Selector*) algoritms [14]. Pēc SFS algoritma metiena ar atvēzienu datu izvērtēšanas, galvenās raksturojošās atšķirības starp entuziastu un profesionāli bija metiena atvēziena ilgums un nūjas liekuma maksimālā sasniegtā vērtība. SFS algoritms tika pielietots arī plauksta metiena datiem, kur galvenās raksturojošās atšķirības starp entuziastu un profesionāli nūjas satvēriena apakšējās rokas novietojums un minimālās, maksimālās leņķiskā ātruma izmaiņas ap Y un X asīm. Iegūtās galvenās atšķirības starp entuziasta un profesionāla metieniem tika pārrunātas ar hokeja treneri, kurš atzina, ka hokeja treniņa laikā tieši tam tiek pievērsta vislielākā uzmanība – īss atvēziena ilgums, zems nūjas satvēriena apakšējās rokas novietojums, maksimāli lielāks nūjas liekums metiena izpildīšanas brīdī.

Vēl šajā zinātniskajā rakstā tika aprakstīts, kā, izmantojot inerciālos sensorus, tika veikta slidojuma novērošana un hokejistu aktivitāšu novērošana spēles laikā, bet šo novērojumu veikšana netiks apskatīta, jo bakalaura darbā tiks veikta tieši hokeja metienu novērošana un līdzīgi kā šajā pētījumā, entuziasta un profesionāla metienu salīdzināšana.

## 2.2. Hokeja slidojuma atspērienu novērošana

Tāpat, šī pati pieminētā Šveices pētnieku komanda (skatīt 2.1. apakšnodaļu) veica hokeja slidojuma novērošanu. Hokejā, tehniski pareizā slidojumā, iespējams novērot kāju kustību, kur viena kāja veic atspērienu, lai notiktu kustība uz priekšu, savukārt otra kāja ir saskaņota ar slidošanas virzienu. Lai izpildītu pēc iespējas pareizāku un ātrāku slidojumu, patērētajam laikam starp kāju atspērieniem jābūt pēc iespējas īsākam un kājai, kas neveic atspērienu, jā saglabā pēc iespējas taisnāks slidošanas virziens. Biežāk pielietotākais slidojuma bremsēšanas veids tiek izpildīts, kur hokejists abu kāju slidošanas virzienu nomaina ortogonāli slidošanas virzienam. Balstoties uz nedefinētajam hokeja slidojuma tehniskajām īpašībām, Šveices pētnieku komanda izstrādāja pētījumu, kurā tiek veikta pareiza slidojuma atpazīšana un tā analīze, izmantojot inerciālos sensorus.

Lai veiktu slidojuma novērojumus, katra hokeja slidas tika aprīkotas ar MEMS inerciālo sensoru, kas tika piestiprināts virs katras slidas šņorēm. Pētnieku komandas izveidotā “*SkateTracker*” sistēma pilda divus mērķus – tā veic slidojuma kustību paātrinājuma un leņķiskā ātruma novērošanu, kā arī novērotajos datos tiek atpazītas slidojuma raksturojošas vienības, piemēram, laika parametri, kāju maksimālie paātrinājumi veicot slidojumu un kājas pēdas orientācija noteiktos slidojuma brīžos.

“*SkateTracker*” sistēmā tika implementēti divi standarta mašīnmācīšanās algoritmi, kas veic slidojumā izpildīto kustību atpazīšanu – slidojumā izpildīto kustību klasifikācija un slidojuma kustību salīdzināšana ar slidojuma datu paraugiem. Vēl “*SkateTracker*” sistēmā tika implementēts LCSS (*Longest Common Subsequence Problem*) algoritms, lai aprēķinātu līdzības starp “pareiza” slidojuma paraugiem un testa paraugiem. Lai optimizētu sistēmas darbību, slidojuma novēroto datu apstrāde tika iedalīta 3 kategorijās. Īso aktivitāšu kategorijā tika apstrādāti slidojuma datos novērotie pagriezieni, bremsēšana un palēcieni. Garo aktivitāšu kategorijā tika apstrādāti slidojuma datos novērotie īsie atspēriena soļi un atmuguriska slidojuma atspēriena soļi, Stipro aktivitāšu kategorijā tika apstrādāti slidojuma datos novērotie lielākā paātrinājuma (ātras slidošanas) atspēriena soļi.

Lai veiktu slidojuma novērtēšanas algoritma optimizāciju, tika veikti testa novērojumi, kurā piedalījās dažāda profesionalitātes līmeņa hokejisti. Uz novērojamā hokejista labās slidas tika piestiprināts MEMS inerciālais sensors, un katram no hokejistiem bija jānoslido 3 hokeja laukuma apli. Lai algoritms īso aktivitāšu kategorijas atpazīšana neveiktu salīdzinājumus ar datiem starp slidojuma atspērieniem, LCSS algoritma parametros tika uzstādīta konstanta vērtība, lai algoritms

apstrādātu tikai tos datus, kuri pārsniedz šo paātrinājuma sliekšni. Tā kā daži no hokejistiem veica pagriezienus un bremzēšanu pulksteņrādītāja virzienā, bet daži pretējā virzienā, šie novērotie dati tika sadalīti virzienu apakšklasēs, lai algoritma kustību klasifikācija un salīdzināšana ar paraugiem tiktu veikta ar savstarpēji vienāda virziena datiem. Rezultātos tika novērots, ka galvenās kļūdas tiek pieļautas hokejistiem veicot ātru slidojumu (slidojums, kurā novērots salīdzinoši mazākais laiks starp atspērieniem), kur kāja, kas neveic atspērienu, neatrodas precīzi taisi atkarībā uz slidojuma virziena.

### **2.3. Hokejista aktivitāšu novērošana spēles laikā**

Tāpat kā iepriekšējie divi (skatīt 2.1. un 2.2. apakšnodaļas) inerciālo sensoru pielietojumi, lai veiktu hokeja metiena un slidojuma novērošanu, arī hokeja spēles aktivitāšu novērošanu un analīzi veica tā pati Šveices pētnieku komanda. Profesionālā līmenī, hokeju spēles aktivitāšu novērošana ir objektīvs veids, kā noteikt hokejista sniegumu. Mūsdienās bieži vien šāda veida novērošanu veic hokeja komandas galvenā trenera palīgs, kas pieraksta katra spēlētāja izdarītos metienus, spēka paņēmienus, piespēles, vārtu guvumus un citus hokeja spēles skaitliski novērtējamus elementus. Tomēr, lai precīzi veiktu katra spēlētāja spēles sniegumu, bieži vien nepietiek ar vienu cilvēku, kas veic šos novērojumus, jo hokeja spēles ritms ir dinamisks un šāda veida novērošana nav efektīva, jo ir salīdzinoši liela iespēja palaist garām kādu hokejista metienu, piespēli vai kādu citu izpildīto hokeja spēles elementu. Kā arī jauniešu hokeja komandās nav tādi resursi, lai būtu iespējams veikt šādus statistiskus novērojumus, kur visu veic viens treneris un bieži vien hokejistu spēles sniegums var būt subjektīvs. Lai šo situāciju mainītu, Šveices pētnieku komanda piedāvāja izmantot inerciālos sensorus, ko iespējams iestrādāt hokejista aizsargformā, lai novērotu spēles laikā izdarītos plaukstas metienus, metienus ar atvēzienu, spēka paņēmienus, kustības un dīkstāves (neatrasnās uz ledus) laiku. Šie minēti hokeja spēles elementi ir arī tie, ko profesionālas hokeja komandās novēru galvenā trenera palīgs. No novērotajiem inerciālo sensoru datiem un hokeja spēles statistikas protokola (tādus veic gandrīz katrā hokeja spēlē, neatkarīgi no līgas līmeņa), izmantojot gūtu vārtu laikus un salīdzinot tos ar inerciāla sensora laiku datiem, būtu iespējams arī noteikt, vai novērotā hokejista izpildītais metiens ir rezultējies vārtu guvumā, vai hokejists ir atradies uz laukuma vārtu guvuma vai zaudējuma laikā.

Līdzīgi kā slidojuma novērošanā, lai veiktu hokeja spēles aktivitāšu novērošanu tika izmantoti inerciālie sensori, kas tika iestrādāti hokejistu aizsargcimdos un krūšu sargā, un inerciālo sensoru iestrādāšana tika veikta tieši šajos aizsargformas elementos, jo tajos ir mazāks inerciālo sensoru sabojāšanas risks. Lai veiktu novēroto spēles aktivitāšu datu analīzi, tika izmantota

aktivitāšu klasificēšanas paraugi, no kā tika iegūti katras aktivitātes veida statistiskie dati, piemēram, cik tika novēroti izdarīto plaukstas metienu daudzums.

Lai veiktu dažādo spēles aktivitāšu klasificēšanu tika izmantot RF (“*Random Forest*”) klasificēšanas algoritms. Algoritma struktūra sastāv no vairākiem “lēmumu” kokiem, piemēram, plauksta metienu koks, kas novērotos datus apstrādā un veic iedalījumu pēc datu līdzības ar jau kokā esošajiem datiem [15]. Izmantojot šo algoritmu, tika izveidoti 2 “lēmumu” koki, kur vienā tika iedalīti īso aktivitāšu novērotie dati (plaukstas metiens, metiens ar atvēzienu, spēka paņēmiens, slidojuma pagriezieni). Otrā kokā tika iedalīti dati, kuros tiek atpazīti laika ilgumi hokejistam atrodoties uz ledus (kustībā) un atrodoties uz rezervistu soliņa (dīkstāvē).

Veicot hokeja spēles aktivitāšu novērojumu, Šveices pētnieku grupa izmantoja “EXLs3 IMU” inerciālos sensorus, kuri, kā jau tika minēts, tika iestrādāti hokejista aizsargformā (skatīt 2.3.1. att.). Iestrādātie inerciālie sensori veica paātrinājuma un leņķiskā ātruma novērošanu ar frekvenci 100Hz un pārraidīja datus uz “Samsung Galaxy SII” viedtālruni, kas arī tika iestrādāts aizsargformā.



2.3.1. att. Inerciālo sensoru iestrāde hokeja aizsargformā [13]

Izmantojot iepriekš minēto sensoru izvietošanu aizsargformā, tika veikta 4 profesionālu hokejistu novērošana, kur tie izpildīja plaukstas metienus, metienus ar atvēzienu, spēka paņēmienus, slidojumu uz priekšu un atmuguriski, spēli ar ripu un bez tās, kā arī tika novērots pavadītais laiks uz rezervistu soliņa (dīkstāve). No novērotajiem datiem, algoritms ar 86% precizitāti spēja atpazīt, vai hokejists atrodas uz ledus vai uz rezervistu soliņa, savukārt pārējos novērotajos datos, katra hokejista atšķirīgo kustību dēļ, algoritms nespēja klasificēt novērotās kustības. Kā gala atziņa par šo novērošanu un datu analīzi bija tāda, ka nepieciešams veikt daudz vairāk katra hokeja spēles elementa novērošanu un tikai tad mēģināt veikt klasificēšanu, lai būtu iespējams atrast vairākas līdzības.

### 3. HOKEJA METIENU NOVĒROŠANA UN TO APSTRĀDE

Hokejā viens no galvenajiem spēles aspektiem ir gūt vārtus, jo tā tiek noskaidrots, kura komanda ir labāka. Nacionālajā hokeja līgā jeb NHL vienas spēles laikā viena no komandām izdara vidēji 30 metienus pa pretinieku vārtiem, kur no tiem, tikai katrs 10 metiens rezultējas vārtu guvumā [16]. Protams, metiena rezultēšanos vārtu guvumā ietekmē arī vārtsarga darbība vārtos, laukuma spēlētāju spēja neļaut izdarīt brīvus metienus, bet, lai palielinātu iespēju gūt vārtus, svarīgi ir izpildīt tāds metienus, kur nūjas satvēriena apakšējā roka, kas visos metienos ir “galvenā” roka, veic pēc iespējas lielāku paātrinājumu uz priekšu. Lai noskaidrotu, kādas ir nūjas satvēriena apakšējās rokas paātrinājuma atšķirības dažāda profesionalitātes līmeņa hokejistiem, tika veikts eksperiments, kurā, izmantojot “*Samsung Galaxy S8*” viedtālrunī iebūvētos inerciālos sensorus, tika novēroti viena profesionāla hokejista metieni un trīs entuziastu līmeņa hokejistu metieni. Izmantojot profesionāļa novērotos datus kā nosacīti “pareiza” metiena datus, tika veikts salīdzinājums starp entuziasta līmeņa hokejistiem, kura metiens ir labāks jeb tuvāks profesionālam līmenim. Kā profesionālais hokejists šim eksperimentam tika izvēlēts 23 gadus vecs hokejists, kurš pārstāv Latvijas hokeja izlases komandu, kā arī spēlē profesionālā līmenī jau 4 gadus un ir aizvadījis šīs sezonas spēlējot Eiropas un Ziemeļamerikas augstākajās līgās. Kā trīs entuziasta līmeņa hokejisti šim eksperimentam tika izvēlēti hokejisti, ar vidējo vecumu aptuveni 20 gadi, kuri ar hokeju ir nodarbojušies vairāk kā piecus gadus un katru gadu piedalās Latvijas augstākas entuziastu līgas divīzijas čempionātā.

#### 3.1. Hokeja metienu veidi

Hokeja eksistē ļoti dažādi metieni pa vārtiem, piemēram, plaukstas metiens, metiens ar atvēzienu, metiens pēc piespēles, uzmetiens un citi, tomēr laika gaitā, hokeja spēlē ir divi metienu veidi, kurus iespējams kategorizēt kā visbiežāk izpildītos – plaukstas metiens un metiens ar atvēzienu. No šiem diviem metieniem, visbiežāk izpildītais metiens hokeja spēlē ir plaukstas metiens, jo tā izpildes laiks ir krietni mazāks nekā metienam ar atvēzienu. Šo abu metienu izpildes kvalitāti nosaka tās rokas darbība, kura atrodas nūjas vidējā daļā jeb apakšējā roka, kas nozīmē, ka tā kontrolē metiena tehnisko izpildījumu un metiena izpildes ātrumu, kas būtu noteicošie faktori, lai metiens būtu veiksmīgs jeb rezultētos vārtu guvumā.

Plaukstas metiens ir hokeja metiena veids, kur, lai izdarītu metienu, nav nepieciešams veikt atvēzienu, jo to izpilda “no vietas”. Lai gan pēc tā nosaukuma var noprast, ka metiena izpildē, galvenokārt, notiek plaukstas darbība, tas ļoti minimālā veidā ietekmē metiena tehnisko

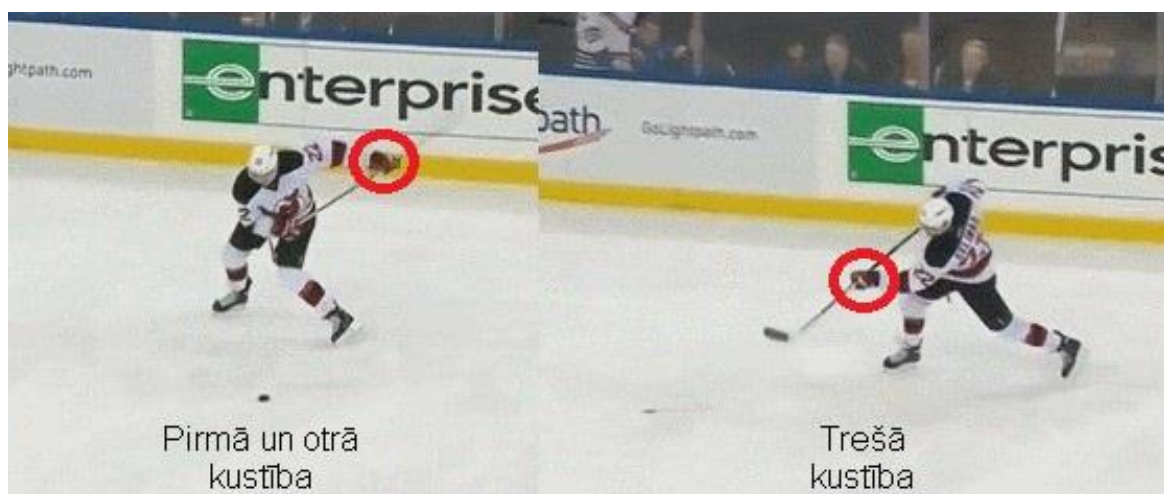
izpildījumu un ātrumu, jo plaukstas kustība šajā metienā nosaka tā precizitāti, kas šajā darbā netiks pētīts. Plaukstas metiena izpildes ātrumu un tehnisko izpildījumu nosaka hokeja nūjas satvēriena apakšējā roka, jo tā veic galveno metiena kustību, kurā veidojas paātrinājums izmaiņas. Plaukstas metiens, galvenokārt, sastāv no 2 kustībām – pirmā kustība ir sagatavot stāju un roku novietojumu uz nūjas metiena izpildei un otrā kustība ir ar pēc iespējas lielāku rokas paātrinājumu virzīt apakšējo roku uz priekšu, no kā rodas ripas pacelšana un tiek izpildīts plaukstas metiens. Attēlā (skatīt 3.1.1. att.) iespējams redzēt, kā notiek plaukstas metiena tehniskais izpildījums un iespējams novērot to, ka nūjas satvēriena apakšējā roka ir noteicošais faktors tam, kāds būs metienā iegūtais ātrums un tehniski pareizi izpildīts, jo otra roka principā metiena izpildīšana nepiedalās, tā vairāk pilda atbalsta funkciju. Tātad, plaukstas metiena izpildē svarīgākā ir apakšējā roka, kurai iespējams novērot paātrinājumu un pēc tā veikt dažāda līmeņa hokejistu metienu salīdzināšanu.



3.1.1. att. Plaukstas metiena tehniskais izpildījums [17]

Otrs populārākais metiena veids hokejā ir metiens ar atvēzienu. Metiens ar atvēzienu ir stiprākais metiena veids hokejā, jo tā tehniskajā izpildījumā paredz nūjas atvēzienu, pēc kura seko sitiens pa ripu, kas ļauj šo metienu padarīt daudz stiprāku par plaukstas metienu, jo paātrinājuma amplitūda un maksimālais sasniegtais rokas paātrinājums ir salīdzinoši lielāks nekā plaukstas metienam. Tā pat kā plaukstas metienā, arī metienā ar atvēzienu noteicošais faktors ir nūjas satvēriena apakšējās rokas darbība, jo augšējā roka gandrīz vispār neveic nekādu kustību. Metienā ar atvēzienu apakšējās rokas darbība ir noteicošais faktors tajā, cik metiens būs spēcīgs un, cik tas tiks ātri izpildīts, un, tas ir svarīgs aspekts, jo hokejā spēlē, līmenim pieaugot, metiena izpildes

laika daudzums samazinās. Metienu ar atvēzienu var izdalīt 3 izpildījuma posmos – sākumā tiek veikta metiena sagatavošana, kur tiek sagatavots ripas novietojums. Tālāk tiek veikts atvēziens uz aizmuguri, no kura pēc tam ir atkarīgs tas, cik liels tiks sasniegts rokas kustības paātrinājums uz priekšu. Visbeidzot ir metiena izpildes beidzamais posms, kur tiek veikta rokas maksimāli ātra kustība uz priekšu, kur iespējams novērot vislielāko paātrinājumu šajā metiena izpildē. Attēlā (skatīt 3.1.2. att.) iespējams redzēt, kā notiek metiena ar atvēzienu tehniskais izpildījums un iespējams novērot to, ka nūjas satvēriena apakšējā roka ir noteicošais faktors tam, cik metiens būs spēcīgs, jo otra roka principā metiena izpildīšana nepiedalās, tā vairāk pilda atbalsta funkciju. Līdzīgi, kā plaukstas metiena izpildē, svarīgākā roka ir apakšējā, kurai iespējams veikt paātrinājuma novērojumu un pēc tā noteikt, kura hokejista metiens ir izpildīts labāk.



### 3.1.2. att. Šķēliena tehniskais izpildījums [18]

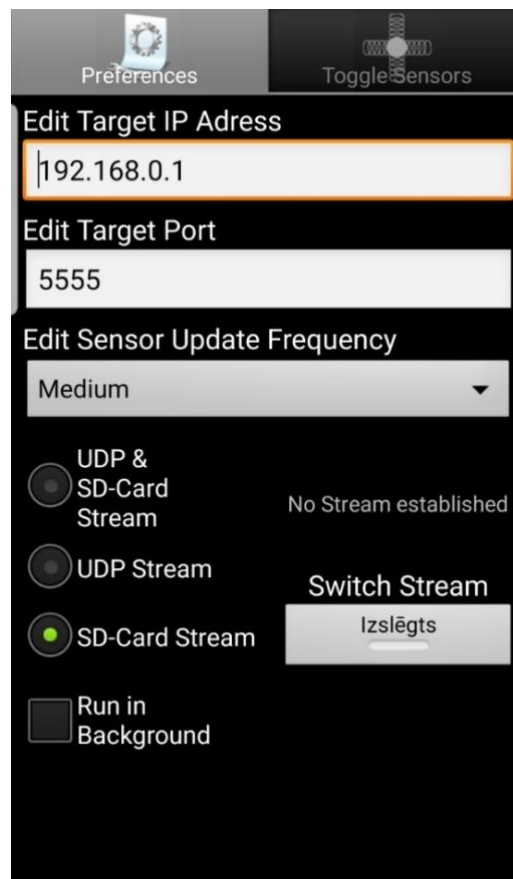
Tā kā abos metienos lielākā paātrinājuma novērošana ir kustībā, kur hokeja nūjas paātrinājums ir paralēli ledus virsmai, tad, lai noteiktu, kura entuziasta līmeņa hokejista metiens ir tuvāk profesionāla hokejista līmenim, tika veikta lineārā paātrinājuma novērošana.

## 3.2. Izpildīto hokeja metienu datu ievākšana

Datu ievākšanai tika izmantots “*Samsung Galaxy S8*” viedtālrunis, kurā ir iebūvēti dažādi MEMS inerciālie sensori – akcelerometrs, barometrs, žiroskops, spiediena sensors un citi [19]. Viedtālruņa akcelerometra darbība ir tāda pati, kā aprakstīta 1. nodaļā (skatīt apakšnodaļu 1.2. MEMS inerciālie sensori). Lai iegūtu datus no viedtālruņa sensoriem, tika izmantotas jau pieejamās “*Google Play Store*” lietotnes. Tika izmēģinātas vairākas lietotnes, piemēram, “*Physics Toolbox Accelerometer*”, “*Physics Toolbox Suite*”, kurās bija iespējams novērot paātrinājumu, bet nebija iespējams iegūt izvades failu, kur dati tiek saprotami grupēti, jo netika norādīti kolonnu nosaukumi,

datu atdalīšanai netika lietots komats, kā datu atdalīšanas mehānisms, kas apgrūtināja šo datu apstrādi. Tika izvēlēta “*IMU+FPS-Stream*” lietotne, kas veic dažādu MEMS sensoru novēroto datu apstrādi, kā arī lietotnē ir iespējams veikt novēroto datu ierakstīšanu *CSV (Comma-separated values)* formāta datnē.

Attēlā (skatīt 3.2.1. att.) var redzēt “*IMU+GPS Stream*” lietotnes galveno ekrānskatu, kurā iespējams uzsākt kustību novērošanas datu ievākšanu, iespējams mainīt, kur ievāktie dati tiek saglabāti, kā arī norādīt sensoru frekvenci, kura šī eksperimenta nolūkiem tika iestatīta uz 60Hz, kas nozīmē, ka katru sekundi tiek novēroti 60 lineārās paātrinājuma vērtības hokejistu metienu izpildē.



3.2.1. att. “*IMU+GPS Stream*” lietotnes galvenais ekrānskats

Attēlā (skatīt 3.2.2. att.) var redzēt “*IMU+GPS Stream*” lietotnes datu atspoguļošanu reālā laikā. Pēc noklusējuma tiek veikta paātrinājuma, leņķiskā ātruma un magnētiskā lauka novērošana, bet šī pētījuma ietvaros svarīgi bija iegūt lineārā paātrinājuma datus, ko šajā lietotnē iespējams atzīmēt un tie tiks ierakstīti atgrieztajā datnē uzreiz pēc visiem noklusējuma datiem. Lai no paātrinājuma iegūtu lineāro paātrinājumu, “*IMU+GPS Stream*” lietotne veic Zemes pievilkšanas spēka atņemšanu no paātrinājuma novērotajām vērtībām, kas izvades failā ļauj iegūt lineāro

paātrinājumu [20], kas aiztaupa laiku, lai pēc tam nebūtu jāveic manuāla lineārā paātrinājuma aprēķināšana.

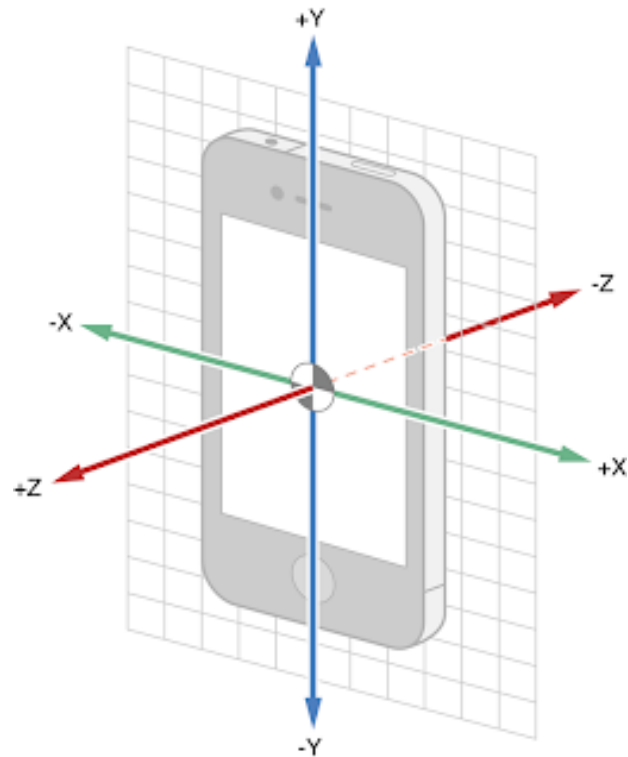
Sensors	X	Y	Z
<input checked="" type="checkbox"/> Accelerometer	-0,261	0,828	9,761
<input checked="" type="checkbox"/> Gyroscope	0,041	0,046	0,033
<input checked="" type="checkbox"/> Magnetic Field	-4,380	-16,140	-45,900
<input type="checkbox"/> GPS Position			
<input type="checkbox"/> Orientation			
<input checked="" type="checkbox"/> Linear Accel.	-0,162	0,048	0,053
<input type="checkbox"/> Gravity			
<input type="checkbox"/> Rotation Vect.			
<input type="checkbox"/> Pressure			
<input type="checkbox"/> Battery Temp.			

Include User-Checked Sensor Data in Stream

### 3.2.2. att. “IMU+GPS Stream” lietotnes novēroto datu atspoguļošanas skats

Izmantojot “Samsung Galaxy S8” viedtālruni un lietotni “IMU+GPS Stream”, tika novēroti iepriekš minētie hokeja metieni (skatīt apakšnodaļu 3.1. Hokeja metienu veidi). Metienu novērošana netika veikta uz ledus, bet gan uz zemes, kur metiens tika izdarīts uz organiskā stikla pamatnes, jo ledus īres izmaksas ir pārāk dārgas priekš šāda eksperimenta nolūkiem, kā arī, ļoti bieži dažādu profesionālu hokeja komandu pārbaudēs, metienu izdarīšana tiek veikta šādos apstākļos. Kā tika minēts nodaļas sākumā, eksperimenta nolūkos tika novēroti 4 hokejistu metieni, kur viens no metienu izpildītājiem ir profesionāls hokejists un pārējie 3 metienu izpildītāji ir entuziastu līmeņa hokejisti. Metienu novērošanai viedtālrunis tika piestiprināts pie attiecīgi nūjas satvēriena apakšējās rokas (ja spēlētāja nūjas satvēriens ir uz kreiso pusi, tad apakšējā roka ir kreisā roka, savukārt ja spēlētāja nūjas satvēriens ir uz labo pusi, tad apakšējā roka ir labā roka) un tam tika izmantota viedtālrunim paredzēta sporta aprobe. Lineārā paātrinājuma novērošana tika veikta visām asīm (skatīt 3.2.3. att.), bet dati, kuri tiks izmantoti, lai salīdzinātu dažādo līmeņu hokejistu metienus, ir Z ass lineārā paātrinājuma dati. Tā kā pētījumā viedtālrunis tika piestiprināts zem

elkoņa, rokas iekšpusē, tad, ja roka kustās uz priekšu un atpakaļ, lineārā paātrinājuma izmaiņas tiek novērotas pa Z asi, tāpēc kustību analīzei un salīdzināšanai tiks izmantotas lineārā paātrinājuma izmaiņas, kas tika novērotas uz Z ass. Lineārā paātrinājuma izmaiņas, kas tika novērotas X un Y asīs, šajā eksperimentā netiks izmantotas.



### 3.2.3. att. Viedtālruna iespējamie kustības virzieni pa asīm [21]

“*IMU+GPS Stream*” lietotne novērotos datus izvada CSV datnes formātā, tomēr tajā netiek precizēti kolonnu nosaukumi, un atgrieztā datne ar novērotajām kustībām ir nesakārtota (skatīt 3.2.4. att.). Datne tiek atgriezti visi noklusējuma dati, kas ir akselerometra, žiroskopa un magnetometra novērotie dati, kā arī vēl tiek atgriezti lietotāja atzīmētie dati, šajā gadījumā lineārā paātrinājuma dati. Apskatot citu lietotnes lietotāju atsauksmes [22] un veicot pāris testa veidīgu datu ievākšanu un manuālu analizēšanu, tika secināts, ka rindas, kuras inicializētas ar “3”, reprezentē akselerometra datus, rindas, kuras inicializētas ar “4”, reprezentē žiroskopa datus, rindas, kuras inicializētas ar “5”, reprezentē magnetometra datus un rindas, kuras inicializētas ar “82”, reprezentē lineārā paātrinājuma datus. Lai tos tālāk apstrādātu un izmantotu, manuāli tika izdzēsti nevajadzīgie dati, lai datnē paliktu tikai lineārā paātrinājuma dati X, Y un Z asīm, kā arī kolonnām tika izveidoti nosaukumi – “acc\_x”, “acc\_y” un “acc\_z”, kas ļauj vieglāk pārvaldīt šo datni, izmantojot kolonnu nosaukumus.

1	3	4.631	6.046	6.517	4	0	-0.006	0.024	5	-29.7	-22.98	-30.12	82	-2.335	2.476	-1.944
2	3	3.821	5.976	6.699	4	0.001	0.014	0.015	5	-30.54	-22.56	-30.24	82	0.333	-0.201	0.298
3	3	3.905	5.983	6.709												
4	3	3.989	5.99	6.625												
5	3	4.025	5.962	6.63	4	0.022	0.042	0.004	5	-30.18	-22.14	-30.84	82	-0.294	-0.208	0.347
6	3	4.135	5.94	6.716												
7	3	3.927	5.919	6.642												
8	3	3.869	5.964	6.625	4	0.021	-0.017	0.021	5	-29.82	-22.38	-31.2	82	-0.31	-0.244	0.297
9	3	4.125	6.046	6.718												
10	3	4.089	6.01	6.682												
11	3	4.065	5.94	6.63	4	0.024	0.066	0.011	5	-30.18	-22.86	-30.54	82	-0.114	-0.125	0.289
12	3	3.953	5.955	6.704												
13	3	3.773	5.919	6.776												
14	3	3.97	5.899	6.735	4	0.045	-0.016	0.019	5	-29.88	-22.56	-30.66	82	-0.401	-0.194	0.343
15	3	4.269	6.048	6.675												
16	3	4.008	6.024	6.771												
17	3	3.73	5.99	6.783	4	0.033	-0.049	-0.002	5	-30.24	-22.68	-31.08	82	-0.125	-0.08	0.303
18	3	3.697	6.055	6.704												
19	3	4.104	6.06	6.699												
20	3	4.305	5.974	6.613	4	-0.001	0.093	-0.002	5	-30.6	-22.68	-30.66	82	-0.015	-0.033	0.212
21	3	3.958	5.983	6.666												
22	3	3.68	6.022	6.764												
23	3	3.69	6.019	6.639	4	0.023	-0.12	-0.001	5	-29.52	-22.74	-30.78	82	-0.405	-0.063	0.248

#### 3.2.4. att. “IMU+GPS Stream” lietotnes atgriezto datu piemērs

### 3.3. Novēroto hokeja metienu datu apstrāde

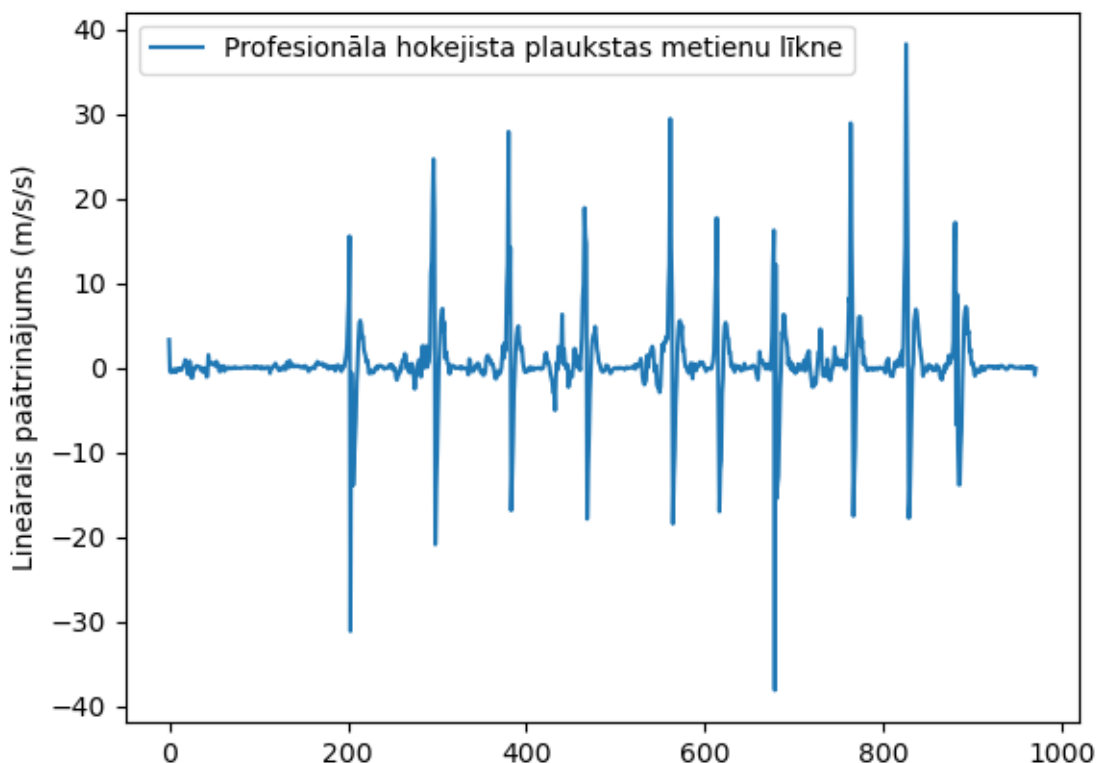
Lai veiktu datu apstrādi, noteiktu labākos katra hokejista metienus, aprēķinātu to vidējās vērtības un savstarpēji salīdzinātu entuziastu metienus pēc tā, kāda ir to procentuāla atbilstība profesionālam līmenim, atrastu labākos metienus no datiem un tos attēlotu grafiskā veidā tika izmantota “Python” programmēšanas valoda un tika lietotas tās pēdējā stabilā versija 3.8.2. Izmantojot “Python” tika izmantotas vēl ārējās bibliotēkas, lai datu apstrādi varētu veikt ar jau eksistējošām funkcijām – “pandas” bibliotēka tika izmantota “IMU+GPS Stream” lietotnes atgriezto CSV datņu apstrādei, “numpy” bibliotēka tika izmantota datu konvertēšanai skaitļu masīvos un to salīdzināšanai, “matplotlib.pyplot” bibliotēka tika izmantota datu grafiskai attēlošanai, “scipy.signal” bibliotēka tika izmantota labāko metienu koordināšu atrašanai.

Sagatavojot manuāli CSV formāta datni, kurā ir kolonnas “acc\_x”, “acc\_y”, “acc\_z”, tiek pielietota funkcija “getData” (skatīt 3.3.1. att.), kurā tiek veikta CSV datnes ielase, izmantojot “pandas” bibliotēku, kur dati tiek ievietoti sarakstos ar attiecīgo kolonnas nosaukumu. Tālāk tiek veikta kolonnas “acc\_z” saraksta konvertācija, lai katrs ielasītais skaitlis būtu reāla skaitļa formātā jeb “float64” un tad šis saraksts tiek ievietots “numpy” tipa skaitļu masīvā, ko funkcija arī atgriež.

```
def getData(filename):
    data = pd.read_csv(filename)
    df = pd.DataFrame(data, columns = ['acc_x', 'acc_y', 'acc_z'])
    df['acc_z'] = df['acc_z'].astype('float64')
    acc_z_arr = df['acc_z'].values
    acc_z_arr = np.round(acc_z_arr, 2)
    return acc_z_arr
```

#### 3.3.1. att. Funkcijas “getData” pirmkods

Lai grafiski attēlotu funkcijas “*getData*” iegūto skaitļu masīvu no *CSV* datnes, tika izmantota “*matplotlib.pyplot*” bibliotēka, kas ļauj attēlot iegūtos datus grafiski. Attēlā (skatīt 3.3.2. att.) iespējams redzēt entuziasta plaukstas metienu lineāro paātrinājumu izmaiņas, kā arī no šī grafika iespējams vizuāli noteikt plaukstas metiena tehnisko izpildījumu – tiek veikta rokas kustības uz priekšu, kur tiek novērota līknes kustības augšana un pēc tam tiek veikta rokas kustība uz aizmuguri, kur tiek novērota līknes kustība uz leju, kas savukārt vairs nav vajadzīgs šī eksperimenta ievaros.



3.3.2. att. Entuziasta plaukstas metienu grafiskais attēlojums

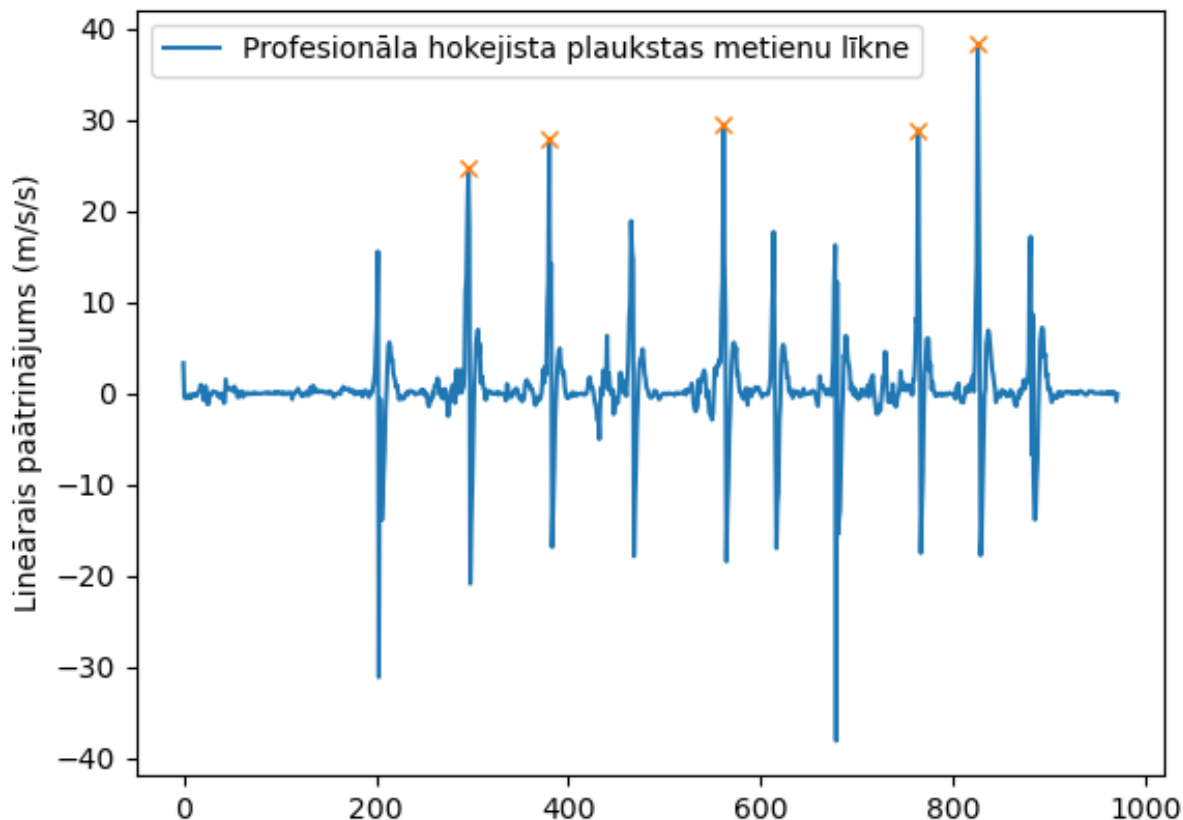
Lai atrastu noteiktu skaitu labākos metienus pēc to lineārā paātrinājuma, tika izveidota funkcija “*getTopPeaks*” (skatīt 3.3.3. att.). Funkcijas parametros tiek padotas divas konstantas vērtības, kur viena no tām ir procentuālā vērtība, kura tiks izmantota, lai aprēķinātu lineārā paātrinājuma lielumu, pēc kura meklēt atpazīt, ka lineārā paātrinājuma vērtība sasniegtā vērtība norāda uz to, ka ticis izdarīts metiens. Kā otra konstantā vērtība tiek padota, cik metienu indeksus nepieciešams atgriezt. Procentuālā vērtība metiena atpazīšanai bija pieņemta kā 20%, jo tika novēroti tādi metieni, kas ir mazāki nekā viena piektā daļa no lielākas lineārā paātrinājuma vērtības, tad tādus datus nevar klasificēt kā hokeja metienus. Sākotnēji funkcijā tiek iegūta vērtība “*tmp\_height*”, kas tiek aprēķināta paņemot padoto procentuālo konstanti un lielāko lineārā paātrinājuma vērtību attiecīgā hokejista metienu lineārajos paātrinājumos. Izmantojot šo iegūto

vērtību, tiek izmantota “*scipy.signal*” bibliotēkas “*find\_peaks*” funkcija, lai atrastu visas lineārās paātrinājuma vērtības, kas ir lielākas par šo aprēķināto “*tmp\_height*”. Par cik, “*find\_peaks*” funkcijā tika izmantots tikai “*height*” parametrs, tad metienu noteikšana pašlaik ir neprecīza, jo nepieciešamas atrast un norādīt arī distanci, kādā lineāro paātrinājumu vērtību intervālā meklēt augstākos pīķus jeb tikai viena lielākā lineārā paātrinājuma vērtība, lai tiktu atrasts katra metiena lokālais maksimums. Kad tiek atrasta vajadzīgā distance, lai varētu meklēt tikai konkrētā metiena lielāko vērtību, vēlreiz tiek izsaukta “*scipy.signal*” bibliotēkas “*find\_peaks*” funkcija, kurai kā parametri ir norādīti iepriekš atrastais “*tmp\_height*” un jaunais distances parametrs, kurš ir kā minimālā vērtība hokeja metiena lineāro paātrinājumu intervālam, lai atrastu tikai lielāko parametru katrā metienā. Kad tiek atrastas visas pareizās vērtības jeb noteikti visi izdarītie metieni, tiek izmantota otra padotā konstante “*top\_peak\_count*”, lai uzzinātu, cik atpazītos metienos jeb lineārā paātrinājuma indeksus atgriezt, kur šajā eksperimentā tika veikta 5 metienu atgriešana. Lai atgrieztu šos piecus metienus, pirms tam, izmantojot atrastos metienu indeksus, tiek izveidoti divi cikli, kas sākumā atrod reālās lineāra paātrinājuma vērtības, tās salīdzina pēc to lineārajiem paātrinājumiem un tad atgriež atpakaļ tās piecas indeksālās vērtības, kas tika noteiktas kā lielākās.

```
def getTopPeaks(min_prctg, top_peak_count, shot_data):
    tmp_height = min_prctg * max(shot_data)
    tmp_data_peaks, _ = find_peaks(shot_data, height=tmp_height)
    i = 0
    while i < len(tmp_data_peaks)-1:
        tmp_data_peaks[i] = tmp_data_peaks[i+1] - tmp_data_peaks[i]
        i += 1
    i = 0
    tmp_arr = []
    tmp_max = max(tmp_data_peaks[0:len(tmp_data_peaks)-1])
    while i < tmp_data_peaks.size-1:
        if min_prctg * tmp_max < tmp_data_peaks[i]:
            tmp_arr.append(tmp_data_peaks[i])
            i += 1
    tmp_data_peaks, _ = find_peaks(shot_data, height=tmp_height, distance=min(tmp_arr))
    tmp_arr = []
    i = 0
    while i < len(tmp_data_peaks):
        tmp_arr.append(shot_data[tmp_data_peaks[i]])
        i += 1
    tmp_arr = np.sort(tmp_arr)[::-1]
    if len(tmp_arr) > top_peak_count:
        tmp_arr = tmp_arr[0:top_peak_count]
    tmp_arr2 = []
    j = 0
    while j < len(tmp_arr):
        i = 0
        while i < len(tmp_data_peaks):
            if shot_data[tmp_data_peaks[i]] == tmp_arr[j]:
                tmp_arr2.append(tmp_data_peaks[i])
                i += 1
            j += 1
    tmp_arr2 = np.sort(tmp_arr2)
    return tmp_arr2
```

3.3.3. att. Funkcijas “*getTopPeaks*” pirmkods

Izsaucot “*getTopPeaks*” funkciju ar profesionāla hokejista plaukstas metiena datiem un attēlojot iegūtos rezultātus grafiski ar “*matplotlib.pyplot*” bibliotēkas palīdzību, tiek iegūts attēls (skatīt 3.3.4. att.), kurā skaidri redzams, ka funkcija pareizi tos metienus, kuru lineārie paātrinājumi ir pieci lielākie novērojamie metieni profesionālā hokejista datos.



3.3.4. att. Profesionāla hokejista labāko plaukstas metienu attēlojums

Funkcija “*getTopPeaks*” tika izsaukta ar katra hokejista un katra metiena veida vērtībām, kur iegūtos grafiskos attēlojumus ar atzīmētajiem 5 labākajiem metieniem iespējams apskatīt 2. pielikumā. Tālāk, lai varētu veikt kaut cik noderīgu entuziasta un profesionāla hokejista lineāro paātrinājumu salīdzināšanu, tika izveidota funkcija “*avgShot*” (skatīt 3.3.5. att.), kas no katra hokejista 5 labākajiem metieniem izrēķina vienu vidējo labāko metienu. Lai to paveiktu, funkcija veic mazākas distances aprēķināšanu starp labākajiem metieniem, kur pēc tam no šīs iegūtas distances tiek “nogriezti” 50%, lai veicot katra metiena ar katru salīdzinājumu, vērtību daudzumus nevarētu sanākt tāds, ka vienam metienam ir vairāk lineāro paātrinājuma vērtību nekā otram, kas sabojātu vidēja metiena aprēķinu. Tāda situācija var notikt, jo, kad tika veikti hokejistu metienu novērojumi, hokejistiem netika teikts, ka ir jāievēro noteiktas pauzes starp metieniem, kas izveidoja situāciju, ka viens no hokejistiem metienus izpilda ātri un starp metieniem neietur pauzi, bet cits izpilda metienu, nedaudz nogaida un tad izpilda nākamo. Kad tiek atrasta minimālās distances

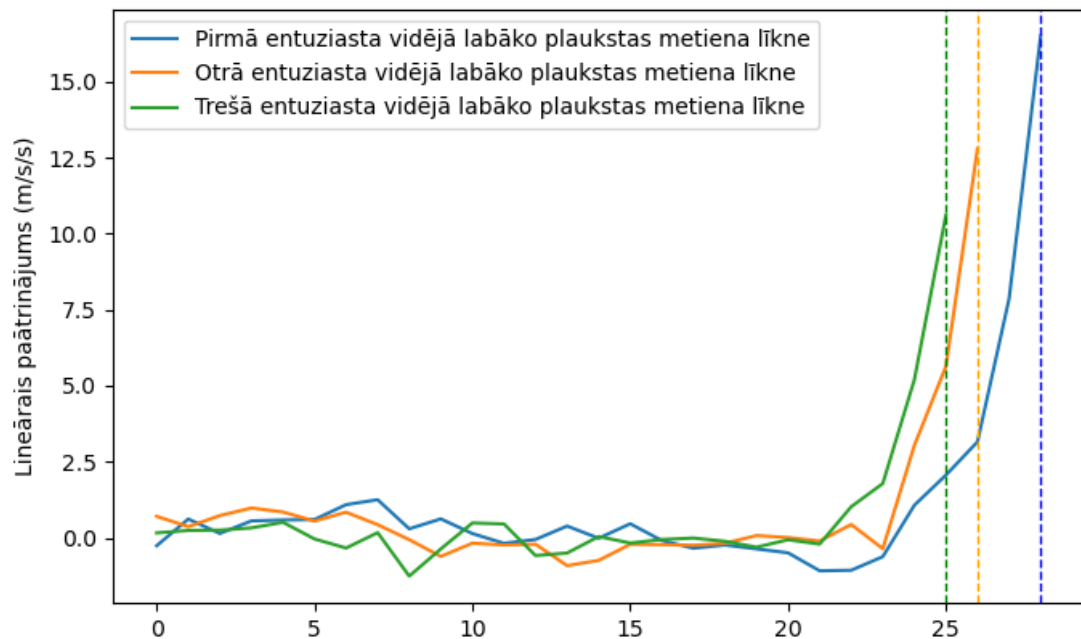
vērtība, funkcija, izmantojot piecu labāko lineāro paātrinājumu indeksus, atrod katra labākā metiena datus līdz tiek sasniegta lielākā lineārā paātrinājuma vērtība un šos datus ieraksta skaitļu masīva, kurā tiek glabāti visi 5 metienu lineārie intervāli (masīvs masīvā). Pēc tam, ietērējot cauri visiem 5 labākajiem masīviem pie noteikta indeksa, tie tiek saskaitīti vienā mainīgajā, izrēķināta šo vērtību vidējā vērtība un ierakstīta jaunajā vidējā metiena vērtību masīva, kas tiks atgriezts no funkcijas.

```
def avgShot(shot_data, top_peaks, cut_off_first = 0.5):
    tmp_distance = top_peaks.copy()
    i = 0
    while i < len(tmp_distance)-1:
        tmp_distance[i] = tmp_distance[i+1] - tmp_distance[i]
        i += 1
    min_distance = int((1-cut_off_first) * min(tmp_distance[0:len(tmp_distance)-1]))
    j = 0
    list_arr = []
    while j < len(top_peaks):
        list_arr.append([])
        index = top_peaks[j] - min_distance
        while index <= top_peaks[j]:
            if index >= 0:
                list_arr[j].append(shot_data[index])
            else:
                list_arr[j].append(0)
            index += 1
        j += 1
    average_arr = []
    i = 0
    while i <= min_distance:
        j = 0
        summ = 0
        while j < len(list_arr):
            summ += list_arr[j][i]
            j += 1
        average_arr.append(summ/len(list_arr))
        i += 1
    return average_arr
```

### 3.3.5. att. Funkcijas “avgShot” pirmkods

Arī šī funkcija tiek izsaukta ar katra hokejista labākajiem metienu datiem, no kā tiek iegūts viens skaitļu masīvs, kas reprezentē vidējo metienu no pieciem labākajiem metieniem. Attēlā (skatīt 3.3.4. att.) iespējams redzēt, kā izskatās katra entuziastu vidējais plaukstas metiens, kas tika iegūts aprēķinot vidējas vērtības piecos labākajos novērotajos plaukstas metienos. Attēla arī iespējams novērot (uzskatāmībai atzīmēts ar metienu līknes krāsas raustītu līniju), ka šie vidējie entuziastu plaukstas metienu laika intervāli nav vienādi, jo lielākais lineārais paātrinājums katram novērojams citā X ass punktā. Lai to kaut kā labotu un varētu veikt nosacītus grafiskus salīdzinājumus, tika izveidota funkcija “makeEvenArrays”, kas pievieno attiecīgā vidējā metiena

sākumā tik nulles, lai salīdzinoši ar pārējiem grafikā esošajiem metieniem, tā lielākais lineārā paātrinājuma punkts atrastos uz viena un tā paša X punkta. Funkcijas izsaukums un grafika izveide tiks nodemonstrēta 4. nodaļā “Rezultāti”.



#### 3.3.4. att. Visu entuziastu vidējās labāko plaukstas metienu līknes

Visbeidzot, no entuziastu un profesionāļa vidējām metienu līknēm tika noteiktas maksimālās vērtības ar “Python” standartbibliotēkas funkciju “max”, kur pēc tam, tika dalīts procentuāli entuziasta vidēja metiena maksimālā vērtība ar profesionāla hokejista vidējā metiena maksimālo vērtību, lai noteiktu, cik entuziasta metiens ir procentuāli atbilstošs profesionāla hokejista metienam. Šādas atbilstību aprēķināšanas tika veiktas katra entuziasta plaukstas metieniem un metieniem ar atvēzienu, kur iegūtie rezultāti tiek aprakstīti 4. nodaļā “Rezultāti”.

## 4. REZULTĀTI

No novērotajiem 4 hokejistu datiem, tika atrasti pieci katra hokejista labākie metieni, no kuriem tika izrēķināts katra hokejista un attiecīgā metiena veida vidējais metiens. No aprēķinātajiem vidējiem metieniem tika noteikts, kurš no entuziastiem ir savstarpēji labāks metiena izpildītājs, salīdzinot tā lielāko lineāro paātrinājumu atbilstību ar profesionāla hokejista lielāko lineāro paātrinājumu, kur rezultāts tika iegūts procentuālas vērtībās, kur, jo tuvāk entuziasta lineārais paātrinājums ir profesionāla metiena līmeņa paātrinājumam, jo lielāka ir entuziasta metiena atbilstība profesionāli izpildītam metienam. Eksperimenta vajadzībām izveidoto pirmkodu iespējams apskatīt šajā “*GitHub*” repozitorijā; [https://github.com/paulsakh/hockey\\_shot\\_comparison](https://github.com/paulsakh/hockey_shot_comparison).

### 4.1. Labākā entuziasta noteikšanas rezultāti

Izmantojot iegūtos katra entuziasta līmeņa hokejista vidējo metienu lielākos lineāros paātrinājumus un izdalot katru ar profesionāla hokejista vidējo metienu lielāko lineāro paātrinājumu, tika iegūti šādi rezultāti:

#### 1. Plaukstas metieni:

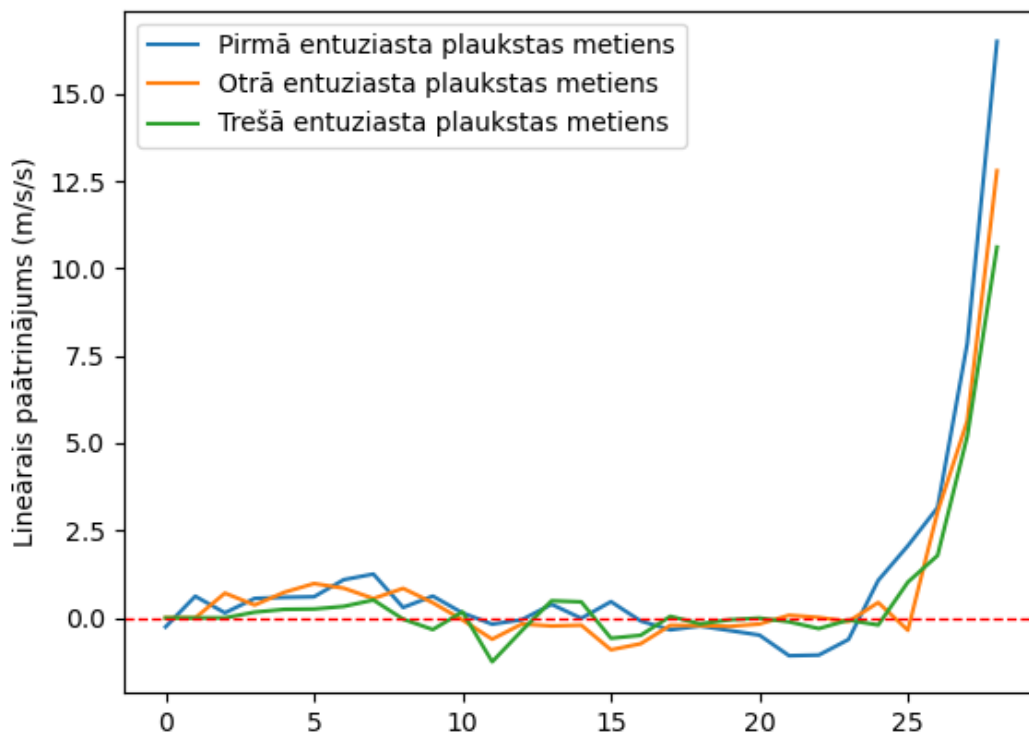
- Profesionāla hokejista vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 29,79 \frac{m}{s^2}$
- Pirmā entuziasta vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 16,49 \frac{m}{s^2}$  un procentuālā līdzība ar profesionāla hokejista metiena lielāko lineāro paātrinājumu:  $\approx 55\%$
- Otrā entuziasta vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 12,79 \frac{m}{s^2}$  un procentuālā līdzība ar profesionāla hokejista metiena lielāko lineāro paātrinājumu:  $\approx 43\%$
- Trešā entuziasta vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 10,60 \frac{m}{s^2}$  un procentuālā atbilstība ar profesionāla hokejista metiena lielāko lineāro paātrinājumu:  $\approx 36\%$

## 2. Metieni ar atvēzienu:

- Profesionāla hokejista vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 52,70 \frac{m}{s^2}$
- Pirmā entuziasta vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 21,84 \frac{m}{s^2}$  un procentuālā atbilstība ar profesionāla hokejista metiena lielāko lineāro paātrinājumu:  $\approx 41\%$
- Otrā entuziasta vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 18,25 \frac{m}{s^2}$  un procentuālā atbilstība ar profesionāla hokejista metiena lielāko lineāro paātrinājumu:  $\approx 35\%$
- Trešā entuziasta vidēji lielākais lineārais paātrinājums no 5 labākajiem metieniem:  $\approx 18,02 \frac{m}{s^2}$  un procentuālā atbilstība ar profesionāla hokejista metiena lielāko lineāro paātrinājumu:  $\approx 34\%$

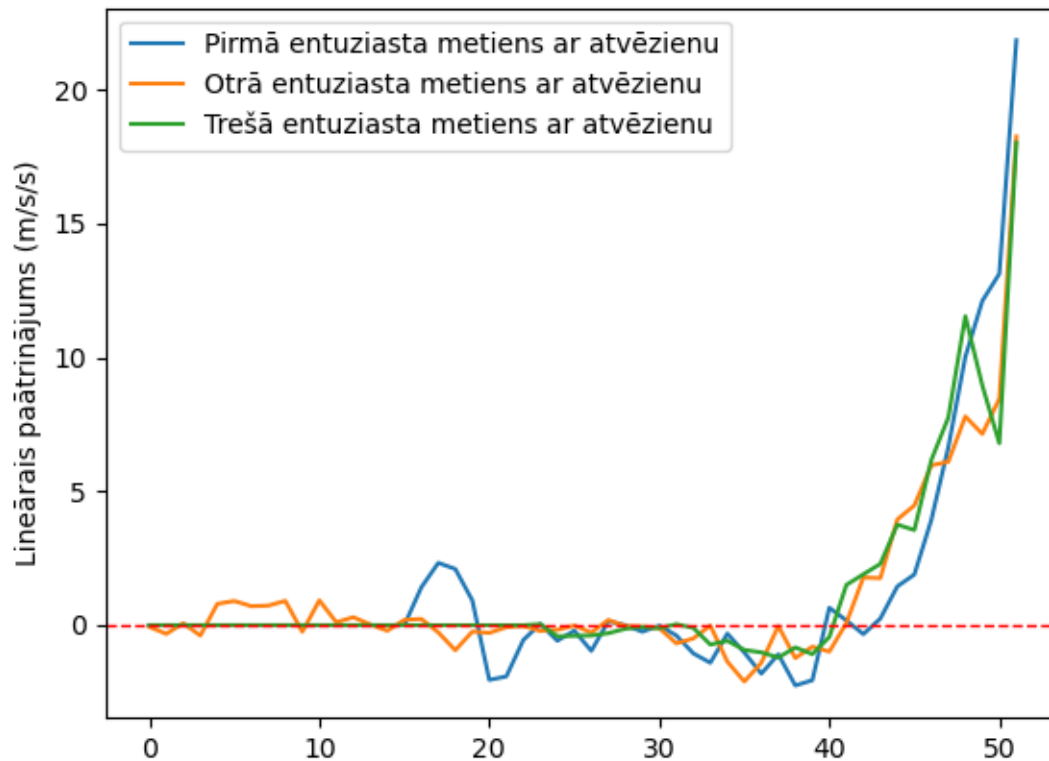
## 4.2. Entuziastu metienu grafiskie attēlojumi

Attēlā (skatīt 4.2.1. att.) iespējams redzēt visu trīs entuziastu plaukstas metienus, kuri tika iegūti nosakot vidējās vērtības no pieciem labākajiem plaukstas metieniem konkrētajam entuziasta līmeņa hokejistam, pēc to novērotā lineārā paātrinājuma lielākajām vērtībām.



4.2.1. att. Entuziastu plaukstas metienu grafisks attēlojums

Attēlā (skatīt 4.2.2. att.) iespējams redzēt visu trīs entuziastu metienus ar atvēzienu, kuri, tāpat kā plaukstas metieni, tika iegūti nosakot vidējās vērtības no pieciem labākajiem metieniem ar atvēzienu konkrētajam entuziasta līmeņa hokejistam, pēc to novērotā lineārā paātrinājuma lielākajām vērtībām.



4.2.2. att. Entuziastu metienu ar atvēzienu grafisks attēlojums

## SECINĀJUMI

Bakalaura darbā tika apskatīta informācija par inerciālo sensoru darbību, kā arī esošajiem hokeja kustību novērošanas pielietojumiem. No izpētītas informācijas iespējams secināt, ka, inerciālo sensoru pielietojums hokejā nav tik plašs kā citās nozarēs, jo bija salīdzinoši maz zinātnisko rakstu, kuros piedāvātie kustību novērošanas risinājumi ar inerciālajiem sensoriem būtu pielietojami, lai veiktu hokeja spēles raksturojošo elementu novērošanu.

Darbā tika izstrādāts eksperiments, kurā tika veikta dažādu profesionalitātes līmeņu hokejistu metienu pa vārtiem novērošana. Iegūtie dati tika apstrādāti un no tiem tika izvēlēti katra hokejista un katra metiena veida pieci labākie metieni. No šiem labākajiem metieniem attiecīgajam hokejistam tika izrēķināts to vidējais metiens, no kuriem tika noteikts, kādā ir entuziastu metienu procentuālā atbilstība profesionāla hokejista metienam. Atbilstības novērtēšanai tika izmantoti entuziastu vidējo metienu lielākais lineārais paātrinājums un profesionāļa metienu lielākais vidējais paātrinājums.

Izmantojot iegūtās atbilstības starp entuziasta un profesionāla hokejista metieniem, tika secināts, ka pirmā entuziasta plaukstar metiens procentuāli visvairāk atbilst profesionālam hokeja metienam, kur iegūtā atbilstība bija aptuveni 55%. Otrā un trešā entuziasta plaukstar metiena atbilstība profesionālam metienam bija samērā līdzīga, kur otrā entuziasta procentuāla atbilstība bija 43% , savukārt trešā entuziasta plaukstar metiena procentuāla atbilstība bija 36%. Salīdzinot entuziastu un profesionāļa metienus ar atvēzienu tika secināts, ka arī šī veida metienu vislabāk savstarpēji (starp entuziastiem) izpilda pirmais entuziasts, kur procentuālā atbilstība bija aptuveni 41%. Savukārt otrā un trešā entuziasta metiena ar atvēzienu atbilstība profesionālam metienam bija gandrīz identiska, kur otrā entuziasta procentuāla atbilstība bija 35%, bet trešā entuziasta procentuāla atbilstība bija 34%.

Lai veiktu grafisku novērtējumu starp entuziastu metienu tehniskajām atšķirībām, tika izveidoti divi grafiki, kur vienā tika attēloti entuziastu vidējie plaukstar metieni un otrā vidējie metieni ar atvēzienu. No grafikā (skatīt 4.2.1. attēlu 4.2. apakšnodaļā), redzamajām atšķirībām iespējams novērot, ka pirmā entuziasta plaukstar metiena izpildē, neraksturīgi plaukstar metiena tehniskajam izpildījumam, tiek veikta rokas kustība uz aizmuguri, no kā iespējams secināt, ka šī kustība dod pirmajam entuziastam lielāku plaukstar metiena amplitūdu, kas līdzīgi notiek arī metienos ar atvēzienu, kur tādējādi iespējams sasniegt lielāku rokas lineāro paātrinājumu uz priekšu, ko iespējams novērot iegūtajos rezultātos. Grafikā (skatīt 4.2.2. attēlu 4.2. apakšnodaļā) starp entuziastu metieniem ar atvēzienu nevar novērot izteiktas rokas kustību atšķirības, kas

ietekmē to, kāpēc pirmā entuziasta metiens ar atvēzienu sasniedz vislielāko lineāro paātrinājumu metiena izpildē.

Darba mērķis tika izpildīts, jo tika noteikts starp trīs entuziastiem, kura entuziasta metiens visvairāk procentuāli atbilst profesionāla hokejista metienam, kā arī visi darba uzdevumi tika izpildīti. Izstrādājot bakalaura darbu, autors ir apguvis zināšanas par to, kā iespējams veikt cilvēka kustību novērošanu ar inerciālajiem sensoriem, kā apstrādāt datus un veikt vienkāršus datu salīdzinājumus. Tika apgūtas pamazināšanas “Python” programmēšanas valodā, ar ko autors pirms tam nebija iepriekš strādājis.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

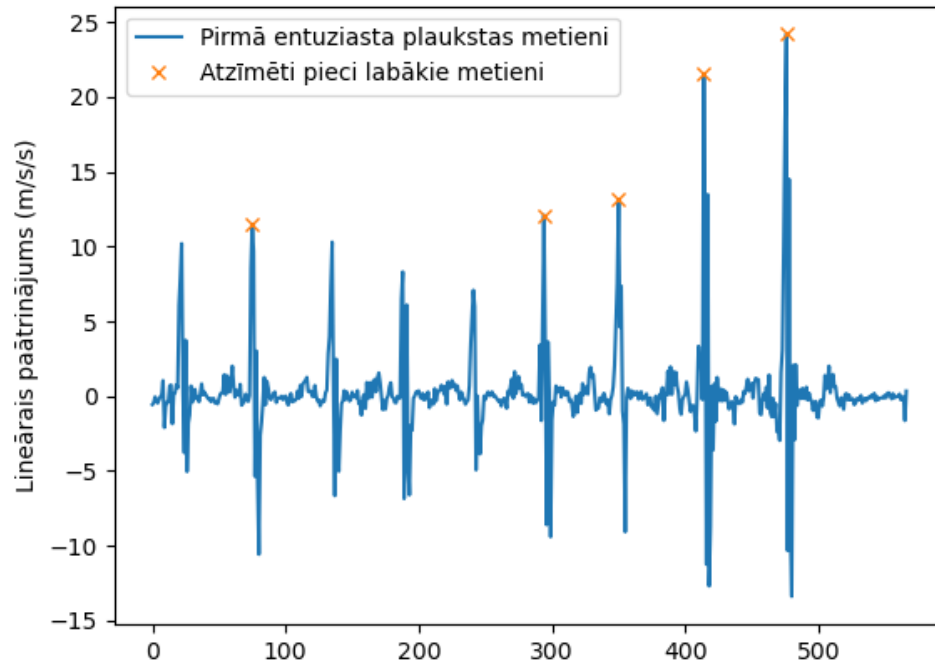
1. Cilvēka kustību novērošana un analīze – [tiešsaiste] – [04.04.2020]  
Pieejams:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314206001263>
2. Ne-optiskās sistēmas dažādo sensoru pielietojumi – [tiešsaiste] – [04.04.2020]  
Pieejams:<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=43>
3. Ne-optiskās sistēmas inerciālo sensoru daudzums – [tiešsaiste] – [atsauce 06.04.2020]  
Pieejams:<http://www.cgchannel.com/2014/08/build-a-full-body-inertial-mocap-suit-for-under-400/>
4. *Attēls*: Inerciālo sensoru izvietojums uz cilvēka – [tiešsaiste] – [atsauce 07.04.2020]  
Pieejams:[https://www.researchgate.net/publication/257308000\\_Inertial\\_sensing\\_for\\_human\\_motion\\_control\\_symmetry\\_in\\_injury\\_rehabilitation](https://www.researchgate.net/publication/257308000_Inertial_sensing_for_human_motion_control_symmetry_in_injury_rehabilitation)
5. *Attēls*: Inerciāla sensora mērīšanas ierīču izvietojums – [tiešsaiste] – [atsauce 11.04.2020]  
Pieejams:<https://es.mathworks.com/help/nav/ug/model-imu-gps-and-insgps.html>
6. Elektromehāniska akselerometra darbība – [tiešsaiste] – [atsauce 14.04.2020]  
Pieejams:<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/capacitive-accelerometer>
7. *Attēls*: MEMS akselerometra konceptuālais modelis – [tiešsaiste] – [atsauce 14.04.2020]  
Pieejams:<https://www.siliconsensing.com/technology/mems-accelerometers/>
8. Elektromehāniskā žiroskopa darbība – [tiešsaiste] – [atsauce 14.04.2020]  
Pieejams:<https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/>
9. Žiroskopa dreifēšana – [tiešsaiste] – [atsauce 17.04.2020]  
Pieejams:<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/raqs/raq-issue-139.html>
10. *Attēls*: MEMS žiroskopa konceptuālais modelis – [tiešsaiste] – [atsauce 17.04.2020]  
Pieejams:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0960-1317/15/11/003>
11. Magnetometru darbības veidi – [tiešsaiste] – [20.04.2020]  
Pieejams:<https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/>
12. *Attēls*: Magnetometra vispārīgs darbības attēlojums – [tiešsaiste] – [20.04.2020]  
Pieejams:<https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html>
13. Hokeja metiena un slidojuma kustību novērošana – [tiešsaiste] – [26.04.2020]  
Pieejams:[https://www.researchgate.net/publication/278917104\\_Sensor\\_Technology\\_for\\_Ice\\_Hockey\\_and\\_Skating](https://www.researchgate.net/publication/278917104_Sensor_Technology_for_Ice_Hockey_and_Skating)

14. SFS algoritma darbība – [tiešsaiste] – [29.04.2020]  
Pieejams:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000437029700043X>
15. RFC algoritma darbība – [tiešsaiste] – [30.04.2020]  
Pieejams:<https://www.datacamp.com/community/tutorials/random-forests-classifier-python>
16. Metienu skaita statistika iekš NHL – [tiešsaiste] – [05.05.2020]  
Pieejams:<https://www.hockey-reference.com/leagues/stats.html>
17. *Attēls*: Plaukstas metiena tehniskā izpildījuma attēlojums – [tiešsaiste] – [08.05.2020]  
Pieejams:<https://www.usahockey.com/skillsanddrillsdvd>
18. *Attēls*: Šķēliena tehniskā izpildījuma attēlojums – [tiešsaiste] – [10.05.2020]  
Pieejams:<https://i.imgur.com/PGJvwmO.gif>
19. “*Samsung Galaxy S8*” tehnoloģiju apraksts – [tiešsaiste] – [14.05.2020]  
Pieejams:<https://news.samsung.com/in/discover-new-possibilities-with-the-samsung-galaxy-s8-and-s8-smartphones-without-limits>
20. Lineārā paātrinājuma iegūšana no akcelerometra datiem – [tiešsaiste] – [14.05.2020]  
Pieejams:[https://www.researchgate.net/post/How\\_to\\_separate\\_linear\\_acceleration\\_from\\_gravity\\_component\\_using\\_a\\_3D\\_accelerometer](https://www.researchgate.net/post/How_to_separate_linear_acceleration_from_gravity_component_using_a_3D_accelerometer)
21. *Attēls*: Viedtālruņa attēlojums ar tā kustības asīm – [tiešsaiste] – [18.05.2020]  
Pieejams:<https://sites.google.com/site/iprofmecca/method-and-data-analysis>
22. “*IMU+GPS Stream*” atgrieztās datnes sakārtošana – [tiešsaiste] – [20.05.2020]  
Pieejams:<https://www.instructables.com/id/How-to-Import-and-Process-Data-Recorded-With-IMUGP/>
23. Optisko un ne-optisko sistēmu salīdzinājums – [tiešsaiste] – [24.05.2020]

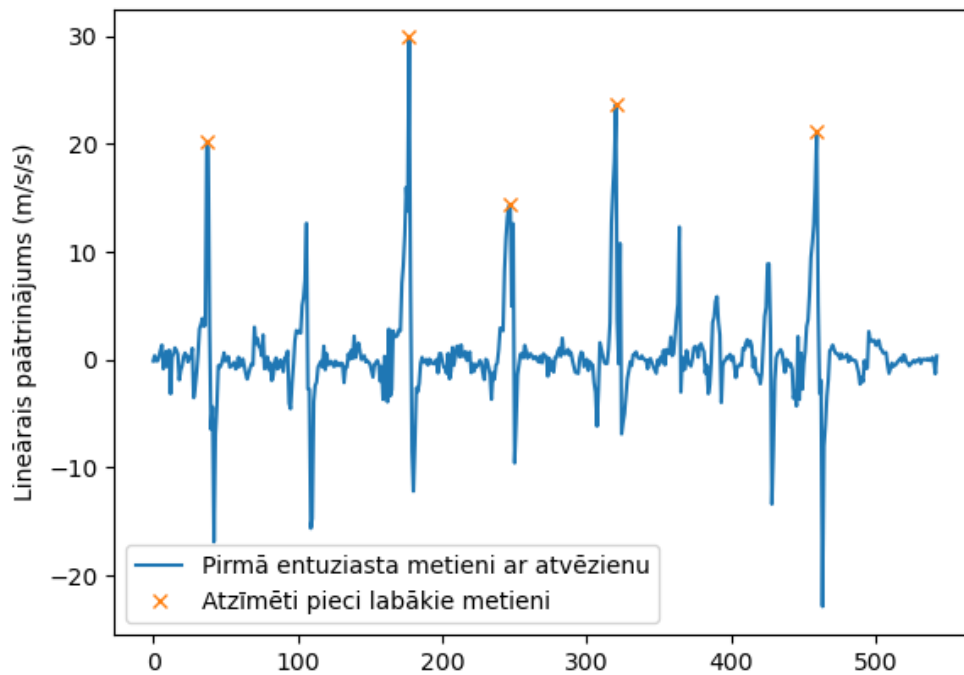
# PIELIKUMI

## 1. pielikums

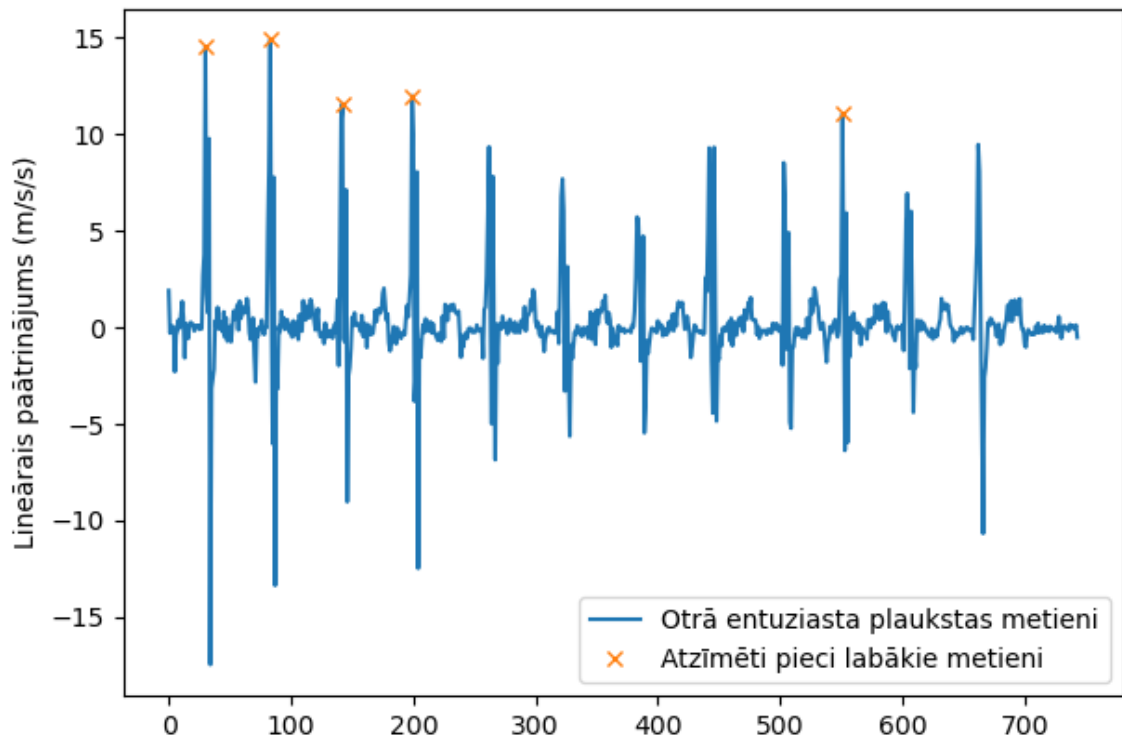
1. pielikumā iespējams apskatīt abu hokejistu izpildīto metienu grafiskos attēlojumus, kuros noteikti un atzīmēti pieci labākie metieni.



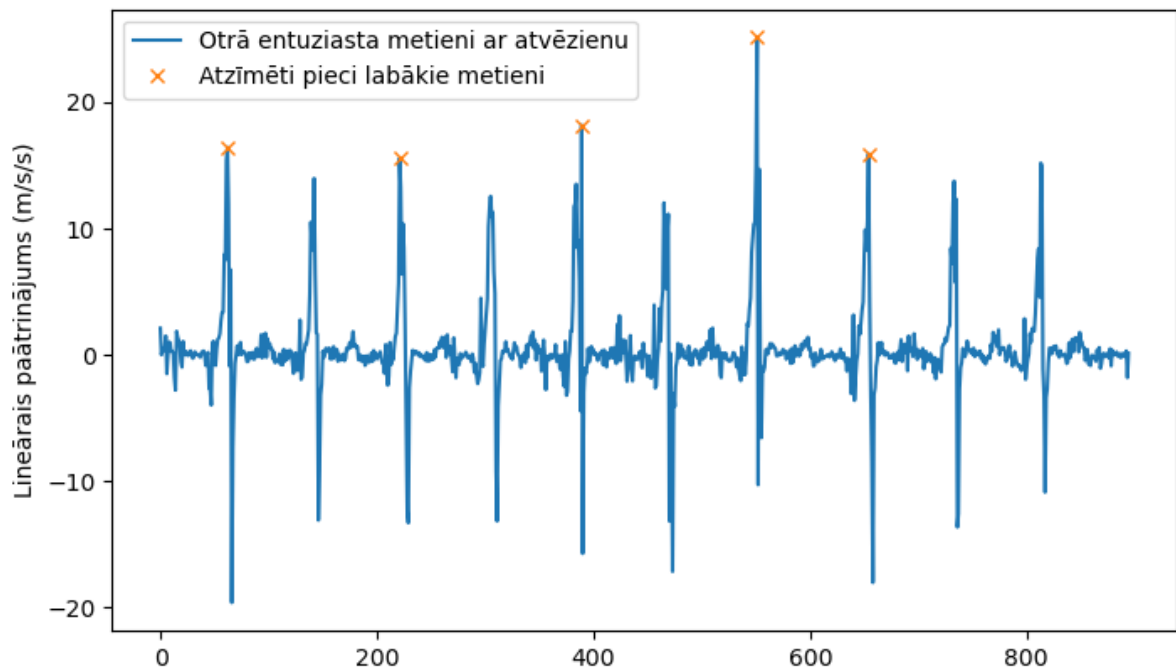
1.1. att. Pirmā entuziasta plaukstu metienu grafiskais attēlojums



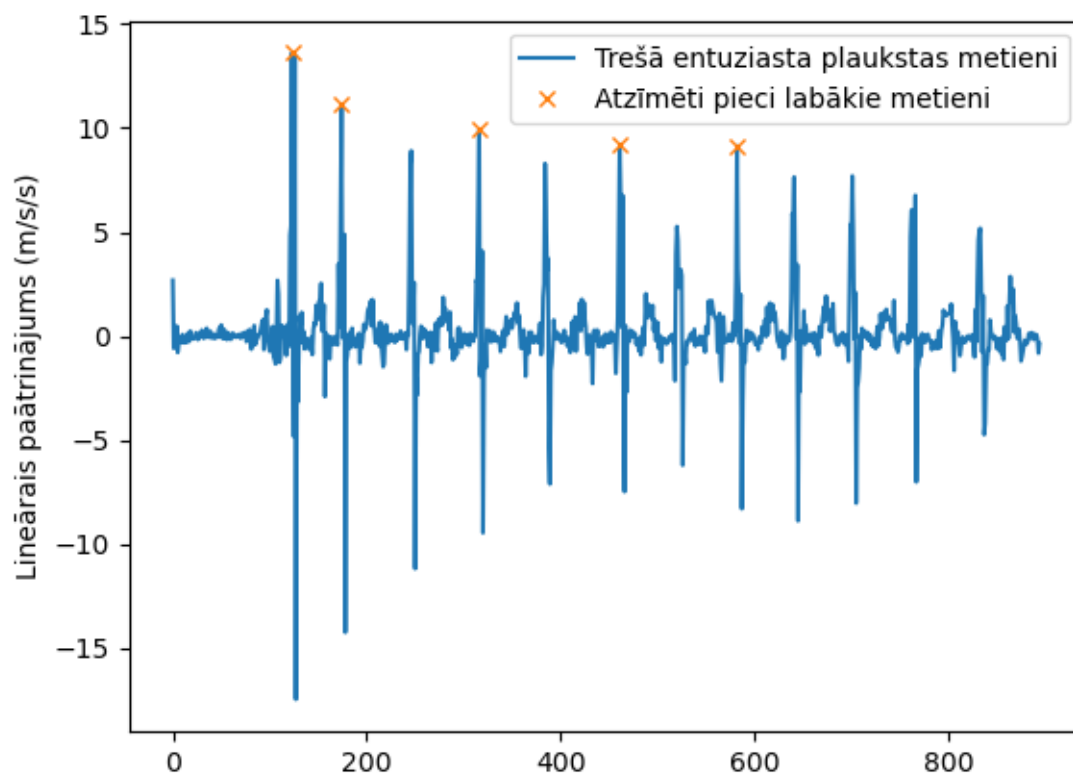
1.2. att. Pirmā entuziasta metienu ar atvēzienu grafiskais attēlojums



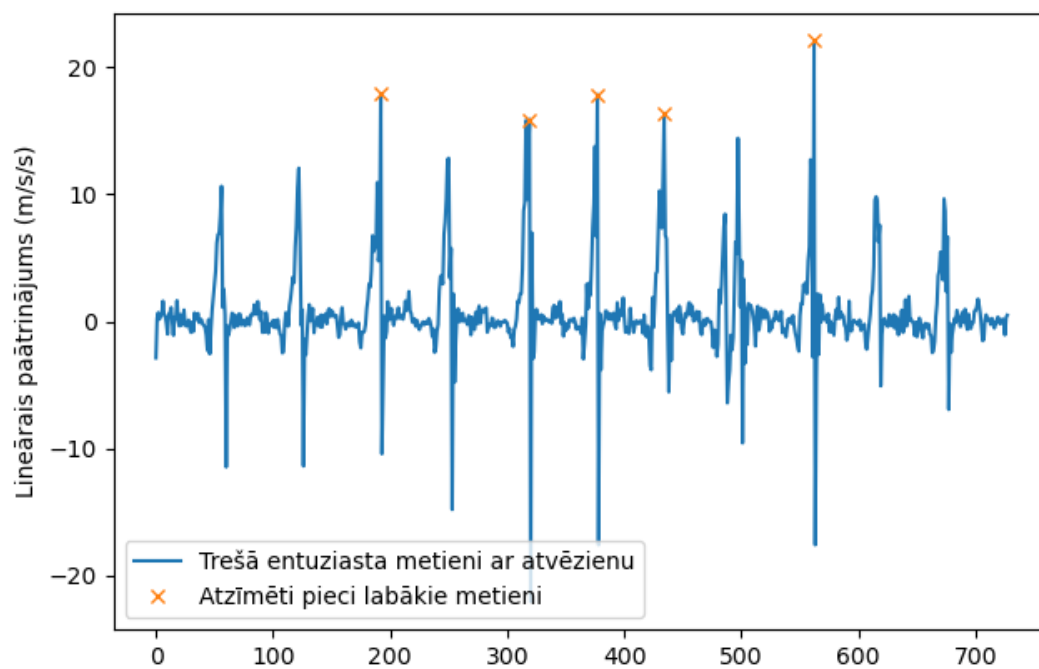
1.3. att. Otrā entuziasta plauksta metienu grafiskais attēlojums



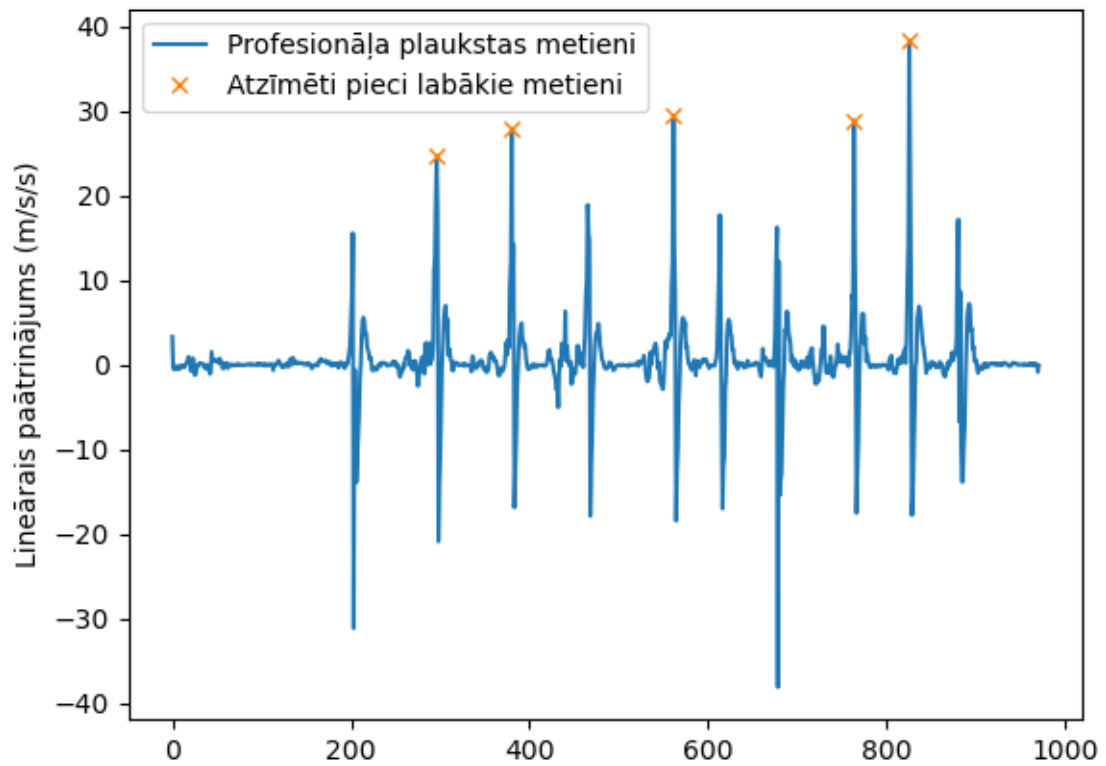
1.4. att. Otrā entuziasta metienu ar atvēzienu grafiskais attēlojums



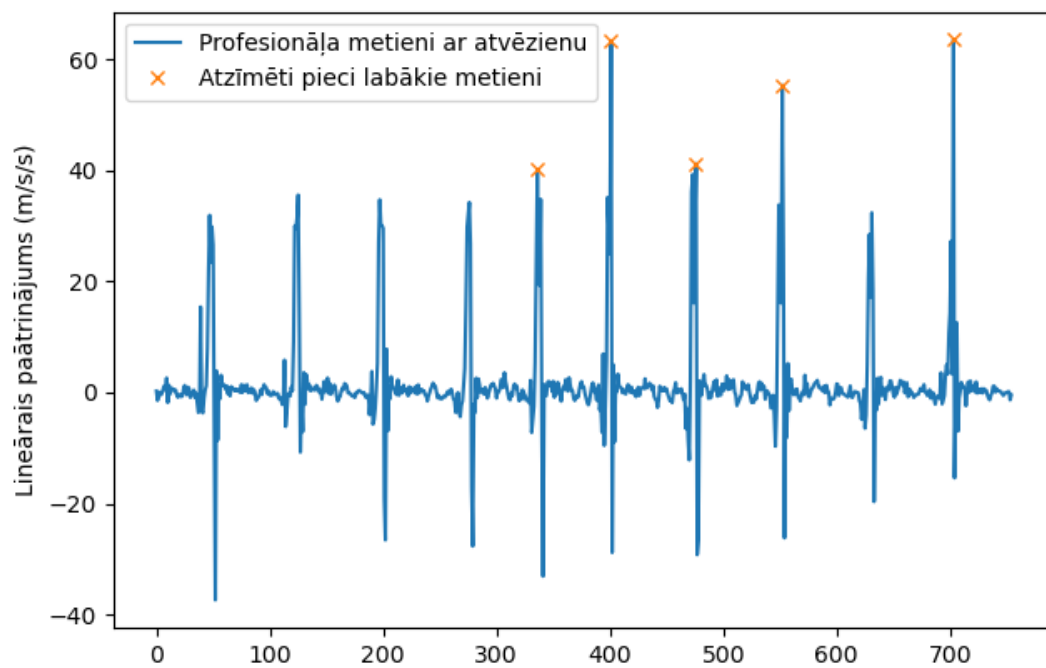
1.5. att. Trešā entuziasta plauksta metienu grafiskais attēlojums



1.6. att. Trešā entuziasta metienu ar atvēzienu grafiskais attēlojums



1.7. att. Profesionāļa plauksta metienu grafiskais attēlojums



1.8. att. Profesionāļa metienu ar atvēzienu grafiskais attēlojums

Bakalaura darbs „Cilvēka kustību novērošana, izmantojot inerciālos sensorus” izstrādāts LU Datorikas fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Pauls Austris Akmentiņš

---

Rekomendēju/nerekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītājs: Mg. sc. ing. Juris Ormanis

---

Recenzents: Leo Seļāvo

---

Darbs iesniegts Datorikas fakultātē (25.05.2020)

Dekāna pilnvarotā persona: metodiķe Ārija Sproģe

---

Darbs aizstāvēts bakalaura gala pārbaudījuma komisijas sēdē

Datums: \_\_\_\_\_.01.2020

Prot. Nr.: \_\_\_\_\_

Komisijas sekretārs(-e): \_\_\_\_\_