



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

Edvinas Sakatauskas

VIRTUALIOS REALYBĖS TRANSLIAVIMO SISTEMOS
KOKYBINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
doc. dr. Tomas Blažauskas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

VIRTUALIOS REALYBĖS TRANSLIAVIMO SISTEMOS
KOKYBINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Programų sistemų inžinerija (kodas 621E16001)

Vadovas
doc. dr. Tomas Blažauskas

(data, parašas)

Recenzentas
lekt. Julius Jakutavičius

(data, parašas)

Projektą atliko
Edvinas Sakatauskas

(data, parašas)

KAUNAS, 2017

Sakatauskas Edvinas. *VIRTUAL REALITY CONTENT BROADCASTING SYSTEM QUALITATIVE PARAMETERS STUDY*. Master's thesis in software engineering / supervisor doc. dr. Tomas Blažauskas. The Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological sciences area, informatics engineering field

Key words: virtual reality, VR, GearVR, content streaming, content broadcasting, cube rendering, sphere rendering

Kaunas, 2017. 67 p.

SUMMARY

Fast growing popularity of smart devices increases their usage spectrum. The popularity of devices and hardware options increases possibility for new gateway – virtual reality (VR), which is currently one of the most rising technologies. However, a large part of the devices used for experiencing virtual reality are mobile phones with specially designed glasses. This means that resources are limited - especially phone battery.

This document represents a software that allows users to share 360 degree videos on the internet platform. Also, using mobile application, which is targeted to “Samsung GearVR” virtual reality handset, users can watch all shared videos from internet platform in virtual reality. The document provides an analytical part of the work, where technologies that can help in implementing the project is analyzed and existing similar solutions discussed. It also provides system design part, which describes the architecture process and decisions. Experiments were carried out using a developed software to determine the most efficient rendering method and qualitative parameters for the virtual reality video broadcasting. Results were presented in the experimental part.

TURINYS

1.	Įvadas	11
1.1.	Dokumento paskirtis.....	11
1.2.	Santrauka	11
2.	Analitinė dalis.....	12
2.1.	Vaizdo perdavimo metodai	12
2.1.1.	<i>Transliavimas individualiais adresais (angl. „unicast“)</i>	12
2.1.2.	<i>Grupinis transliavimas (angl. „multicast“)</i>	12
2.1.3.	<i>Transliacija (angl. „broadcast“)</i>	13
2.2.	Vaizdo perdavimo technologijos.....	13
2.2.1.	<i>„Wowza Streaming Engine“</i>	13
2.2.2.	<i>„Red5“</i>	14
2.2.3.	<i>„ScaleEngine“</i>	14
2.2.4.	<i>„VideoLAN Server (VLS)“</i>	14
2.3.	Virtualios realybės atvaizdavimo įrenginiai.....	14
2.3.1.	<i>„Oculus Rift“</i>	14
2.3.2.	<i>„Samsung GearVR“</i>	15
2.3.3.	<i>„FOVE VR“</i>	15
2.3.4.	<i>„HTC VIVE“</i>	15
2.3.5.	<i>„Google Cardboard“</i>	15
2.3.6.	<i>Interneto naršyklė</i>	16
2.4.	Virtualios realybės atvaizdavimo metodai.....	16
2.4.1.	<i>Monoskopinio 360 laipsnių vaizdo atvaizdavimo metodai</i>	16
2.4.2.	<i>Stereoskopinio 360 laipsnių vaizdo atvaizdavimo metodas</i>	17
2.5.	Virtualios realybės atvaizdavimo priemonės.....	19
2.5.1.	<i>Bendro pobūdžio priemonės</i>	19

2.5.2.	<i>Specializuotos priemonės</i>	19
2.6.	Egzistuojantys sprendimai	20
2.6.1.	„NextVR“.....	21
2.6.2.	„All360Media“.....	21
2.6.3.	„Youtube“.....	22
2.6.4.	<i>Esamų produktų palyginimas</i>	22
2.7.	Analizės išvados	24
3.	projektinė dalis	25
3.1.	Sistemos paskirtis	25
3.2.	Sistemos panaudos atvejų diagrama	25
3.3.	Nefunkciniai reikalavimai	26
3.3.1.	<i>Reikalavimai sistemos išvaizdai</i>	26
3.3.2.	<i>Reikalavimai panaudojamumui</i>	26
3.3.3.	<i>Reikalavimai vykdymo charakteristikoms</i>	27
3.3.4.	<i>Reikalavimai veikimo sąlygoms</i>	27
3.3.5.	<i>Reikalavimai saugumui</i>	27
3.4.	Sistemos architektūros modelis	28
3.4.1.	<i>Sistemos komponentai</i>	28
3.4.2.	<i>Sistemos komponentų detalizavimas</i>	28
3.5.	Naudojami trečiųjų šalių komponentai	31
3.6.	Naudojama aparatūrinė įranga	32
4.	Tyrimai ir eksperimentinė dalis	33
4.1.	Eksperimento metu naudota įranga	33
4.2.	Baterijos įkrovos lygio kitimo eksperimentas	33
4.2.1.	<i>Tikslas</i>	33
4.2.2.	<i>Metodika</i>	33
4.2.3.	<i>Rezultatai</i>	34

4.3. Procesoriaus apkrovos lygio kitimo eksperimentas.....	35
4.3.1. <i>Tikslas</i>	35
4.3.2. <i>Metodika</i>	35
4.3.3. <i>Rezultatai</i>	36
4.4. Procesoriaus ir baterijos temperatūrų kitimo eksperimentas.....	36
4.4.1. <i>Tikslas</i>	36
4.4.2. <i>Metodika</i>	37
4.4.3. <i>Rezultatai</i>	37
4.5. Kadru per skundę (FPS) kitimo eksperimentas.....	38
4.5.1. <i>Tikslas</i>	38
4.5.2. <i>Metodika</i>	38
4.5.3. <i>Rezultatai</i>	39
4.6. Sistemos panaudojamumo eksperimentas.....	45
4.6.1. <i>Tikslas</i>	45
4.6.2. <i>Metodika</i>	45
4.6.3. <i>Rezultatas</i>	45
5. Išvados.....	48
6. Literatūra.....	50
7. Terminų ir santrumpų žodynas.....	52
8. Priedai.....	54
8.1. Baterijos įkrovos lygio eksperimento rezultatai.....	54
8.2. Procesoriaus apkrovos kitimo eksperimento rezultatai	57
8.3. Procesoriaus ir baterijos temperatūros kitimo eksperimento rezultatai.....	60

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. Transliavimo unikaliais adresais proceso schema	12
2.2 pav. Grupinio transliavimo proceso schema	13
2.3 pav. Transliacijos proceso schema	13
2.4 pav. Vaizdas, paruoštas atvaizduoti sferoje.....	16
2.5 pav. Vaizdas, paruoštas atvaizduoti kube.....	17
2.6 pav. Stereoskopinio vaizdo pavyzdys – viršuje ir apačioje.....	18
2.7 pav. Stereoskopinio vaizdo pavyzdys – kairėje ir dešinėje.....	18
2.8 pav. "All360Media" serviso veikimas.....	22
3.1 pav. Sistemos panaudos atvejai.....	25
3.2 pav. Sistemos komponentai.....	28
3.3 pav. "Activity" paketo klasių diagrama.....	29
3.4 pav. "Networking" paketo klasių diagrama.....	29
3.5 pav. "Rendering" paketo klasių diagrama.....	29
3.6 pav. "Transferring" paketo klasių diagrama.....	30
3.7 pav. "Data" paketo klasių diagrama.....	30
3.8 pav. "UI" paketo klasių diagrama.....	31
3.9 pav. "Processing" paketo klasių diagrama.....	31
3.10 pav. "Networking" paketo klasių diagrama.....	31
3.11 pav. "Samsung Gear VR" įrenginys.....	32
4.1 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas stebint 4K vaizdo įrašą.....	35
4.2 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (480p).....	40
4.3 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (480p).....	40
4.4 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (720p).....	41
4.5 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (720p).....	41
4.6 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (1080p).....	42
4.7 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (1080p).....	42
4.8 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (1440p).....	43
4.9 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (1440p).....	43
4.10 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (4K).....	44
4.11 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (4K).....	44
4.12 pav. Vartotojų kokybės ir sklandumo įvertinimo palyginimas pagal vaizdo raiškas.....	47
8.1 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (480p).....	54
8.2 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (480p).....	54

8.3 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (720p).....	54
8.4 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (720p).....	55
8.5 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (1080p).....	55
8.6 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (1080p).....	55
8.7 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (1440p).....	56
8.8 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (1440p).....	56
8.9 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (4K).....	56
8.10 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (4K).....	57
8.11 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (480p).....	57
8.12 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (480p).....	57
8.13 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (720p).....	58
8.14 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (720p).....	58
8.15 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (1080p).....	58
8.16 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (1080p).....	59
8.17 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (1440p).....	59
8.18 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (1440p).....	59
8.19 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (4K).....	60
8.20 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (4K).....	60
8.21 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (480p).....	60
8.22 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (480p).....	61
8.23 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (480p).....	61
8.24 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (480p).....	61
8.25 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (720p).....	62
8.26 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (720p).....	62
8.27 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (720p).....	62
8.28 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (720p).....	63
8.29 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1080p).....	63
8.30 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (1080p).....	63
8.31 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1080p).....	64
8.32 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (1080p).....	64
8.33 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1440p).....	64
8.34 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (1440p).....	65
8.35 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1440p).....	65
8.36 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (1440p).....	65

8.37 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (4K)	66
8.38 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (4K)	66
8.39 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (4K)	66
8.40 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (4K)	67

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Kokybės kriterijai	22
2.2 lentelė. Sistemų palyginimas	23
4.1 lentelė. Baterijos įkrovos lygiai po vaizdo įrašų peržiūros.....	34
4.2 lentelė. Procesoriaus apkrovų vidurkiai	36
4.3 lentelė. Maksimalios procesoriaus ir baterijos temperatūros	38
4.4 lentelė. Sistemos panaudojamumo apklausos rezultatai.....	45
4.5 lentelė. Peržiūrų vertinimo rezultatai	47

1. ĮVADAS

1.1. Dokumento paskirtis

Šiame dokumente pateikiama turinio transliavimo sistemos virtualiai realybei analizė, kurioje apžvelgiami turinio perdavimo ir atvaizdavimo metodai ir galimybės bei egzistuojančios sistemos. Taip pat pateikiamas sukurtos turinio transliavimo virtualiai realybei sistemos projektas. Pateikiama sistemos kokybinių parametrų analizė ir atlikto eksperimento rezultatai.

1.2. Santrauka

Vis labiau populiarėjant išmaniesiems įrenginiams, taip pat didėja ir jų panaudojimo spektras. Šių įrenginių populiarėjimas ir aparatinės įrangos galimybių augimas atvėrė galimybes naujai sričiai – virtualiai realybei (VR), kuri šiuo metu yra viena iš labiausiai populiarėjančių technologijų. Tačiau, didelė dalis įrenginių, skirtų atvaizduoti virtualią realybę, yra mobilieji telefonai su specialiai jiems pritaikytais akiniais, todėl resursai yra riboti – ypač telefono baterija.

Šiame darbe yra pristatoma programinė įranga, kuri vartotojams leidžia dalintis 360 laipsnių vaizdo įrašus internetinėje sistemoje, o naudojantis programėle, skirta „Samsung GearVR“ įrenginiui, peržiūrėti visų sistemos vartotojų įkeltus įrašus virtualioje realybėje. Dokumente pateikta darbo analizė, kurioje analizuojamos technologijos padėsiančios įgyvendinti šį projektą, aptariami ir palyginami jau egzistuojantys panašūs sprendimai. Taip pat pateikiama sistemos projektinė dalis, kuriame aprašoma projektavimo eiga ir sprendimai. Sukurtos programinės įrangos pagalba buvo atlikti eksperimentai siekiant išsiaiškinti efektyviausią įrašo vaizdavimo metodą ir kokybinius parametrus virtualioje realybėje, kurių rezultatai pateikti eksperimentinėje dalyje.

2. ANALITINĖ DALIS

Turinio transliavimo sistemos pagrindinės kūrimo problemos yra – vaizdo perdavimas internetu ir vaizdo atkūrimas virtualioje realybėje. Analitinėje dalyje bus nagrinėjamos šios temos susijusios su pagrindine problematika:

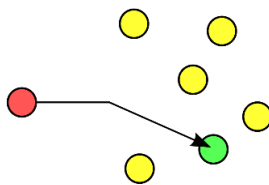
1. Vaizdo perdavimo metodai.
2. Vaizdo perdavimo technologijos.
3. Virtualios realybės atvaizdavimo įrenginiai.
4. Virtualios realybės atvaizdavimo metodai.
5. Virtualios realybės atvaizdavimo priemonės.
6. Egzistuojantys sprendimai.

2.1. Vaizdo perdavimo metodai

Vaizdo perdavimas vartotojui iš serverio yra atliekamas internetu per RTMP ar RTMFP protokolą. Perdavimo metodai šiais protokolais yra skirstomi į 3 pagrindinius tipus.

2.1.1. Transliavimas individualiais adresais (angl. „unicast“)

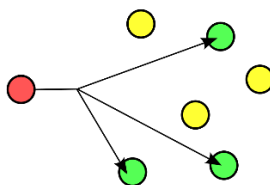
Šis transliavimo tipas sudaro vienas-su-vienu jungtį tarp kliento ir serverio (žr. 2.1 pav.) ir naudoja sesijomis pagrįstus protokolus, kaip TCP ir UDP. Kai klientas prisijungia naudodamas šį būdą, yra gaunama tiesioginė sąsaja su serveriu. Kiekvienas prisijungiantis klientas sunaudoja tam tikrą serverio tinklo pralaidumo dalį. Kuo daugiau klientų – tuo didesnė serverio pralaidumo dalis yra sunaudojama. Sunaudojus visą serverio pralaidumą atsiranda duomenų perdavimo trikdžiai [1].



2.1 pav. Transliavimo unikaliais adresais proceso schema

2.1.2. Grupinis transliavimas (angl. „multicast“)

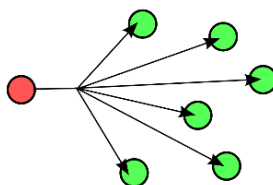
Tai yra transliavimo tipas, kai duomenys yra adresuojami grupei įrenginių tinkle (žr. 2.2 pav.). Duomenys yra išsiunčiami grupei ir tik tos grupės nariai gauna/apdoroja duomenis. Šiame transliavimo tipe siuntėjas išsiunčia tik vieną duomenų kopiją ir ji yra pristatoma į daug įrenginių, taip apkraunant kuo įmanoma mažiau tinklą [1].



2.2 pav. Grupinio transliavimo proceso schema

2.1.3. Transliacija (angl. „broadcast“)

Tai yra transliavimo tipas, kai duomenys yra išsiunčiami vieną kartą ir jų kopija yra persiunčiami visiems įrenginiams esantiems tinkle, į kurį buvo išsiųsti duomenys (žr. 2.3 pav.) [1].



2.3 pav. Transliacijos proceso schema

2.2. Vaizdo perdavimo technologijos

Tinkamas vaizdo perdavimo procesas ir tinkamai parinkta technologija yra labai svarbi visos sistemos kūrimo dalis, kadangi tai labai įtakoja vartotojo patirtį (pavyzdžiui, parinkus blogą perdavimo technologiją vartotojas gali matyti dažnai stringantį ar iškraipytą vaizdą). Šiam darbui atlikti bus naudojamas vaizdo perdavimo serveris. Toliau yra pateikiami vieni iš populiariausių vaizdo perdavimo serverių, atitinkantys kuriamos sistemos pobūdį.

2.2.1. „Wowza Streaming Engine“

„Wowza“ serveris gali transliuoti vaizdą į įvairaus tipo klientus ir įrenginius vienu metu. Tai gali būti „Adobe Flash Player“, „Microsoft Silverlight Player“, „Apple QuickTimePlayer“, „iOS“ įrenginiai, 3GPP mobilieji telefonai, IPTV priedėlis ar žaidimų konsolės kaip „Wii“, „Xbox“ ar „Playstation 3“. Šis transliavimo serveris yra suderinamas su dauguma standartinių transliacijos protokolų, kaip RTMP (ir jo variantais RTMPS, RTMPT, RTMPE, RTMPTE), HDS, HLS, MPEG DASH, RTSP ir MPEG-TS. Perduoti vaizdą ir garsą į „Wowza“ variklį galima per RTP, RTSP, RTMP, MPEG-TS ir ICY protokolus. Šis įrankis yra mokamas [2].

2.2.2. „Red5“

Tai yra nemokamas vaizdo transliavimo serveris parašytas JAVA kalba. „Red5“ leidžia perduoti vaizdą FLV, F4V, MP4 ir 3GP, o garsą MP3, F4A, M4A ir AAC formatais. Tiesioginį vaizdą leidžia perduoti FLV, VP6, o garsą MP3 ir AAC formatais. Naudojami protokolai – RTMP, RTMPT, RTMPS, RTMPE [3].

2.2.3. „ScaleEngine“

Šis serveris leidžia transliuoti vaizdą „Android“ ir „iOS“ įrenginiams ir staliniams kompiuteriams naudojant vieną šaltinį. Naudojami RTMP, RTSP ir HLS perdavimo protokolai, jog perduoti tiesioginį arba pagal pareikalavimą (angl. „*on demand*“) aukštos kokybės vaizdą. Visas vaizdo transliavimo procesas vyksta per CDN tinklą. Šis įrankis yra mokamas [4].

2.2.4. „VideoLAN Server (VLS)“

Šis serveris gali transliuoti MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 failus, retransliuoti skaitmeninius satelitinius kanalus, skaitmeninės antžeminės televizijos kanalus. Taip pat be problemų susidoroja su tiesioginių vaizdo įrašų perdavimu naudojant transliavimą individualiais adresais (angl. „*unicast*“) arba grupinį transliavimą (angl. „*multicast*“). Įrankis yra nemokamas [5].

2.3. Virtualios realybės atvaizdavimo įrenginiai

Virtuali realybė gali būti vaizduojama įvairiausiuose įrenginiuose, kurių su kiekviena diena vis daugėja. Tai gali būti specializuotas įrenginys, paprasčiausia kartoninė dėžutė su lęšiais ir išmaniuoju telefonu viduje ar paprasta interneto naršyklė. Populiariausi įrenginiai atvaizduojantys virtualią realybę:

2.3.1. „Oculus Rift“

„Oculus Rift“ yra pirmasis profesionalus įrenginys skirtas atvaizduoti virtualiai realybei. Jis sugeba išgauti 1080x1200 raiškos rezoliuciją kiekvienai akiai, 90 Hz vaizdo atsinaujinimo greitį ir 110 laipsnių žiūrėjimo kampą. „Oculus Rift“ turi įmontuotas ausines, kurios perteikia erdvinį garsą. Taip pat turi ir sukimosi bei pozicijos sekimą. Pozicijos sekimas yra atliekamas naudojantis stacionariu USB infraraudonųjų spindulių sensoriumi, kuris yra pastatomas, pavyzdžiui, ant vartotojo stalo, kas leidžia šiuo įrenginiu naudotis sėdint, stovint ar netgi vaikstant po kambarį. „Oculus Rift“ nėra nepriklausomas įrenginys – jis turi būtinai būti prijungtas prie kompiuterio, kuriame vyksta vaizdo apdorojimas [6].

2.3.2. „Samsung GearVR“

Šis įrenginys yra sukurtas „Oculus Rift“ pagrindu – „Samsung“ kompanijai bendradarbiaujant su jo kūrėjų įmone. „Samsung GearVR“ veikimui yra būtinas „Samsung“ išmanusis telefonas („Galaxy Note 4“, „Galaxy S6/S6 Edge“, „Galaxy S7/S7 Edge“ arba „Galaxy S8“), kurį reikia įsigyti atskirai. Išmanusis telefonas yra šio įrenginio procesorius ir vaizdo perdavėjas. Pats „Samsung GearVR“ įrenginys savyje turi tik plataus kampo stebėjimo lęšius ir judesio fiksavimo daviklį, kuris jungiasi prie išmaniojo įrenginio micro-USB jungtimi. Šiuo įrenginiu yra pasiekiamas iki 101 laipsnio žiūrėjimo kampas, o vaizdo raiška – 1280x1440. [7].

2.3.3. „FOVE VR“

Šis virtualios realybės įrenginys skiriasi nuo visų kitų, jog turi interaktyvų akies judesio sekimą. Viduje įrenginio yra įmontuotas infraraudonųjų spindulių sensorius, kuris seka įrenginį dėvinčio žmogaus akies veiksmus. „FOVE VR“ suteikia realesnį vaizdą nei kiti įrenginiai, kadangi akies sekimas leidžia simuliuoti vaizdo „gylį“ [8].

2.3.4. „HTC VIVE“

Tai yra vienas iš nedaugelio įrenginių, kuris prie virtualios realybės atvaizdavimo prijungia ir judėjimą joje. Specialiai išdėstytų sensorių pagalba kambarys yra paverčiamas į 3D erdvę su virtualiu pasauliu, kuriame vartotojas gali laisvai judėti, o specialių valdiklių pagalba – manipuluoti virtualioje realybėje esančiais objektais. Vaizdo parametrai yra identiki „Oculus Rift“ įrenginiui – „HTC Vive“ sugeba išgauti 1080x1200 raiškos rezoliuciją kiekvienai akiai, 90 Hz vaizdo atsinaujinimo greitį ir 110 laipsnių žiūrėjimo kampą. Taip pat kaip ir „Oculus Rift“ šis įrenginys nėra mobilus – informacija į įrenginį yra perduodama iš prijungto kompiuterio [9].

2.3.5. „Google Cardboard“

Tai yra pati pigiausia platforma, kuri leidžia vartotojui patirti virtualią realybę. „Google Cardboard“ yra iš kartono padaryti akiniai turinti du 45mm židinio nuotolio lęšius ir vietą išmaniajam telefonui, kuris yra įdedamas į vidų ir atlieka vaizdo atkūrimo bei padėties sekimo funkcijas. Programėlės, palaikančios „Google Cardboard“, išmaniojo telefono vaizdą padalina į dvi dalis ir pritaiko vaizdo iškreipimo algoritmą (angl. „*barrel disortion*“), tuomet vaizdas yra dar kartą iškreipiamas lęšių pagalba, ko pasėkoje gauname panoraminį vaizdą ir platų žiūrėjimo kampą [10].

2.3.6. Interneto naršyklė

Tai yra pats paprasčiausias ir mažiausią pojūtį suteikiantis būdas atvaizduoti virtualios realybės vaizdą. Visas vaizdas yra pateikiamas tiesiai naršyklės lange kaip paprastas vaizdo įrašas, tačiau su galimybe jį sukinėti, taip imituojuant galvos pasukimą į kurią nors šoną.

2.4. Virtualios realybės atvaizdavimo metodai

2.4.1. Monoskopinio 360 laipsnių vaizdo atvaizdavimo metodai

Monoskopinis vaizdas virtualios realybės erdvėje yra vaizduojamas dviem pagrindiniais metodais – sferoje ir kube.

1. Vaizdavimas sferoje (angl. „*sphere mapping*“)

Tai yra pats pirmasis 360 laipsnių vaizdavimo metodas. Šis metodas aproksimuoja paviršius darant prielaidą, jog aplinka yra be galo tolima sferinė siena. Visa aplinka yra kaip viena tekstūra (žr. 2.4 pav.), vaizduojant kaip atspindėta sfera atrodytą, jeigu ji būtų įterpta į aplinką naudojant ortografinę projekciją. Tekstūra savyje turi visos aplinkos atspindžio duomenis, išskyrus vietas, kuri yra tiesiai už sferos [11].



2.4 pav. Vaizdas, paruoštas atvaizduoti sferoje

(Šaltinis paimtas iš: <http://forums.newtek.com/attachment.php?attachmentid=103764&d=1335122764>)

2. Vaizdavimas kube (angl. „*cube mapping*“)

Tai yra metodas, kai 6 skirtingos kvadratinės tekstūros yra projektuojamos ant 6 skirtingų kubo sienų, arba viena tekstūra yra išdalinama į 6 dalis (žr. 2.5 pav.). Kubo žemėlapis yra sugeneruojamas pirmiausia sugeneruojant scenos vaizdą šešis kartus iš to pačio žiūrėjimo taško, paimant 90 laipsnių

vaizdą į kiekvieną kubo kraštinę. Daugumoje atvejų vaizdavimui ant kubo yra teikiama pirmenybė nei senesniai – vaizdavimo ant sferos – metodui, nes jis išsprendžia nemažai problemų, tokių kaip vaizdo iškraipymas, priklausomybė nuo žiūrėjimo taško ir skaičiavimų neefektyvumas, kurios egzistuoja vaizdavimo ant sferos metode [11].



2.5 pav. Vaizdas, paruoštas atvaizduoti kube

(Šaltinis paimtas iš: <http://forums.newtek.com/attachment.php?attachmentid=103764&d=1335122764>)

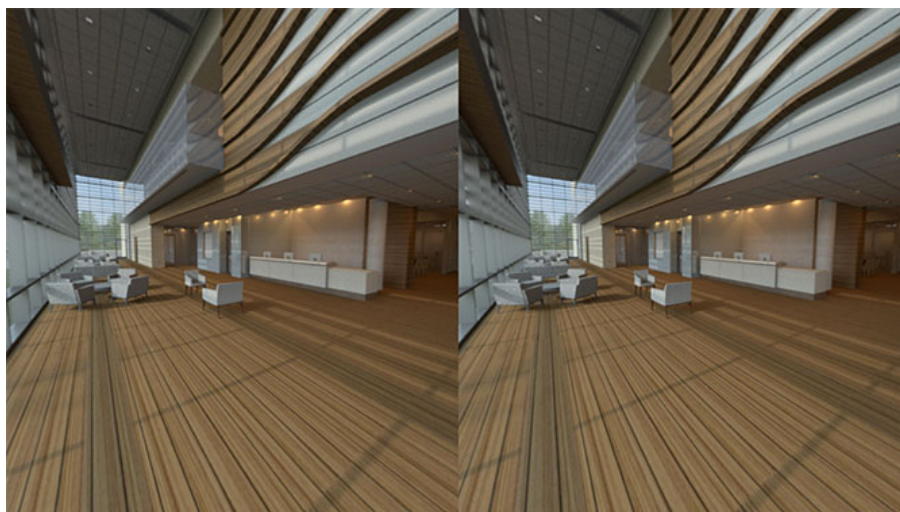
2.4.2. Stereoskopinio 360 laipsnių vaizdo atvaizdavimo metodas

Stereoskopiniai vaizdo įrašai (žr. 2.6 – 2.7 pav.) yra filmuojami su dviem kameromis nukreiptomis į vieną erdvės dalį, arba kitaip tariant – po vieną kamerą vienai akiai. Tai žiūrovui suteikia gylio pojūtį. Stereoskopinis vaizdas suteikia daug geresnę žiūrėjimo patirtį, tačiau ir yra daug sunkiau įgyvendinamas. Tokio vaizdo atkūrimui yra reikalinga sulipinti vaizdo įrašus atskirai kiekvienai akiai ir sukurti SBS (angl. „*side-by-side*“) 3D vaizdo kartografavimą kairiam ir dešiniam vaizdui. SBS 3D vaizdo įrašas gali būti skirtingų konfigūracijų – sudarytas iš vaizdų nufilmuotų viršuje ir apačioje (žr. 2.6 pav.) arba kairėje ir dešinėje (žr. 2.7 pav.). Būtina pažymėti, jog stereoskopinis 3D vaizdas sumažina vaizdo įrašo raišką, nes 2 SBS vaizdo įrašai turi tilpti vienu metu ekrane. Pavyzdžiui, naudojant tokią pačią įrangą galima išgauti 3480x1920 monoskopinį vaizdą arba 1920x960 stereoskopinį. Žemesnės raiškos naudojimas gali sukelti vaizdo susiliejimą arba detalių praradimą. Štai todėl dauguma 360 laipsnių turinio kūrėjų ir transliuotojų renkasi kurti monoskopinius, aukštesnės raiškos įrašus. [12]



2.6 pav. Stereoskopinio vaizdo pavyzdys – viršuje ir apačioje

(Šaltinis paimtas iš <http://www.samsung.com/us/samsungdeveloperconnection/developer-resources/gear-vr/stereoscopic.png>)



2.7 pav. Stereoskopinio vaizdo pavyzdys – kairėje ir dešinėje

(Šaltinis paimtas iš https://cdn2.hubspot.net/hubfs/364433/Images/Blog_Files/Blog_Images/VR-Blog.jpg)

2.5. Virtualios realybės atvaizdavimo priemonės

2.5.1. Bendro pobūdžio priemonės

Tai įrankiai (grafikos varikliai), kurie gali atvaizduoti 360 laipsnių vaizdo įrašus:

1. „Unity3D“

„Unity3D“ yra daugiaplatformis grafikos variklis, kuris pagrindė yra naudojamas kurti vaizdo žaidimus personaliniams kompiuteriams, konsolėms, mobiliesiems įrenginiams ir internetinėms svetainėms. Nuo 5.1 versijos šis įrankis su įvairių papildinių pagalba palaiko galimybę vaizdą perduoti į virtualią realybę. „Unity3D“ variklis turi įgyvendintą automatinę galvos pozicijos sekimą. Šis variklis dažniausiai naudojamas „Oculus Rift“ ir „GearVR“ virtualios realybės programoms kurti [13].

2. „Unreal Engine“

Kaip ir „Unity“ tai taip pat pagrindė yra naudojamas kaip žaidimų variklis. Variklio kodas yra parašytas C++ kalba, jis pasižymi dideliu portatyvumu. Variklis palaiko „Microsoft Windows“, „Linux“, „Mac OS“ bei „Mac OS X“ platformas asmeniniams kompiuteriams ir „Dreamcast“, „Xbox“, „Xbox 360“ bei „Xbox One“, „PlayStation 2“, „PlayStation 3“ bei „PlayStation 4“, „Wii“ ir kitas vaizdo žaidimų konsoles. Šis variklis taip pat palaiko virtualią realybę ir „Oculus Rift“, „GearVR“ bei „HTC Vive“ įrenginius [14].

3. „Three.js“

Tai yra „JavaScript“ biblioteka, kuri naudojama kurti ir rodyti 3D animuotas grafikas naršyklėje be papildomų papildinių. „Three.js“ naudoja „WebGL“ ir veikia tik naršyklėse palaikančiose šią technologiją. Ši biblioteka suteikia vieną iš paprasčiausių būdų pasiekti virtualiai realybei. „Three.js“ įrankiu sukurtą virtualios realybės vaizdą galima peržiūrėti tiesiai naršyklės lange [15].

2.5.2. Specializuotos priemonės

Pačio variklio dažniausiai neužtenka atlikti visiems virtualios realybės perteikimo procesams, todėl dažniausiai reikia naudoti papildinius, norint atlikti šį darbą. Papildiniai padedantys apdoroti vaizdą, jį perduoti į virtualią realybę ir joje sąveikauti:

1. „Easy Movie Texture“

Papildinys skirtas „Unity3D“ varikliui, galintis atvaizduoti 360 laipsnių vaizdą sferoje ir galintis išgauti 4K raišką „Android“ įrenginiuose ir 2560x1440 raišką „iOS“ įrenginiuose. „Easy Movie Texture“ gali atvaizduoti įvairius failų formatus iš vidinės įrenginio atminties, turi iškarto

paruoštą galimybę rodyti vaizdą iš įvairių transliavimo servisų. Šis papildinys palaiko HTTP, HLS ir RTSP protokolus [16].

2. „Live Texture“

„Unity3D“ variklio papildinys skirtas atvaizduoti 360 laipsnių vaizdai „iOS“ įrenginiuose. Šis papildinys palaiko tik vaizdo „OpenGL“ standartą. Sugeba atvaizduoti tik vaizdo formatus, kurie yra palaikomi „iOS“ platformos [16].

3. „Universal Video Texture“

Papildinys skirtas „Unity3D“ varikliui galintis atvaizduoti daugelio formatų vaizdo įrašus ir leidžiantis kontroliuoti jų kadru per sekundę kiekį, atkūrimo režimą, tekstūrų tipą ir dar daugelį kitų funkcijų. Tai leidžia atlikti konfigūracijas pagal net ir labai specifinius reikalavimus. „Universal Video Texture“ veikia „Windows“ ir „OS X“ operacinėse sistemose, interneto naršyklėse ir „Android“ ir „iOS“ išmaniuosiuose įrenginiuose [17].

4. „SPlugins MovieTexture“

Dar vienas „Unity“ variklio papildinys, kuris gali atkurti 360 laipsnių vaizdą iš failo jį vaizduodamas kube. „SPlugins Movie Texture“ veikia „iOS“, „Android“, „Windows“, „OS X“ ir „Linux“ platformose. Papildinys palaiko 3D garsą, tačiau tik mobiliuosiuose įrenginiuose. Vaizdas yra atkuriamas „OpenGL ES“ standartu [18].

5. „Krpano Panorama Viewer“

Tai yra mažas ir labai lankstus papildinys skirtas rodyti įvairių tipų panoraminiam vaizdams ir interaktyviems turams kurti. Papildinys veikia kaip „Flash“ arba HTML5 tipo programa. „Krpano“ yra sukurtas naudoti naršyklėse veikiančiose tiek kompiuteriuose, tiek mobiliuosiuose įrenginiuose. Šis papildinys puikiai veikia su „three.js“ varikliu, leisdamas praplėsti jo standartines galimybes [19].

6. „AVPro video“

Papildinys skirtas „Unity“ varikliui galintis atvaizduoti 360 laipsnių vaizdą sferoje arba kube. Palaiko iki 8K vaizdo kokybę (jei tokią kokybę palaiko turimas įrenginys). Veikia „Android“, „iOS“, „OS X“, „tvOS“, „Windows Phone“ įrenginiuose. Visoms platformoms turi vienodą programavimo sąsają (API), todėl labai išplečia kuriamos sistemos galimybes [20].

2.6. Egzistuojantys sprendimai

Virtuali realybė yra jau gana seniai žinoma, tačiau jos intensyvus naudojimas ir jai skirtų įrenginių masinis kūrimas prasidėjo dar visai neseniai. Šiuo metu jos vystymasis ir taikymas dar tik įgauna pagreitį, todėl dauguma įgyvendintų sprendimų yra labiau bandomojo tipo arba būna pritaikyti konkrečiam akademiniam tyrimui. Dėl spartaus srities tobulėjimo ir besivystančios

technologijos sukurtos bandomojo tipo sistemos labai greitai tampa nebeaktualios. Kita nemažai svarbi problema, kad labai mažai produktų vystoma iki pritaikymo realiame gyvenime, net jei technologiškai tai yra įmanoma.

Šiuo metu yra sukurta nedaug pilnai funkcionuojančių ir realiame gyvenime naudojamų vaizdo transliavimo sistemų virtualiai realybei.

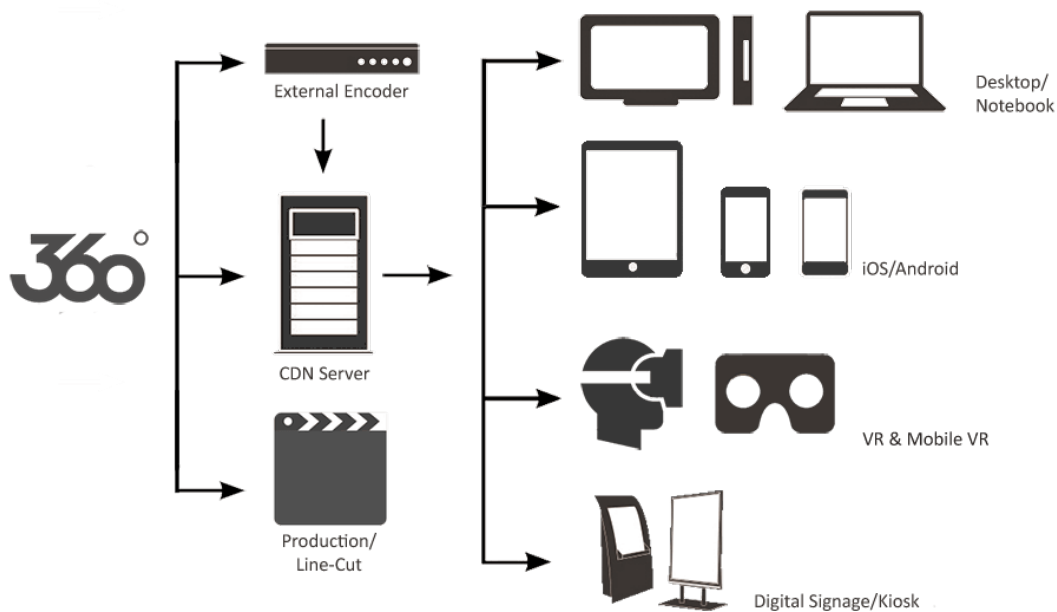
2.6.1. „NextVR“

Šis sprendimas šiuo metu yra vienintelis rinkoje galintis perduoti tiesioginį labai aukštos kokybės vaizdą į virtualią realybę viską perteikiant internetu. Tačiau ši sistema nėra prieinama plačiajai auditorijai ir vaizdo transliacijų kiekvienas norintis atlikti ar pridėti negali. Jos yra daromos pačios kūrėjų kompanijos transliuojant tam tikrus renginius, kadangi vaizdui perduoti yra reikalingos specialios kameros, kurių kompanija šiuo metu nepardavinėja. Transliuojamas vaizdo transliacijos galima stebėti su „Samsung GearVR“ įrenginiu naudojant tam skirtą programėlę. Ši programėlė yra prieinama visiems norintiems.

„NextVR“ sistema atliekant tiesioginę vaizdo transliaciją algoritmų pagalba suspaudžia vaizdą ir transliacijos stebėtojui perduoda tik tuos vaizdus, kurie tuo metu yra jo stebėjimo zonoje ar tuojau bus. Tai leidžia atlikti sklandų vaizdo perdavimą ir išvengti didelių duomenų kiekių perduodant visą 360 laipsnių vaizdą vienu metu [21].

2.6.2. „All360Media“

Šis sprendimas taip pat yra servisas, kuriuo kiekvienas norintis perduoti savo vaizdo įrašus taip pat nepasinaudos – visi turinio perdavimo darbai yra atliekami kūrėjų kompanijos. Didžiausias skirtumas nuo „NextVR“ sistemos yra, jog „All360Media“ neapsiriboja viena platforma ir vaizdą leidžia transliuoti į keletą vienu metu, todėl transliacijos yra pasiekiamos didesnei auditorijai. Šis servisas vaizdą leidžia perduoti per parskirstytą tinklą (CDN) arba tiesiogiai vartotojui, priklausomai pagal poreikius. „All360Media“ sistemoje vaizdas iš specialios kameros yra perduodamas į kodavimo įrenginį iš kurio patenka į serverį. Tada, vaizdas iš serverio yra transliuojamas į vartotojo pasirinktą platformą. Transliavimo principas matomas 2.7 paveikslėlyje [22].



2.8 pav. "All360Media" serviso veikimas

2.6.3. „Youtube“

Šis sprendimas skiriasi nuo prieš tai išvardintų tuo, jog vaizdo įrašus šioje sistemoje gali talpinti ar transliuoti visi norintys, tereikia turėti tik tam tinkamą įrangą. Ši vaizdo transliavimo sistema turi atskirą virtualios realybės programėlę, kuri leidžia vartotojui naršyti ir žiūrėti vaizdo įrašus nenusiimant VR įrenginio nuo savo galvos, tačiau ši programėlė veikia tik pačiuose naujausiuose „Android“ operacinės sistemos įrenginiuose, kurie palaiko „Daydream“ funkcionalumą. Didžiajai daugumai VR įrenginių šiuo metu prieinama „Youtube“ versija yra labai nepatogi – naršymas tarp 360 laipsnių vaizdo įrašų vyksta kaip ir tarp visų, o pasirinkus norimą vaizdo įrašą įrenginys turi būti įdėtas į specialius akinius, pasibaigus – išimtas [23].

2.6.4. Esamų produktų palyginimas

2.2 lentelėje yra pateiktas esamų produktų palyginimas pagal iškeltus kriterijus (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Kokybės kriterijai

Kokybės kriterijus	Aprašymas
Vaizdo perdavimas į kelias platformas	Ar sistema perduoda vaizdą į keletą platformų vienu metu?
Vartotojo transliacijos	Ar sistema leidžia pačiam vartotojui vykdyti transliacijas?
Vaizdo perdavimas per paskirstytą tinklą	Ar sistema perduoda vaizdą per paskirstytą tinklą?

Nemokamas transliacijos vykdymas	Ar transliacijos vykdymas yra mokamas?
Nemokama transliacijos peržiūra	Ar vartotojas gali žiūrėti transliacijas mokamai/nemokamai?
Perduodamas pilnas 360 laipsnių vaizdas	Ar sistema perduoda pilną 360 laipsnių vaizdą?
Tiesioginė vaizdo transliacija	Ar produktas leidžia tiesiogines vaizdo transliacijas?
Iš anksto pridėtos transliacijos	Ar produktas leidžia iš anksto pridėti paruoštas transliacijas ir jas rodyti, kai vartotojas to nori?

2.2 lentelė. Sistemų palyginimas

Palyginimo kriterijai	„NextVR“	„All360Media“	„Youtube“
Vaizdo perdavimas į kelias platformas	-	+	+
Vartotojo transliacijos	-	-	+
Vaizdo perdavimas per paskirstytą tinklą	+	+	+
Nemokamas transliacijos vykdymas	-	-	+
Nemokama transliacijos peržiūra	+	+	+
Perduodamas pilnas 360 laipsnių vaizdas	-	+	+
Tiesioginė vaizdo transliacija	+	+	+
Iš anksto pridėtos transliacijos	+	-	+

Remiantis 2.1 lentele yra matyti, jog daugiausiai savybių turi „Youtube“ produktas. Tačiau šio produkto didžiausias minusas tas, jog pilnas virtualios realybės palaikymas (pvz. peržiūrėti transliacijų sąrašus nenusiėmus VR įrenginio) yra galimas nedaugelyje „Android“ įrenginių, o visuose kituose įrenginiuose – virtualioje realybėje galima stebėti tik patį vaizdo įrašą. Kiti du lyginami produktai vartotojui suteikia pilną virtualios realybės patirtį, tačiau jie abu mokami, jei norima perduoti savo kurtą turinį.

2.7. Analizės išvados

Atlikus analizę buvo priimti šie sprendimai:

1. Pagal kuriamos sistemos poreikius rinksimės grupinio transliavimo (angl. „*multicast*“) būdą, kadangi jis mažiausiai apkrauna įrangą ir tinklą – jeigu nėra įrenginių, kurie yra prisijungę prie transliacijos, duomenų paketai nėra siunčiami.
2. Vaizdo perdavimo technologija nuspręsta pasirinkti „Wowza Streaming Engine“ [2] serverį, kadangi jis turi plačiausias galimybes ir palaiko daugiausiai standartų, o tai yra naudinga, jei ateityje bus planuojama plėsti kuriamą sistemą.
3. Virtualios realybės atvaizdavimui pasirinktas „Samsung GearVR“ [7] įrenginys, kadangi jis sugeba išgauti aukštą vaizdo kokybę, yra mobilus ir turi labiausiai ribotus resursus (bateriją), kas aktualu atliekant šį tyrimą.
4. Monoskopiniai 360 laipsnių vaizdo įrašai yra pagrindinis virtualia realybe perduodamas turinys. Tokio tipo vaizdo įrašai yra lengviausias bei pigiausias būdas išgauti 360 laipsnių erdvę, todėl kuriama programinė įranga yra taikoma į monoskopinius vaizdo įrašus.
5. Virtualios realybės vaizdo įrašams atvaizduoti įrenginyje pasirinktas „Unity3D“ [13] grafikos variklis, kadangi jis yra daugiaplatformis ir gerai paruoštas integracijai su „Samsung GearVR“ [7] programavimo sąsaja. Kartu su šiuo varikliu pasirinktas naudoti „AVPro video“ [20] papildinys dėl jo teikiamos programavimo sąsajos ir palaikomų platformų.

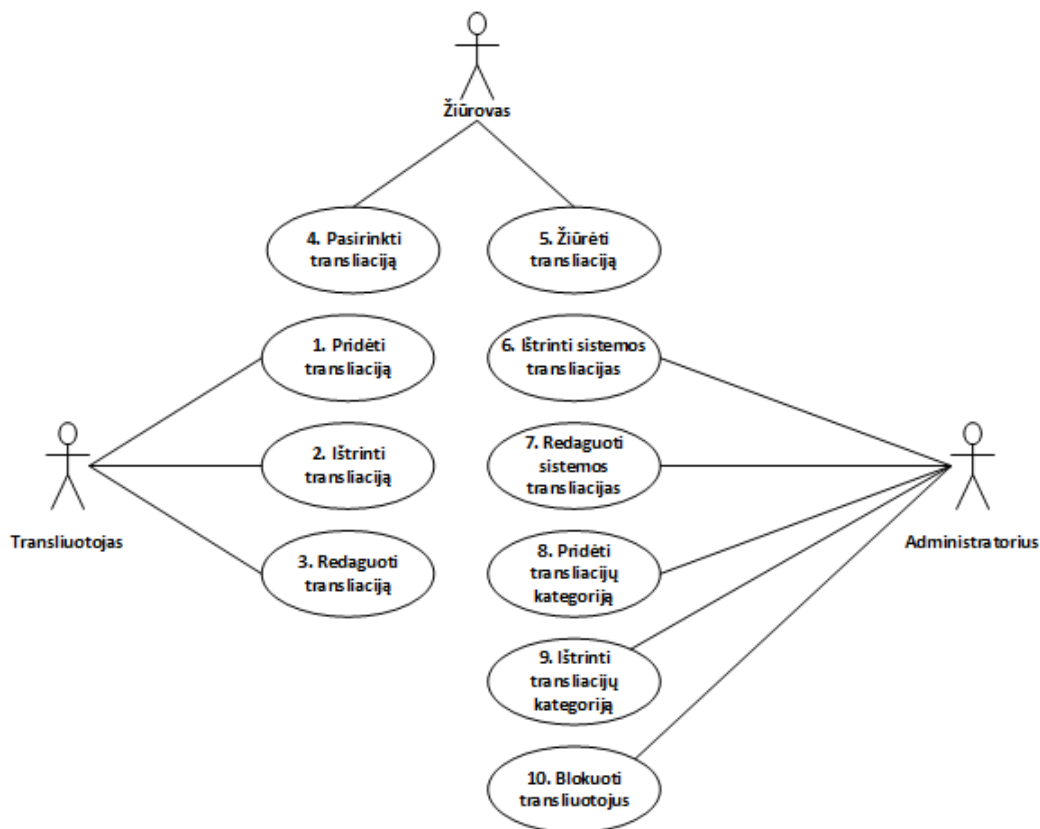
3. PROJEK TINĖ DALIS

3.1. Sistemos paskirtis

Turinio transliavimo virtualiai realybei sistema susideda iš dviejų dalių – internetinės turinio talpinimo sistemos ir mobiliosios programėlės. Turinio kūrėjai internetinėje sistemoje gali talpinti 360 laipsnių vaizdo įrašus, jiems priskiriant kategoriją, aprašymą, miniatiūrą, o jau įkeltą turinį – tvarkyti, t.y. redaguoti arba ištrinti. Žiūrovai, naudodamiesi programėle, kuri yra realizuota naudojant „Unity3D“ variklį, ir virtualios realybės įrenginiu „Samsung GearVR“, gali stebėti kitų vartotojų sistemoje patalpintą turinį jo neparsisiųsdami į savo įrenginį. Programėlėje yra realizuota 360 laipsnių vartotojo sąsaja, todėl žiūrovui suteikta galimybė naršyti įkeltą turinį ir jį stebėti nenusiųs virtualios realybės įrenginio atlikti kokiems nors papildomiems pasirinkimo ar paleidimo veiksams.

3.2. Sistemos panaudos atvejų diagrama

Atsižvelgiant į sistemos paskirtį ir keliamus reikalavimus buvo apibrėžti panaudos atvejai (žr. 3.1 pav.). Taip pat sistemoje buvo išskirti 3 pagrindiniai vartotojų tipai – transliuotojas, kuris talpina vaizdo įrašus internetinėje sistemoje, žiūrovai, kuris stebi vaizdo įrašus naudojantis programėle, ir administratorius, kuris prižiūri tvarką sistemoje.



3.1 pav. Sistemos panaudos atvejai

Išskirti yra šie panaudos atvejai:

- *Pridėti transliaciją.* Vartotojas turi galimybę patalpinti savo sukurtą turinį į internetinę sistemą, kuri vėliau bus prieinama visiems vartotojams.
- *Ištrinti transliaciją.* Vartotojas turi galimybę iš sąrašo ištrinti vieną ar visas savo patalpintas transliacijas.
- *Redaguoti transliaciją.* Vartotojas turi galimybę pakeisti jau pridėtos transliacijos informaciją – miniatiūrą, aprašymą, kategoriją.
- *Pasirinkti transliaciją.* Naudodamasis virtualios realybės įrenginiu vartotojas gali sąrašė pasirinkti norimą transliaciją.
- *Žiūrėti transliaciją.* Naudodamasis virtualios realybės įrenginiu vartotojas gali stebėti pasirinktą transliaciją.
- *Ištrinti sistemos transliacijas.* Sistemos administratorius gali ištrinti bet kurią transliaciją iš sistemos.
- *Redaguoti sistemos transliacijas.* Sistemos administratorius gali redaguoti bet kurios sistemos transliacijos informaciją - miniatiūrą, aprašymą, kategoriją.
- *Pridėti transliacijų kategoriją.* Sistemos administratorius gali pridėti naują transliacijų kategoriją.
- *Ištrinti transliacijų kategoriją.* Sistemos administratorius gali ištrinti pridėtas transliacijų kategorijas.
- *Blokuoti transliuotojus.* Sistemos administratorius gali blokuoti sistemos transliuotojus. Užblokuotas transliuotojas netenka priėjimo prie sistemos ir visų savo įkeltų transliacijų.

3.3. Nefunkciniai reikalavimai

3.3.1. Reikalavimai sistemos išvaizdai

Bendri reikalavimai turinio transliavimo sistemos virtualiai realybei sistemos vartotojo sąsajai:

- lengvai skaitoma ir neperkrauta sąsaja;
- neįkyri sąsaja (pavyzdžiui, nereikalaujanti, ką nors kelis kartus patvirtinti);
- 360 laipsnių sąsaja programėlėje;

3.3.2. Reikalavimai panaudojamumui

Panaudojimo paprastumo (lengvumo) turinio transliavimo virtualiai realybei kriterijai:

- Produktas turi būti lengvai suprantamas ir naudojamas visose amžiaus grupėse;
- Produktas turi padėti vartotojui išvengti klaidų;
- Transliacijos pasirinkimo ir peržiūros funkcijos turi būti nesunkiai randamos ir naudojamos vartotojų be jokio apmokymo ar netgi kalbos supratimo;
- Naudojami terminai produkte turi būti natūraliai suprantami bet kokio tipo vartotojui;

- Produktas turi būti nekeliantis sunkumo naudotis žmonėms, kurie turi sutrikimų atskiriant spalvas;
- Žiūrovas visiškai neturintis patirties IT sferoje ir nesusidūręs su virtualios realybės įrenginiais turi nesunkiai rasti transliacijos pasirinkimo ir jos peržiūros funkcijas be instrukcijų.

3.3.3. Reikalavimai vykdymo charakteristikoms

- Sistemos atsakas į vartotojo veiksmus turi būti užtektinai greitas, jog nesijaustų strigimų. Į paspaudimus tiek internetinė sistema, tiek mobilioji programėlė turi sureaguoti greičiau nei 1s (neįskaitant interneto ryšio vėlinimo laiko);
- Sistema turi perduoti ir apdoroti bent 1080x1200 rezoliucijos vaizdus (vienai akiai) 90Hz atsinaujinimo dažniu.

3.3.4. Reikalavimai veikimo sąlygoms

- WEB sistemos dalis turi veikti visose naujausiose internetinių naršyklių versijose;
- Mobilioji programėlė turi veikti „Android“ operacinėje sistemoje naudojant „Samsung GearVR“ įrenginį.

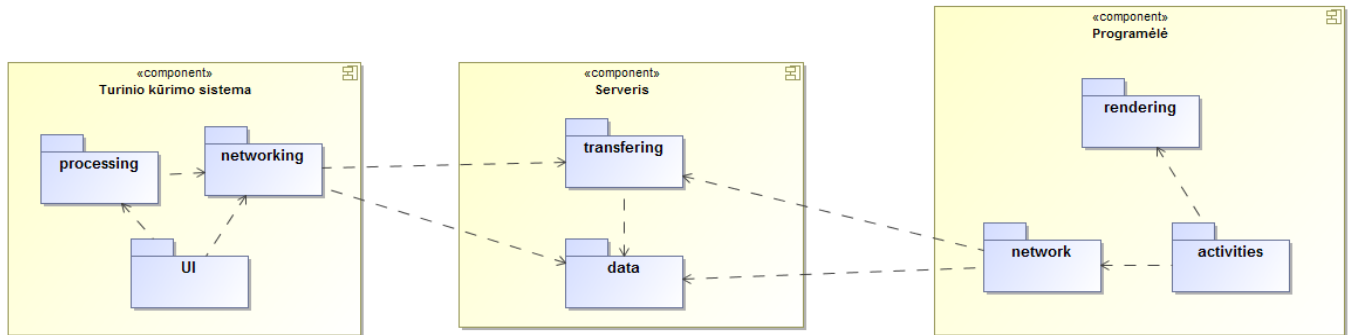
3.3.5. Reikalavimai saugumui

- Sistemoje yra saugoma tik vartotojo vardas, el. pašto adresas ir slaptažodis. Daugiau jokie kiti vartotojo duomenys nėra reikalingi sistemai;
- Transliuotojų informaciją gali matyti tik sistemos administratoriai;
- Sistemoje nesaugoma jokia informacija apie žiūrovų stebėtas transliacijas;
- Žiūrovai nėra skirstomi į atskiras grupes, todėl jiems visiems vienodai yra prieinama transliuotojų įkelta vaizdo medžiaga ir informacija.

3.4. Sistemos architektūros modelis

3.4.1. Sistemos komponentai

Sistema yra padalinta į 3 visiškai atskirus komponentus – turinio kūrimo sistemą, serverį ir programėlę, kurie yra sudaryti iš skirtingo skaičiaus ir apimties paketų (žr. 3.2 pav.).



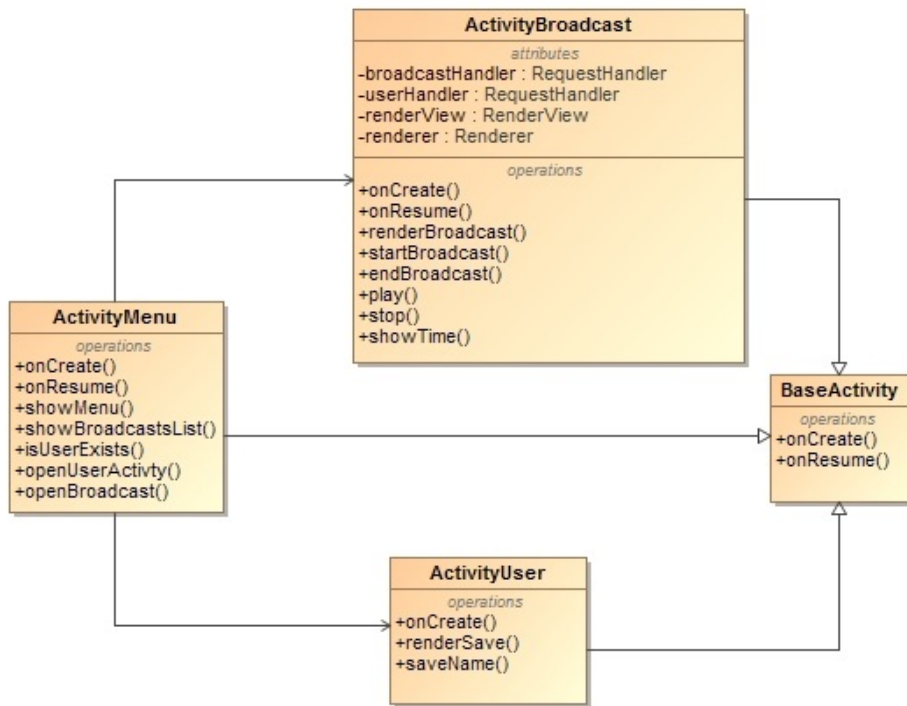
3.2 pav. Sistemos komponentai

3.4.2. Sistemos komponentų detalizavimas

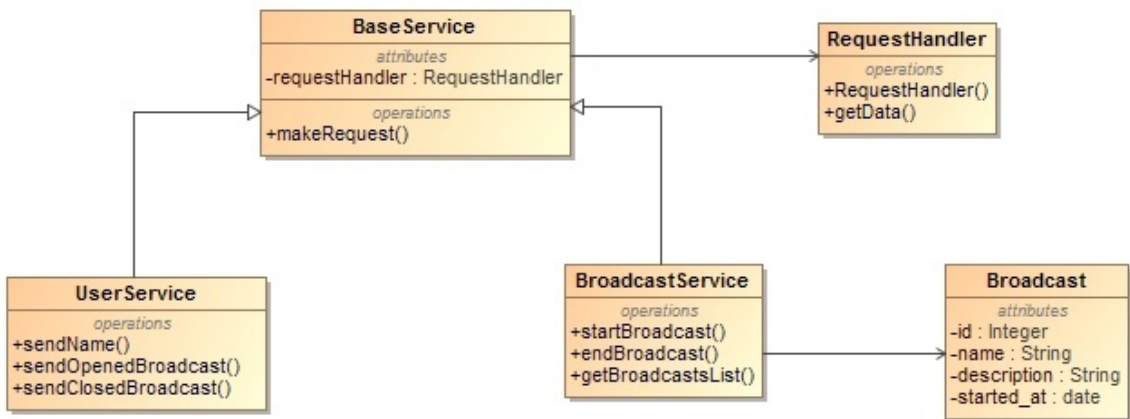
3.4.2.1. Programėlė

Programėlės komponentas susideda iš trijų paketų:

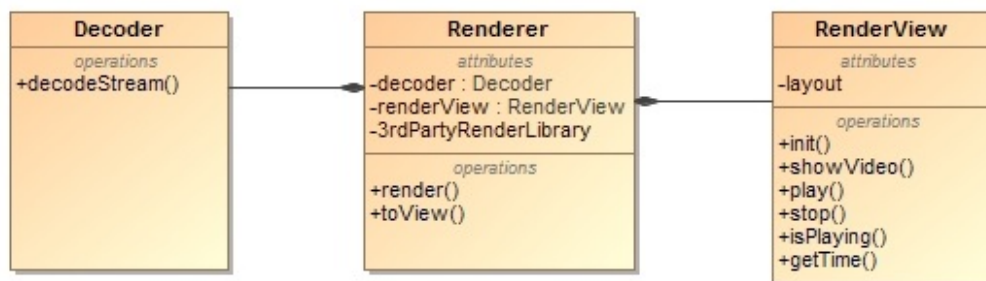
1. „Activities“ (žr. 3.3 pav.) - paketas atsakingas už vartotojo sąsajos atvaizdavimą mobilioje programėlėje.
2. „Network“ (žr. 3.4 pav.) – paketas skirtas atlikti veiksmas susijusiems su tinklu kaip duomenų siuntimas ar gavimas.
3. „Rendering“ (žr. 3.5. pav.) – paketas skirtas atvaizduoti gautą transliaciją 360 laipsnių vaizdu.



3.3 pav. "Activity" paketo klasių diagrama



3.4 pav. "Networking" paketo klasių diagrama

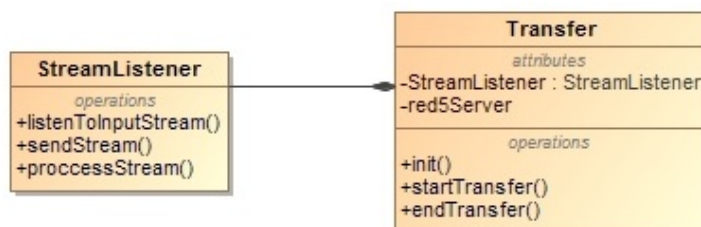


3.5 pav. "Rendering" paketo klasių diagrama

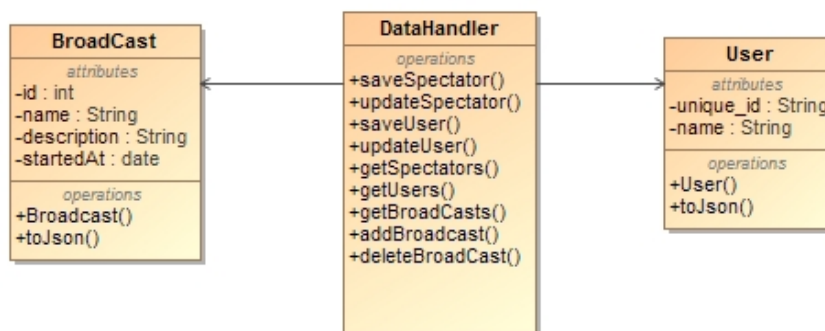
3.4.2.2. Serveris

Serverio komponentas susideda iš 2 paketų:

1. „Transferring“ (žr. 3.6 pav.) – paketas skirtas serverio duomenų perdavimui į vartotojų VR įrenginius.
2. „Data“ (žr. 3.7 pav.) – paketas skirtas vartotojų ir transliacijos duomenims saugoti ir atlikti veiksmus su jais.



3.6 pav. "Transferring" paketo klasių diagrama

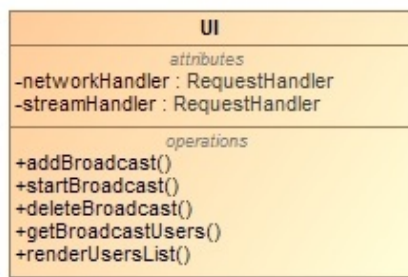


3.7 pav. "Data" paketo klasių diagrama

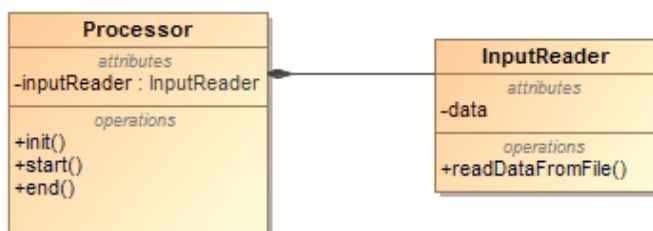
3.4.2.3. Turinio kūrimo sistema

Turinio kūrimo komponentas susideda iš 3 paketų:

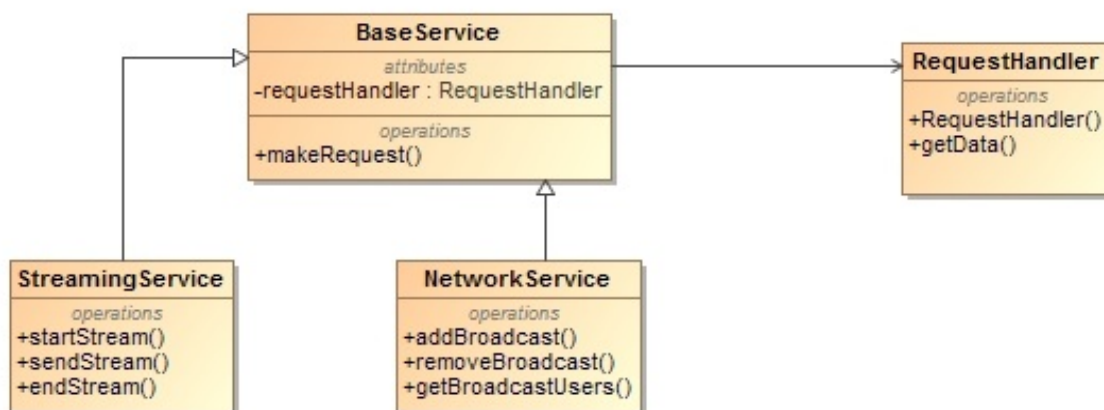
1. "UI" (žr. 3.8 pav.) – paketas skirtas atvaizduoti vartotojo sąsajai, kuria transliuotojas naudojami naršyklėje.
2. "Processing" (žr. 3.9 pav.) – paketas skirtas apdoroti įkeliamai transliacijai.
3. "Networking" (žr. 3.10 pav.) – paketas skirtas atlikti veiksmas susijusius su tinklu kaip duomenų siuntimas ar gavimas.



3.8 pav. "UI" paketo klasių diagrama



3.9 pav. "Processing" paketo klasių diagrama



3.10 pav. "Networking" paketo klasių diagrama

3.5. Naudojami trečiųjų šalių komponentai

Realizuojant sistemą panaudoti šiuos trečiųjų šalių komponentai:

- „Wowza Streaming Engine“ [2]– vaizdo perdavimui iš serverio į mobilųjį įrenginį.
- „Unity3D“ [13] – grafikos variklis, naudojamas bendram programėlės karkasui ir sukurti 360 laipsnių sąsajai.
- „AVPro Video“ [20] - grafikos variklio papildinys, teikiantis erdvinio vaizdo programavimo sąsają įvairiems įrenginiams.

3.6. Naudojama aparatūrinė įranga

Turinio transliavimo virtualiai realybei sistema veikia su visų trijų kartų „Samsung GearVR“ virtualios realybės įrenginiu (pirmosios kartos įrenginys pavaizduotas 3.11 pav.). Kadangi šis įrenginys yra skirtas tik 360 laipsnių vaizdo atvaizdavimui, o ne jo apdorojimui, todėl kartu reikia naudoti vieną iš naujausių „Samsung“ įrenginių. „GearVR“ veikia su „Galaxy S6“, „Galaxy S6 Edge“, „Galaxy S6 Edge+“, „Samsung Galaxy Note 5“, „Galaxy S7“ ir „Galaxy S7 Edge“, „Galaxy S8“ ir „Galaxy S8+“ įrenginiais.



3.11 pav. "Samsung Gear VR" įrenginys

4. TYRIMAI IR EKSPERIMENTINĖ DALIS

Atliekamų eksperimentų metu yra siekiama palyginti kaip internetu perduodamo 360 laipsnių vaizdo įrašo kokybė ir jos atvaizdavimo metodas (sferoje ar kube) įtakoja virtualios realybės įrenginio parametrų kitimą. Tam ištirti bus atlikti šie eksperimentai:

- Baterijos įkrovos lygio kitimo eksperimentas;
- Procesoriaus apkrovos kitimo eksperimentas;
- Procesoriaus ir baterijos temperatūrų kitimo eksperimentas;
- Kadry per sekundę (FPS) kitimo eksperimentas;
- Sistemos panaudojamumo eksperimentas;

4.1. Eksperimento metu naudota įranga

Eksperimentas buvo atliekamas naudojant „Samsung Galaxy S7“ (G930F) mobilųjį telefoną su virtualios realybės įrenginiu „GearVR“. Tyrimui buvo paruoštas 360 laipsnių 1 valandos trukmės vaizdo įrašas penkiomis skirtingomis raiškomis:

- 3840 x 1920 (4K)
- 2560 x 1440 (2K)
- 1920 x 1080 (1080p)
- 1280 x 720 (720p)
- 854 x 480 (480p)

4.2. Baterijos įkrovos lygio kitimo eksperimentas

4.2.1. Tikslas

Šio eksperimento tikslas yra ištirti kaip kinta įrenginio baterijos įkrovos lygis žiūrint skirtingos raiškos vaizdo įrašus skirtingais vaizdavimo metodais.

4.2.2. Metodika

Eksperimento metu naudojamas įrenginys „WiFi“ ryšio ir „Android Debug Bridge“ (sutrumpintai – ADB) tvarkyklių pagalba duomenų kaupimui buvo prijungtas prie kompiuterio. Prijungimas USB laidu nebuvo naudojamas, nes su juo yra pradedamas telefono krovimas, o tai iškreiptų eksperimento rezultatus. Prieš atliekant naują bandymą įrenginys buvo pakraunamas iki 100%. Tyrimui buvo panaudoti 2 skirtingi virtualios realybės vaizdo generavimo metodai – rodymas sferoje ir rodymas kube. Visi paruošti vaizdo įrašai abiem būdais buvo rodomi po 1 valandą. Baterijos įkrovos lygis gaunamas naudojant „Android“ operacinės sistemos diagnostavimo komandą „dumpsys“. Ši komanda leidžia gauti visų telefono elementų detalią informacijos išklotinę.

Eksperimento metu kas minutę buvo paleidžiama „adb shell dumpsys battery | finstr level“ komanda baterijos diagnostikai atlikti ir išsaugomas jos įkrovos lygis.

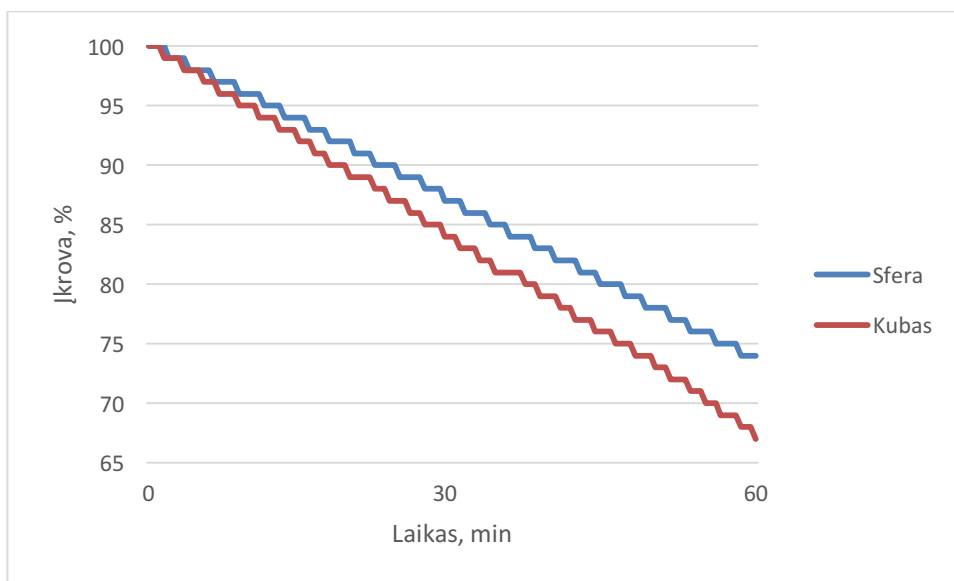
4.2.3. Rezultatai

Atlikus eksperimentą yra matoma, jog baterijos įkrovos lygis kinta nuosekliai nepriklausant nuo vaizdo įrašo raiškos ar vaizdavimo metodo (žr. 4.1 pav.). Tai reiškia, jog vaizdo įrašas palaipsniui siunčiamas iš interneto visos peržiūros metu, o nėra užkraunamas peržiūros pradžioje, o vėliau rodomas iš atminties. Lyginant rezultatus tarp skirtingų atvaizdavimo metodų yra matoma, jog galinis įkrovos lygio skirtumas tarp vaizdavimo metodų pradeda didėti kylant įrašų raiškai. 480p vaizdo įrašo pabaigoje matomas baterijos įkrovos lygis (4.1 lentelė) yra atitinkamai 9% ir 13% mažesnis pabaigus žiūrėti 4K raiškos vaizdo įrašą. Papildomi baterijos lygio kitimo grafikai pateikti prieduose 8.1 – 8.10 paveikslėliuose.

Iš šių rezultatų galima daryti išvadą, jog galinis baterijos įkrovos lygis yra įtakojamas vaizdavimo metodo ir raiškos. Nors esant žemiausiai raiškai galinis įkrovos lygis yra labai panašus, tačiau stebint 4K raiškos vaizdo įrašą baterijos lygis sferos vaizdavimo metodu yra 6% didesnis nei vaizduojant kube.

4.1 lentelė. Baterijos įkrovos lygiai po vaizdo įrašų peržiūros

Raiška	Vaizduojant sferoje, %	Vaizduojant kube, %
480p	83	81
720p	80	78
1080p	78	75
1440p	77	70
4K	74	68



4.1 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas stebint 4K vaizdo įrašą

4.3. Procesoriaus apkrovos lygio kitimo eksperimentas

4.3.1. Tikslas

Atliekamo eksperimento tikslas yra iširti kaip kinta įrenginio procesoriaus apkrovos lygis žiūrint skirtingos raiškos vaizdo įrašus skirtingais vaizdavimo metodais.

4.3.2. Metodika

Eksperimento metu naudojamas įrenginys „WiFi“ ryšio ir „Android Debug Bridge“ (sutrumpintai – ADB) tvarkyklių pagalba duomenų kaupimui buvo prijungtas prie kompiuterio. Belaidis ryšys panaudotas tam, jog prijungus USB laidu yra pradedamas automatinis krovimas, kas įtakoja minimalų telefono kaitimą, o tai gali iškreipti rezultatus. Prieš atliekant naują bandymą įrenginio procesoriui buvo leidžiama atvėsti bent iki 35C. Tyrimui buvo panaudoti 2 skirtingi virtualios realybės vaizdo generavimo metodai – rodymas sferoje ir rodymas kube. Visi paruošti vaizdo įrašai abiem būdais buvo rodomi po 1 valandą. „Android“ operacinės sistemos branduolys yra paremtas „Linux“ pagrindu, todėl procesoriaus apkrova lengvai gaunama naudojant komandą „top“. Atliekant eksperimentą šios komandos pagalba procesoriaus apkrovos duomenys buvo gaunami kas 2 sekundes ir įrašomi į tekstinį failą kompiuteryje.

4.3.3. Rezultatai

Vidutinė procesoriaus apkrova (4.1 lentelė) auga keliant vaizdo įrašo rezoliuciją, tačiau lyginant vaizdavimo metodus – ji yra labai panaši. Eksperimentuojant su žemesnės raiškos vaizdo įrašais, vaizdavimas kube reikalauja šiek tiek mažiau procesoriaus apkrovos, tačiau didinant raišką procesoriaus apkrova pasidaro mažesnė nei stebint tokį patį vaizdo įrašą kube. Iš apkrovos grafikų (žr. 8.11-8.20 pav.) yra matoma, jog apkrova žemesnės kokybės įrašuose išlieka stabili režiuose, tačiau kylant kokybei vaizdavimo kube apkrovos minimalios ir maksimalios reikšmės pradeda labai nutolti nuo vidurkio. Stebint 4K raiškos įrašą vidurkių skirtumas pasiekia 1%, tačiau lyginant apkrovos grafikus yra matoma, jog apkrova vaizduojant sferoje (žr. 8.19 pav.) yra pastovesnė nei kube (žr. 8.20 pav.). Sferoje apkrova stabiliai keičiasi tarp 30-40%, o kube yra gana dažnai viršijama 40% riba ir kartas nuo karto pasiekiami 45% atžyma. Tačiau žiūrint iš kitos pusės – apkrova vaizduojant kube kartas nuo karto nukrenta ir žemiau 30%.

Apibendrinus šiuos rezultatus galima teigti, jog procesoriaus apkrovos vidurkis priklauso tik nuo perduodamo vaizdo įrašo raiškos, tačiau stabilesnė apkrova didinant raišką yra pasiekama naudojant vaizdavimą sferoje.

4.2 lentelė. Procesoriaus apkrovų vidurkiai

Raiška	Sfera	Kubas
480p	30%	29,4%
720p	30,5%	29,9%
1080p	31,4%	32,1%
1480p	33,4%	33,5%
4K	34%	35%

4.4. Procesoriaus ir baterijos temperatūrų kitimo eksperimentas

4.4.1. Tikslas

Atliekamo eksperimento tikslas yra iširti kaip kinta įrenginio procesoriaus ir baterijos temperatūros žiūrint skirtingos raiškos vaizdo įrašus skirtingais vaizdavimo metodais.

4.4.2. Metodika

Eksperimento metu naudojamas įrenginys „WiFi“ ryšio ir „Android Debug Bridge“ (sutrumpintai – ADB) tvarkyklių pagalba duomenų kaupimui buvo prijungtas prie kompiuterio. Belaidis ryšys panaudotas tam, jog prijungus USB laidu yra pradedamas automatinis krovimas, kas įtakoja minimalų telefono kaitimą, o tai gali iškreipti rezultatus. Prieš atliekant naują bandymą įrenginio procesoriui buvo leidžiama atvėsti bent iki 35C, o baterijai – 26C.. Tyrimui buvo panaudoti 2 skirtingi virtualios realybės vaizdo generavimo metodai – rodymas sferoje ir rodymas kube. Visi paruošti vaizdo įrašai abiem būdais buvo rodomi po 1 valandą. Kiekvienas „Android“ įrenginys sisteminėje direktorijoje turi failus, kuriuose yra saugoma pagrindinių telefono dalių esama temperatūra. Šios direktorijos yra vadinamos „šiluminėmis zonomis“ (angl. „*thermal zones*“) ir yra besikeičiančios priklausomai nuo įrenginio pagrindinės plokštės gamintojo. Tyrimo metu naudotas „Samsung Galaxy S7“ įrenginys turi 8 šilumines zonas. Šiame tyrime buvo naudojamos 2 terminės zonos – 2-toji, kuri rodo procesoriaus ir vaizdo plokštės temperatūrą (kadangi naudojamame įrenginyje šie 2 elementai yra vienoje plokštėje) ir 8-toji, kuri rodo baterijos temperatūrą. Kas 2 sekundes buvo leidžiama komanda „cat“, kuri nuskaitydavo elementų temperatūras.

4.4.3. Rezultatai

Atliekant eksperimentą pastebėta, jog stebint žemesnės raiškos vaizdo įrašus (480p ir 720p) šiek tiek mažesnis maksimalus įrenginio užkaitimas pastebėtas naudojant vaizdavimo sferoje metodą. Tačiau lyginant 8.21 pav. su 8.22 pav. yra matoma, jog naudojant sferos vaizdavimo metodą per pirmąsias 15 minučių pasiekta 38C temperatūra nežymiais pasikeitimais buvo išlaikoma likusio įrašo metu, o vaizdavimo kube metodu visos peržiūros metu tiek procesoriaus (žr. 8.22 pav.), tiek baterijos (žr. 8.24 pav.) temperatūra palaipsniui kilo ir tikriausiai būtų kilusi dar aukščiau. Stebint 720p raiškos įrašą procesoriaus temperatūra abiem vaizdavimo metodais kito ir buvo išlaikoma panaši, tačiau matant kubo vaizdavimo metodo procesoriaus ir baterijos temperatūrų kitimo grafikų (žr. 8.24 pav. ir 8.26 pav.) paskutines 10 minučių, galima daryti išvadą, jog ilgesnio vaizdo įrašo metu šios temperatūros gali didėti. Stebint 1080p kokybės vaizdo įrašą vaizdavimo sferoje metodu yra pasiekama aukštesnė procesoriaus (+4C) ir baterijos (+1.3C) maksimalios temperatūros lyginant su vaizdavimo kube metodu. Lyginant procesoriaus ir baterijos kitimų graikus (žr. 8.21 pav. – 8.40 pav.) yra matoma, jog vaizduojant sferoje įrenginys kaista greičiau – 45C temperatūra yra pasiekama apie 15-tą minutę, kai tuo tarpu kube – maksimali temperatūra (43C) yra pasiekama tik pražiūrėjus beveik pusę valandos įrašo. Ta pati tendencija matoma ir baterijos temperatūros kitimo graikuose – sferoje 33C temperatūra yra pasiekama 15-tą minutę, o kube – 30-tą. Tačiau abiem metodais pasiekus šias temperatūras, jos, priešingai nei stebint 480p ir 720p raiškos įrašus, su nedideliais

pokyčiais išlaikomos iki pačios pabaigos. Stebint aukščiausių raiškų (1440p ir 4K) vaizdo įrašus buvo užfiksuotos vos ne identiškos maksimalių temperatūrų reikšmės (4.3 lentelė). Stebint šių raiškų vaizdo įrašus abiem vaizdavimo metodais pasiektos temperatūros per pirmąsias 15-20 minučių, kaip ir stebint 1080p raiškos vaizdo įrašą, su nedideliais pasikeitimais buvo išlaikomos iki pabaigos.

Apibendrinus temperatūrų kitimo rezultatus, galima teigti, jog jeigu yra orientuojamasi į žemesnės raiškos (480p, 720p) arba ilgesnės trukmės (daugiau nei 1 valanda) vaizdo įrašus, vaizdavimo sferoje metodas yra geresnis pasirinkimas, kadangi įrenginys kaista šiek tiek mažiau ir ilgesnės peržiūros metu išlaikoma stabili temperatūra, kai tuo tarpu naudojant vaizdavimo kube metodą, temperatūra kyla visą peržiūros laiką. Tačiau stebint trumpesnius (iki 20 minučių) vidutinės raiškos (1080p) vaizdo įrašus, vaizdavimo kube metodas yra šiek tiek optimalesnis, kadangi maksimali temperatūra yra pasiekama lėčiau nei vaizduojant sferoje.

4.3 lentelė. Maksimalios procesoriaus ir baterijos temperatūros

Raiška	Sfera, maks. proc. temperatūra, C	Kubas, maks. proc. temperatūra, C	Sfera, maks. baterijos temperatūra, C	Kubas, maks. baterijos temperatūra, C
480p	39	41	28,8	31,7
720p	40	42	29,2	32,5
1080p	47	43	34,8	33,5
1440p	48	48	35,4	34,8
4K	50	50	35,5	34,8

4.5. Kadru per sekundę (FPS) kitimo eksperimentas

4.5.1. Tikslas

Atliekamo eksperimento tikslas yra ištirti kaip kinta kadru per sekundę (FPS) skaičius žiūrint skirtingos raiškos vaizdo įrašus skirtingais vaizdavimo metodais.

4.5.2. Metodika

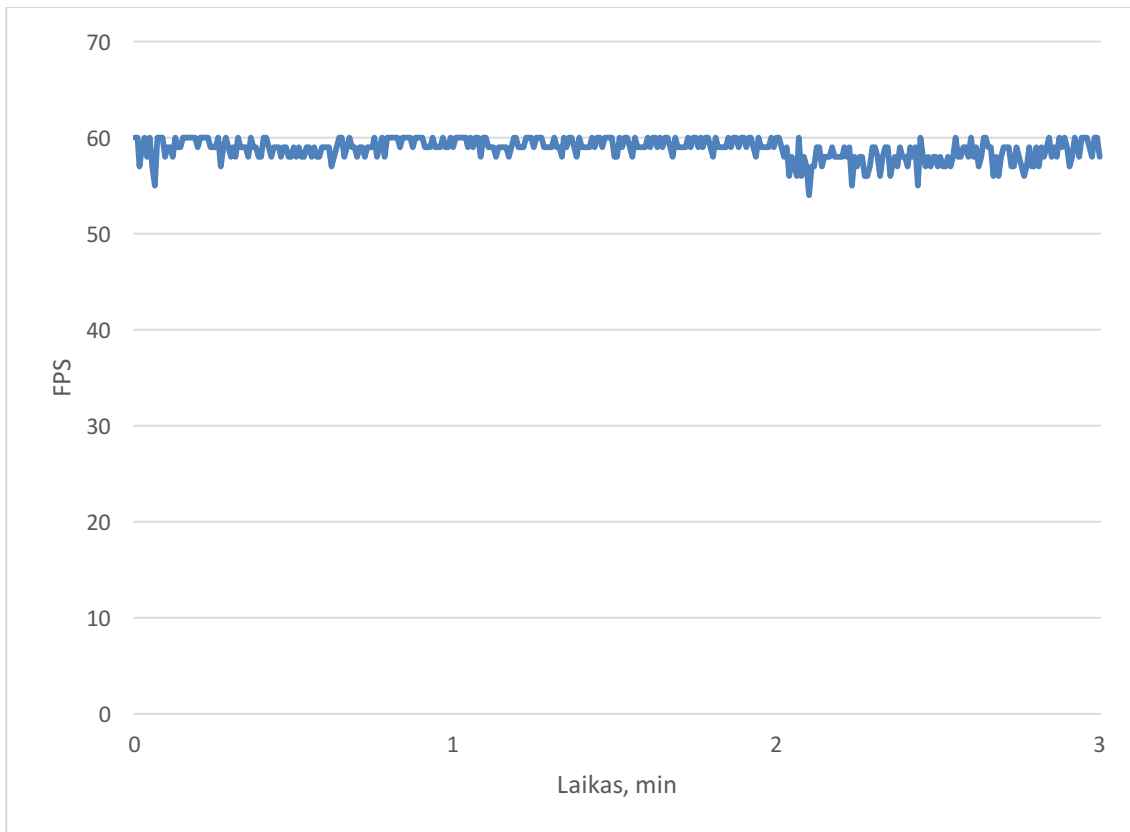
Eksperimento metu naudojamas įrenginys „WiFi“ ryšio ir „Android Debug Bridge“ (sutrumpintai – ADB) tvarkyklių pagalba duomenų kaupimui buvo prijungtas prie kompiuterio. Prijungimas USB laidu nebuvo naudojamas, nes su juo yra pradedamas telefono krovimas, o krovimo metu vykstantis nors ir minimalus kaitimas tai gali iškreipti eksperimento rezultatus. Prieš

atliekant naują bandymą įrenginio procesoriui buvo leidžiama atvėsti bent iki 35C. Tyrimui buvo panaudoti 2 skirtingi virtualios realybės vaizdo generavimo metodai – rodymas sferoje ir rodymas kube. „GearVR“ įrenginio programavimo sąsaja realiu laiku kas sekundę į „Android“ įrenginio registrą („logcat“) įrašo virtualios realybės vaizdavimo parametrus, tarp kurių yra ir kadru per sekundę skaičius. Naudojant komandą „adb logcat -s VrApi“ reikiama informacija buvo įrašoma į tekstinį failą. Atliekant eksperimentą buvo naudojamos trys pirmosios minutės iš paruoštų vaizdo įrašų. Pirmoji įrašų minutė buvo stebima žiūrint į vieną tašką, antroji – lėtais judesiais besidairant aplink stengiantis imituoti normalų vaizdo įrašų stebėjimą, o trečioji – staigiais judesiais kreipiant stebėjimo sritį siekiant pamatyti kaip sistema susidoroja su staigiais matomos vaizdo zonos pokyčiais.

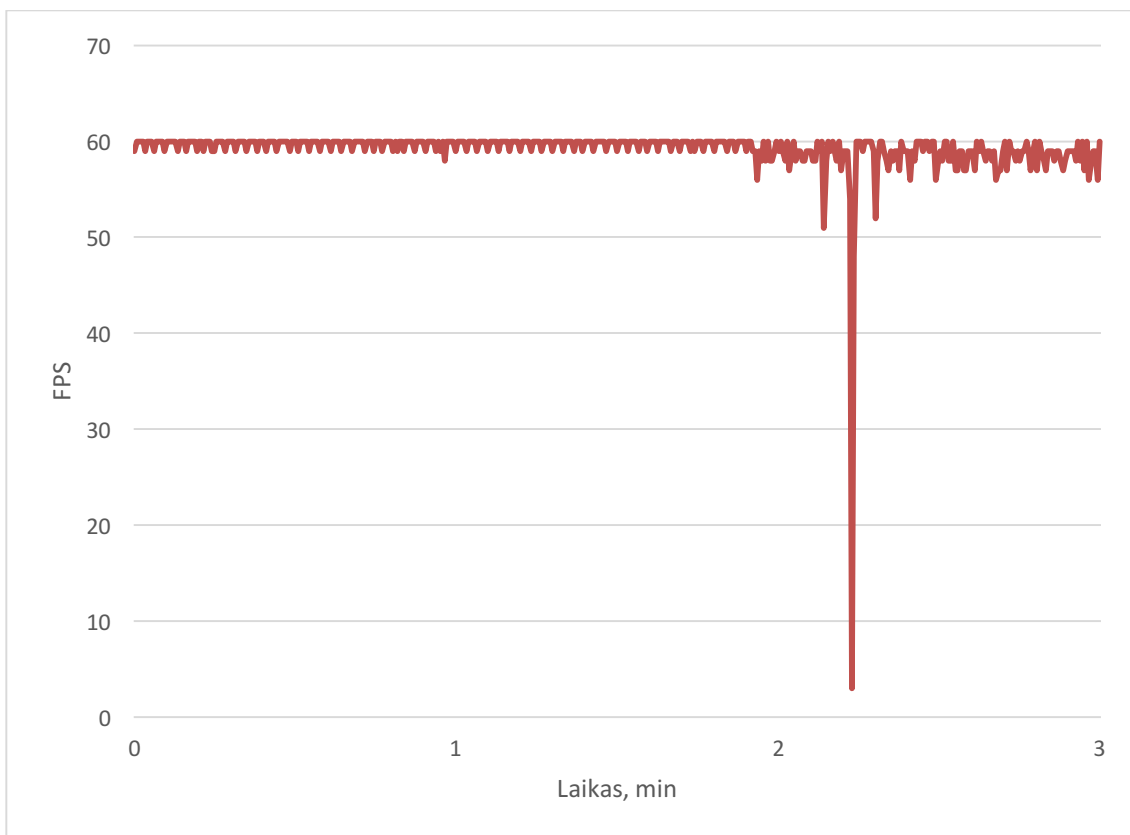
4.5.3. Rezultatai

Atlikus tyrimą matome, jog stebint 480p (žr. 4.2 - 4.3 pav.) ir 720p (žr.4.4 - 4.5 pav.) raiškos vaizdo įrašus pirmąsias dvi minutes kadru per sekundę kiekis išlieka stabilus – kubo vaizdavimo metodu užfiksuotas kritimas žemiau nei 59 kadrai per sekundę, o sferos – 57. Stebint 1080p įrašą (žr. 4.6 - 4.7 pav.), pirmąją minutę kadru skaičius išlaikomas toks pats stabilus kaip ir 480p ar 720p įrašuose, tačiau tarp antrosios ir trečiosios minutės, kai buvo pradėta dairytis aplink, pastebėtas dažnesnis FPS kitimas zonoje tarp 55 ir 60 kadru per sekundę. Panašus FPS kitimas buvo užfiksuotas ir stebint 1440p raiškos įrašą (žr. 4.8 - 4.9 pav.) pirmąsias dvi minutes. Atliekant 4K raiškos įrašo stebėjimą (žr. 4.10-4.11 pav.) ramybės būsenoje buvo užfiksuotas FPS kitimas tarp 55 ir 60, o pradėjus dairytis aplinkui, kadru skaičius per sekundę kisdavo zonoje tarp 49 ir 60, o vienu metu, naudojant vaizdavimo kube metodą, buvo užfiksuotas kritimas iki 40. Visų eksperimentų metu naudojant kubo vaizdavimo metodą, trečios minutės pradžioje, kai buvo pradėdama atlikti staigūs stebėjimo srities pokyčiai, buvo iššaukti stiprūs kadru per sekundę kritimai –visų bandymų metu buvo pasiekta 0 FPS riba. Naudojant sferos vaizdavimo metodą, staigus kadru kitimas buvo užfiksuotas tik stebint 4K vaizdo įrašą, jo metu pora kartų FPS skaičius buvo nukritęs iki 10-15. Tačiau tolesnis kadru kitimas abiem vaizdavimo metodais išlikdavo labai panašus į užfiksuotus antrojeje minutėje, kai buvo lėtais judesiais dairomasi aplink.

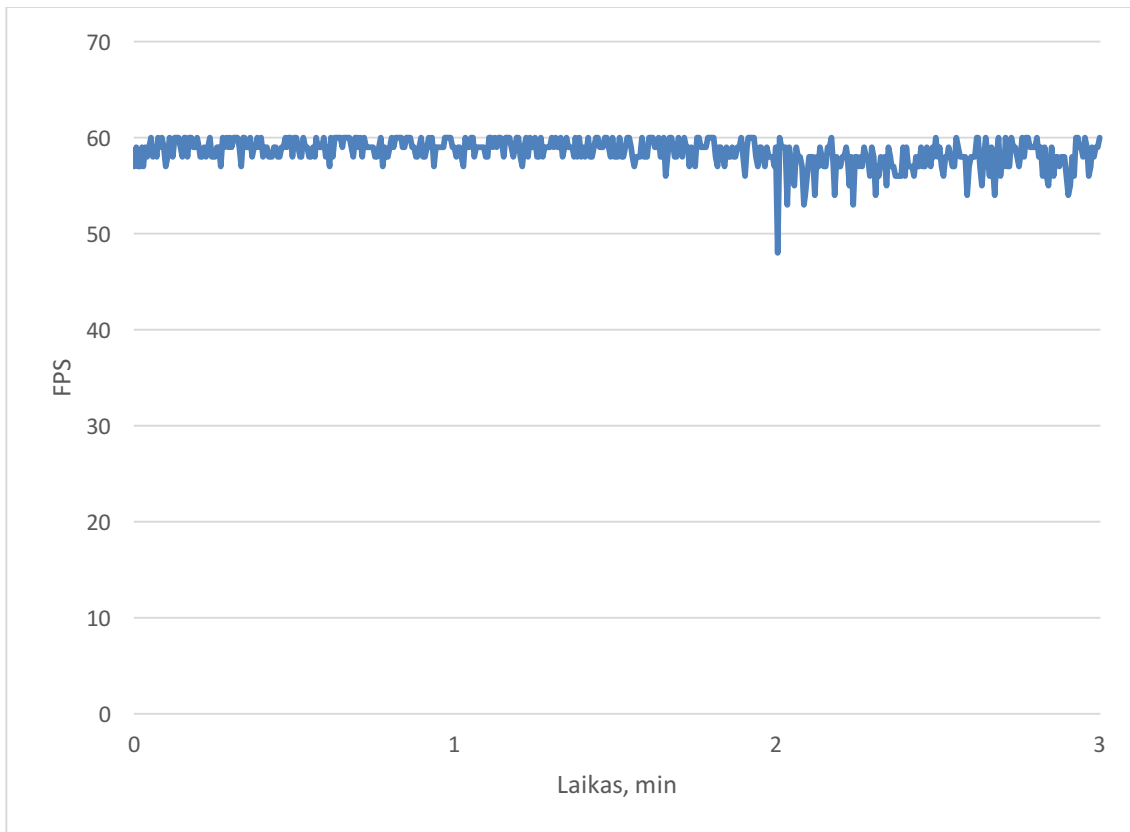
Apibendrinus šiuos rezultatus galima teigti, jog kadru per sekundę kitimas labiausiai priklauso nuo stebimo vaizdo įrašo raiškos ir stebėtojo žiūrimos vaizdo zonos keitimo greičio, ir tik minimaliai priklauso nuo vaizdavimo metodo. Vartotojo akiai matomas FPS kritimas buvo užfiksuotas visuose vaizdo įrašuose, kai buvo naudojamas vaizdavimo kube metodas, kai tuo tarpu, naudojant vaizdavimą sferoje, žymesnis FPS kitimas buvo užfiksuotas tik 4K įrašė. Tačiau šis kritimas buvo užfiksuotas tik ypač greitai keičiant žiūrėjimo zoną, kas paprastai stebint vaizdo įrašus nėra daroma.



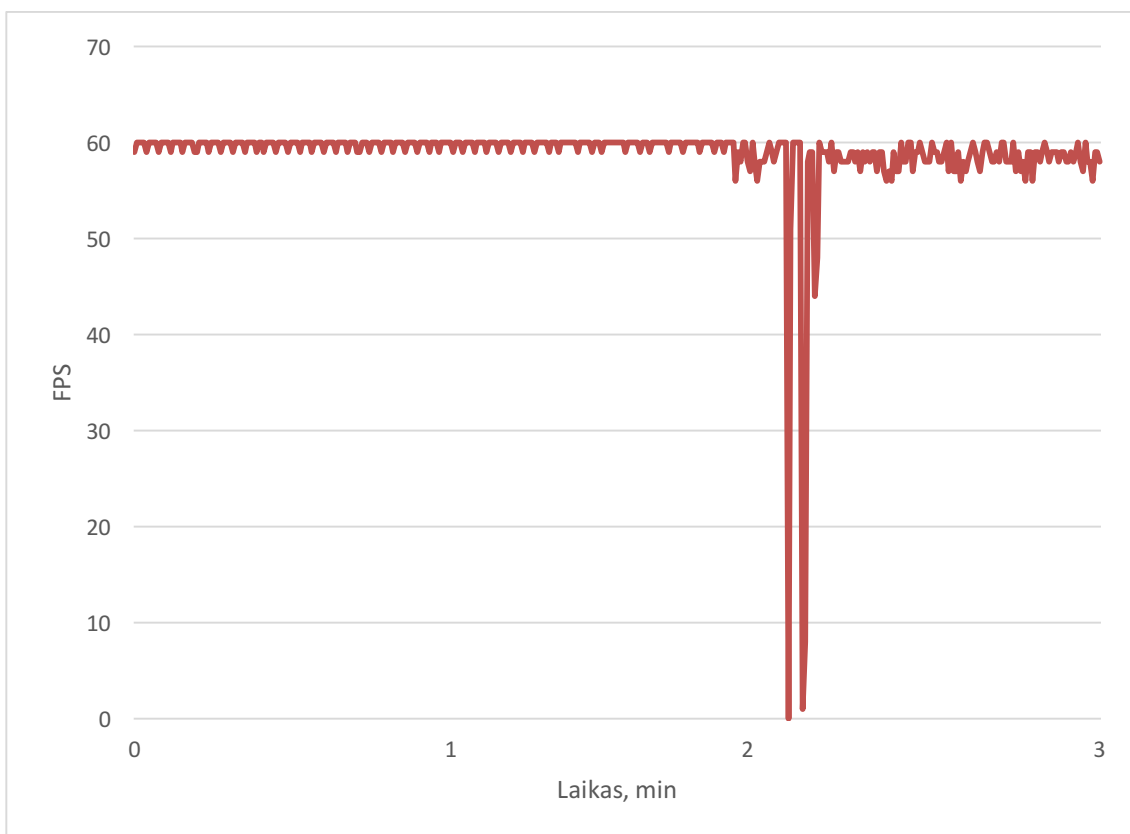
4.2 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (480p)



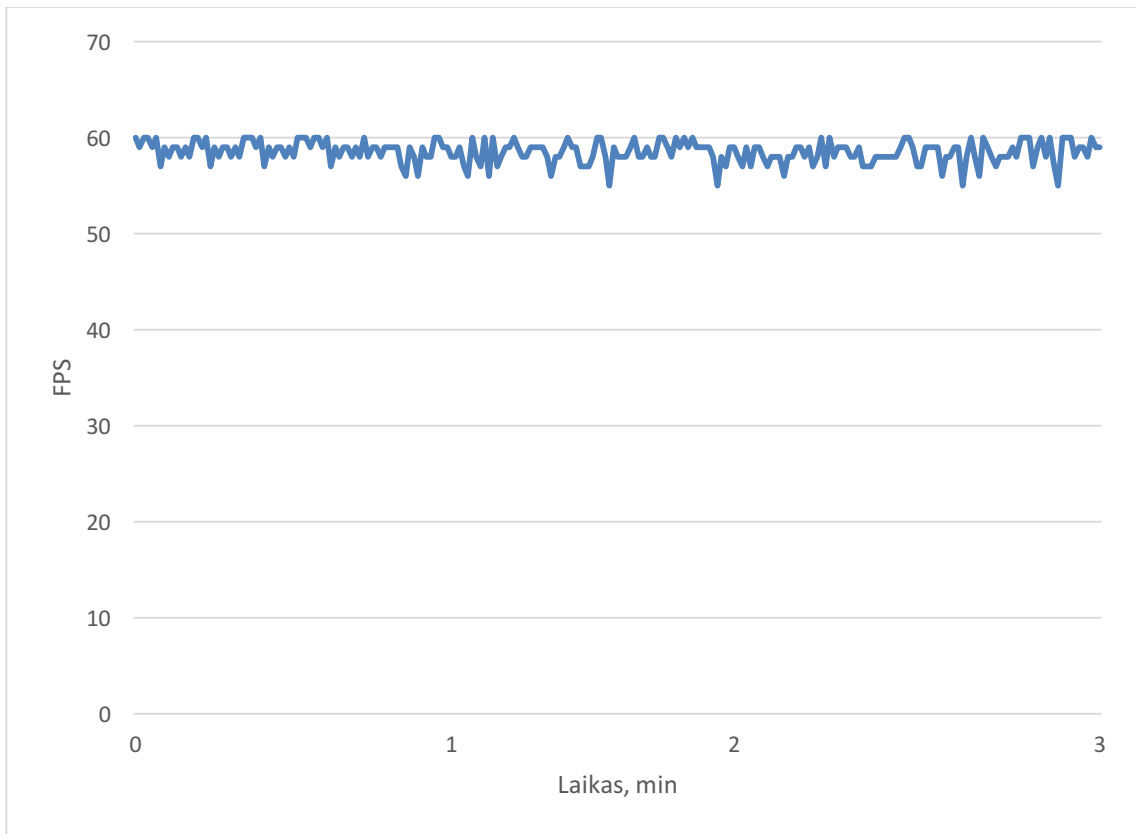
4.3 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (480p)



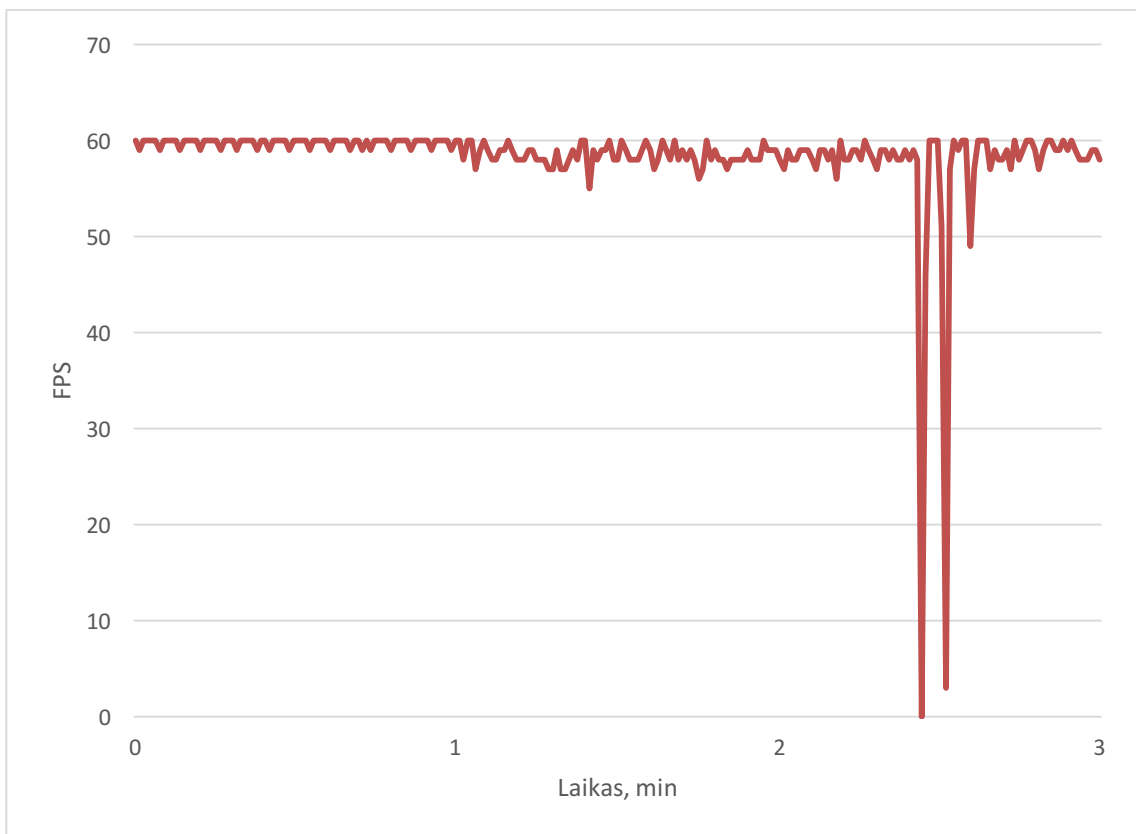
4.4 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (720p)



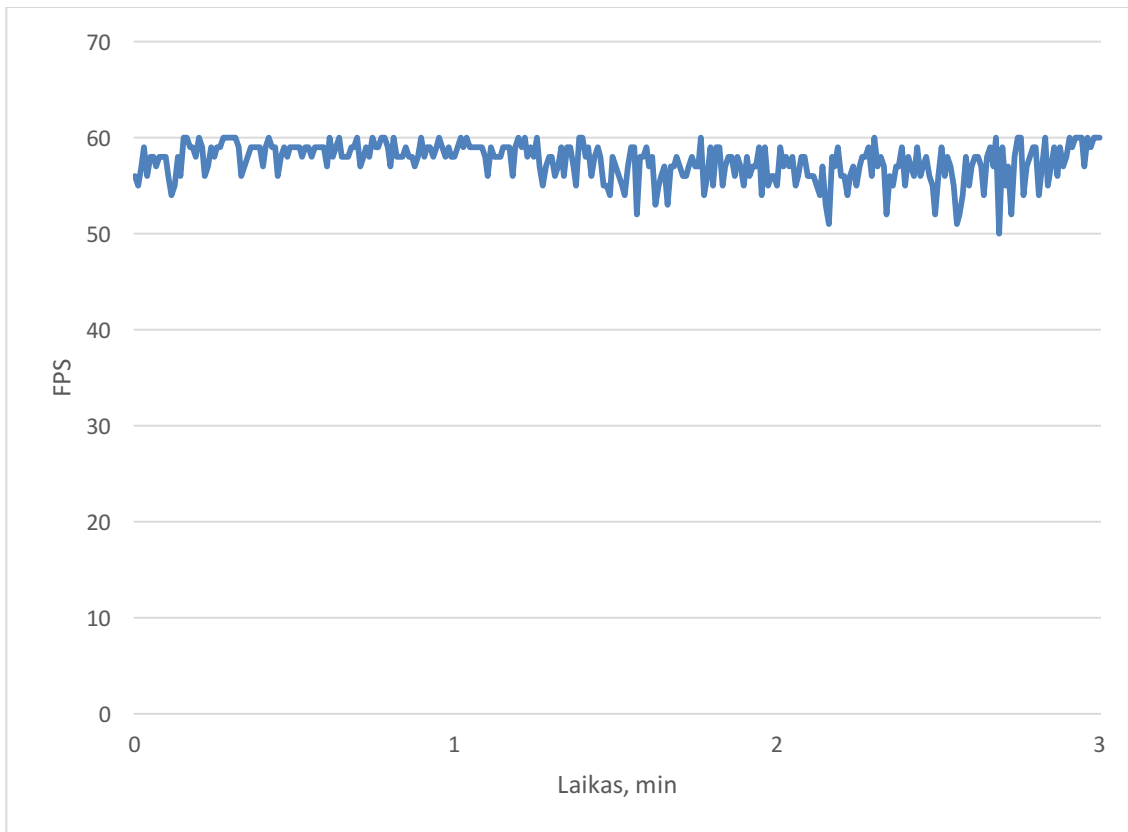
4.5 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (720p)



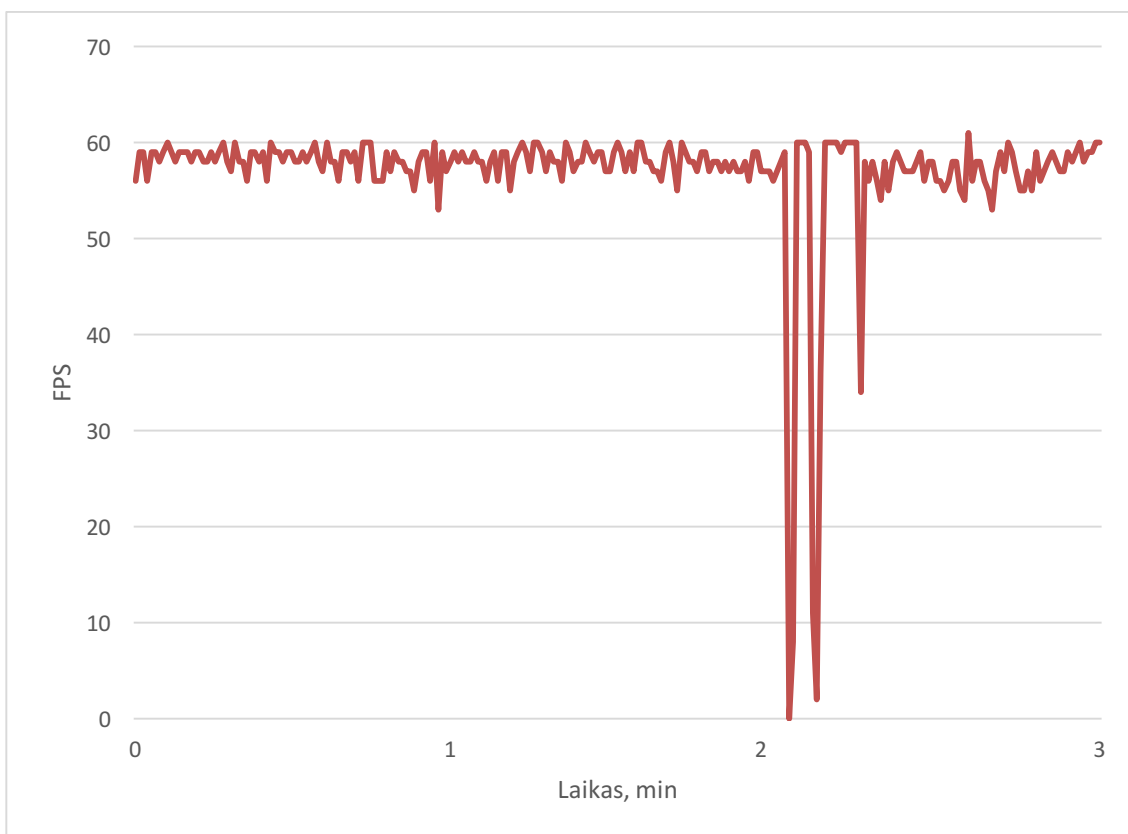
4.6 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (1080p)



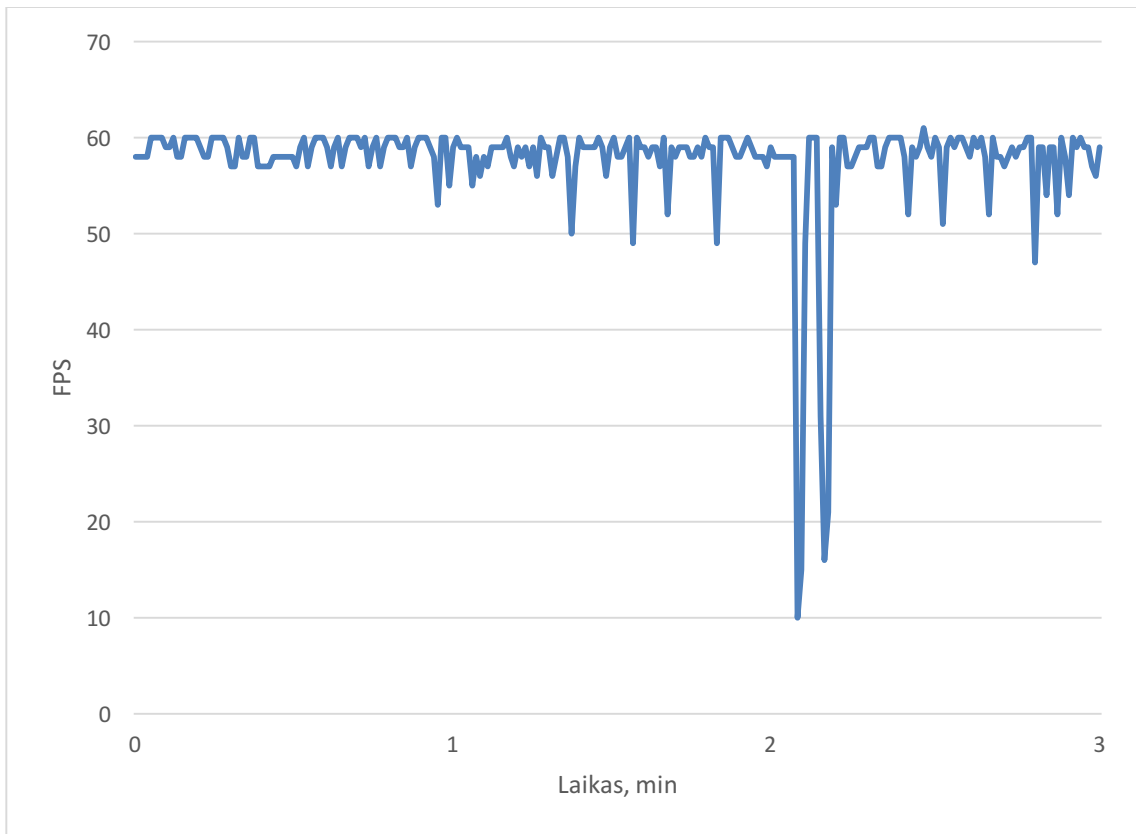
4.7 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (1080p)



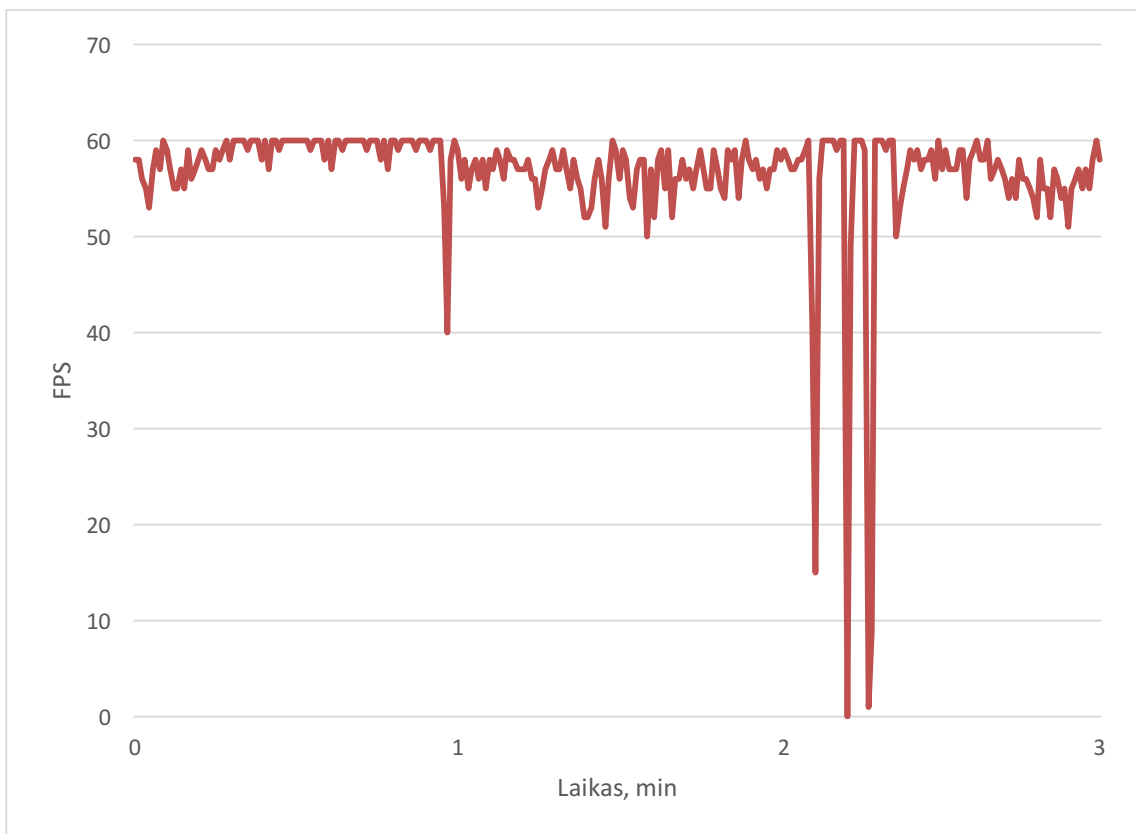
4.8 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (1440p)



4.9 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (1440p)



4.10 pav. FPS kitimas atvaizduojant sferoje (4K)



4.11 pav. FPS kitimas atvaizduojant kube (4K)

4.6. Sistemos panaudojamumo eksperimentas

4.6.1. Tikslas

Eksperimento tikslas yra gauti vartotojo bendrą sistemos panaudojamumo įvertinimą ir sužinoti ar jie pastebi skirtumus tarp skirtingų vaizdo įrašų raiškų.

4.6.2. Metodika

Atlikti šiam eksperimentui panaudota sistemos panaudojamumo skalė (angl. „*system usability scale*”, sutrumpintai - SUS), pagal kurią buvo sudarytas klausimynas „Google Forms” pagalba. SUS – tai paprasta 10-ties klausimų apklausa sistemos vartotojui, pagal kurios rezultatus galima gauti subjektyvų panaudojamumo įvertinimą. Į šią apklausą papildomai buvo pridėta 10 klausimų, jog kartu būtų galima įvertinti vartotojų nuomonę apie pateiktą vaizdo įrašų kokybę ir peržiūros sklandumą. Prieš anketos pildymą, visiems vartotojams buvo leidžiama pasinaudoti sistema, parodyti 5 skirtingos raiškos vaizdo įrašai po 3 minutes. Įrašai buvo rodomi naudojant sferos vaizdavimo metodą, kadangi atlikus efektyvumo eksperimentus, šis metodas pasirodė šiek tiek geresnis, nei vaizdavimas kube.

4.6.3. Rezultatas

4.4 lentelėje matomiems apklausos duomenims pritaikius SUS naudojamą rezultatų skaičiavimą, sistemos panaudojamumo balas gaunamas 64, kai vidutinis sistemos panaudojamumo balas yra 68. Galima teigti, jog sukurta sistema yra vidutiniškai suprantama ir panaudojama vartotojui. Analizuojant gautus rezultatus matyti, jog norint pagerinti šį balą, vartotojams reikia kažką pasiūlyti, kas juos priverstų dažnai naudoti šį produktą. Taip pat reikėtų pagerinti funkcijų integravimą, kadangi 80% apklaustųjų teigė, jog jos yra įgyvendintos šiek tiek geriau nei vidutiniškai (skyrė 3-4 balus), ir tik 15% teigė, jog funkcijos yra integruotos gerai.

4.4 lentelė. Sistemos panaudojamumo apklausos rezultatai

Klausimas	Įvertinimas				
	1	2	3	4	5
Manau, kad naudočiau šį produktą dažnai	1	7	7	3	2
Man šis produktas pasirodė pernelyg sudėtingas	8	7	5	0	0

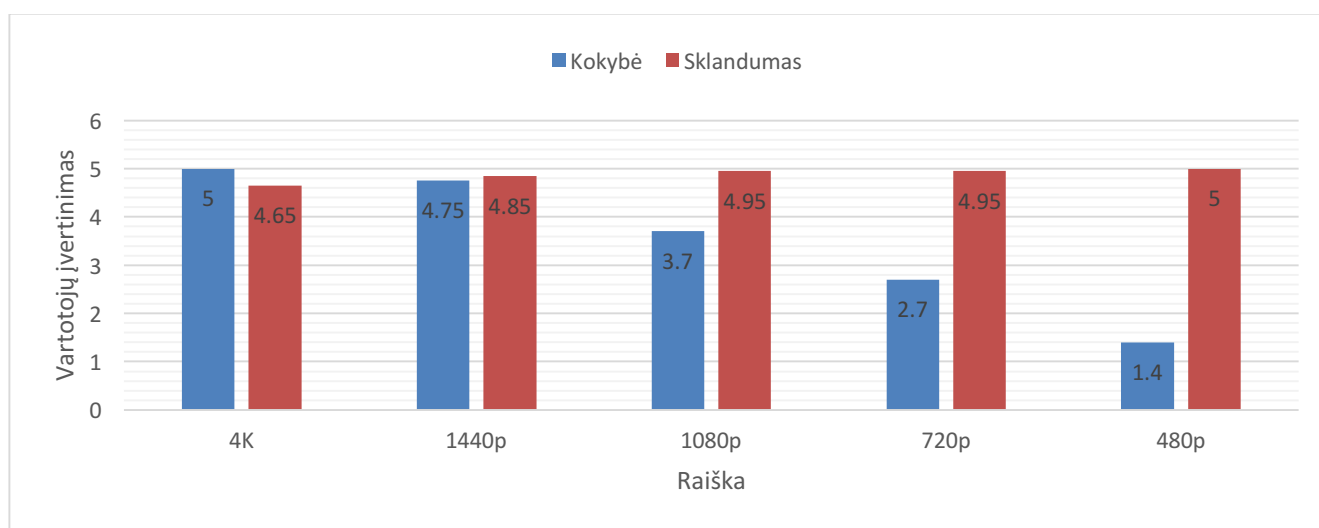
Manau, šis produktas yra lengvai naudojamas	0	1	3	7	9
Manau, jog man reikėtų papildomos pagalbos naudojantis šiuo produktu	0	0	2	3	15
Manau, jog dauguma funkcijų šiame produkte yra gerai integruotos	0	1	6	10	3
Manau, jog šitame produkte yra per mažai nuoseklumo	5	10	4	1	0
Manau, jog dauguma žmonių gali greitai išmokti naudotis šiuo produktu	0	0	1	4	15
Man buvo sunku naudotis šiuo produktu	15	3	1	1	0
Man pavyko lengvai naudotis šiuo produktu be jokių papildomų mokymųsi	16	2	1	1	0
Man reikėjo daug ką išmokti, jog galėčiau laisvai naudotis šia programine įranga	17	1	1	1	0

4.5 lentelėje yra pateikti papildomų klausimų rezultatai, siekiant išsiaiškinti vartotojo nuomonę apie rodomo vaizdo kokybę ir sklandumą. 4.12 paveikslėlyje yra matomas šių duomenų apibendrinimas. Aukščiausios raiškos (4K) vaizdo įrašo kokybę visi apklausos dalyviai įvertino puikiai. Įdomu tai, jog 1440p raiškos vaizdo įrašo įvertinimų vidurkis vos 0,25 mažesnis už 4K. Skirtumas tarp 1440p ir 1080p yra kur kas didesnis -1,05 balo. Šis skirtumas išlaikomas panašus ir tarp kitų vaizdo įrašų raiškų – tarp 1080p ir 720p skirtumas yra 1, o tarp 720p ir 480p – 1,3. Analizuojant peržiūros sklandumo rezultatus, matoma, jog peržiūra visose raiškose vyksta gana sklandžiai. Žemiausią balą (4,65) surinko 4K raiška, jos peržiūros metu keletas vartotojų pastebėjo smulkius rodymo sutrikimus ar vaizdo susiliejamą šiek tiek greičiau pakeitus stebimą vaizdo zoną.

Pagal šiuos rezultatus galima teigti, jog taupant resursus vaizdą galima perduoti 1440p raiška, nes, atsižvelgiant į vartotojų vertinimus, ji visai nedaug kokybe skiriasi nuo 4K ir peržiūrima sklandžiau.

4.5 lentelė. Peržiūrų vertinimo rezultatai

Klausimas	Įvertinimas					Vidurkis
	1	2	3	4	5	
Aš manau, kad vaizdo kokybė yra labai gera (4K)	0	0	0	0	20	5
Aš manau, kad vaizdo peržiūra praėjo sklandžiai (4K)	0	0	2	3	15	4,65
Aš manau, kad vaizdo kokybė yra labai gera (1440p)	0	0	0	5	15	4,75
Aš manau, kad vaizdo peržiūra praėjo sklandžiai (1440p)	0	0	0	3	17	4,85
Aš manau, vaizdo kokybė yra labai gera (1080p)	0	0	7	12	1	3,7
Aš manau, kad vaizdo peržiūra praėjo sklandžiai (1080p)	0	0	0	1	19	4,95
Aš manau, kad vaizdo kokybė yra labai gera (720p)	0	8	10	2	0	2,7
Aš manau, kad vaizdo peržiūra praėjo sklandžiai (720p)	0	0	0	1	19	4,95
Aš manau, kad vaizdo kokybė yra labai gera (480p)	12	8	0	0	0	1,4
Aš manau, kad vaizdo peržiūra praėjo sklandžiai (480p)	0	0	0	0	20	5



4.12 pav. Vartotojų kokybės ir sklandumo įvertinimo palyginimas pagal vaizdo raišką

5. IŠVADOS

Šiame darbe buvo:

1. Išanalizuota turinio perdavimo ir atvaizdavimo virtualioje realybėje sritis, išsiaiškinta apie projektui reikiamas technologijas ir jų veikimą. Turinio perdavimui internetu buvo nuspręsta naudoti „Wowza Streaming Engine“ variklį. Virtualios realybės vaizdavimo platforma buvo pasirinktas „Samsung GearVR“ įrenginys su „Samsung Galaxy S7“ mobiliuoju telefonu, o pats turinys vaizduojamas „Unity3D“ grafikos variklio ir „AVPro Video“ papildinio pagalba atvaizduojant monoskopinį vaizdo įrašą. Buvo realizuoti du turinio atvaizdavimo metodai – sferoje ir kube.
2. Išanalizuoti esami sprendimai, kuriuos galima naudoti turinio perdavimui ir stebėjimui. Buvo aptarti jų pliusai ir minusai, bei nuspręsta kokios funkcijos bus įgyvendintos kuriamoje sistemoje.
3. Projektuojant sistemą buvo nustatyti funkciniai ir nefunkciniai sistemos reikalavimai, detalizuoti panaudos atvejai, apibrėžta sistemos architektūra ir išsidėstymas.
4. Sukurtos sistemos pagalba atlikti eksperimentai.

Atlikus eksperimentus galima teigti:

1. Pagal gautus rezultatus yra matoma, jog lyginamų vaizdavimo metodų efektyvumas yra labai panašus, o didžiausią parametru kitimą įtakoja rodomo vaizdo kokybė.
2. Vaizduojant žemesnės raiškos (480p, 720p) įrašus kube ir sferoje baterijos įkrova po eksperimento yra tokia pati, tačiau vaizduojant aukštos raiškos įrašus (4K), vaizdavimas sferos metodu yra efektyvesnis.
3. Procesoriaus apkrovos vidurkis priklauso tik nuo perduodamo vaizdo įrašo raiškos, tačiau stabilesnė apkrova didinant raišką yra pasiekama naudojant vaizdavimą sferoje.
4. Žemesnės raiškos (480p, 720p) arba ilgesnės trukmės (daugiau nei 1 valanda) vaizdo įrašai vaizduojant sferoje sukelia mažesnę kaitimą, tačiau stebint trumpesnius (iki 20 minučių) vidutinės raiškos (1080p) vaizdo įrašus vaizdavimo kube metodu yra šiek tiek efektyvesnis, kadangi maksimali temperatūra yra pasiekama lėčiau nei vaizduojant sferoje.
5. Kadrių per sekundę kitimas priklauso nuo stebimo vaizdo įrašo raiškos ir stebėtojo žiūrmos vaizdo zonos keitimo greičio. Vaizdavimo metodu turi labai mažą įtaką. Vartotojo akiai matomas FPS kritimas užfiksuojamas tik atliekant ypač staigius stebėjimo zonos pokyčius, kas realiai naudojant sistemą turėtų nepasitaikyti.

6. Vartotojų apklausoje sistema buvo įvertinta 64 balais, kas reiškia jog jos panaudojamumas yra vidutiniškas. Taip pat, pagal apklausos rezultatus galima teigti, jog efektyviausia perduodamo vaizdo įrašų kokybė yra 1440p.

6. LITERATŪRA

- [1]. Viraj Nevese, „A Practical Guide to Differentiate Unicast, Broadcast & Multicast“, 2016 [žiūrėta 2016-12-01]. Prieiga per internetą: <https://www.esds.co.in/blog/difference-between-unicast-broadcast-and-multicast/#sthash.kr6Pg0ly.dpuf>
- [2]. Wowza Streaming Engine [žiūrėta 2016-03-28]. Prieiga per internetą: <https://www.wowza.com>
- [3]. RED5 [žiūrėta 2016-03-28]. Prieiga per internetą: <https://github.com/Red5/red5-server>.
- [4]. ScaleEngine [žiūrėta 2016-03-28]. Prieiga per internetą: <https://www.scaleengine.com/>
- [5]. VideoLAN (VLS) [žiūrėta 2016-03-28]. Prieiga per internetą: <http://www.videolan.org/vlc/streaming.html>
- [6]. Oculus Rift [žiūrėta 2015-10-26]. Prieiga per internetą: <https://www.oculus.com/>
- [7]. Samsung GearVR [žiūrėta 2015-10-26]. Prieiga per internetą: <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>
- [8]. Fove VR [žiūrėta 2015-10-26]. Prieiga per internetą: <https://www.getfove.com/>
- [9]. HTC Vive [žiūrėta 2017-03-16]. Prieiga per internetą: <https://www.vive.com/>
- [10]. Google Cardboard [žiūrėta 2015-10-26]. Prieiga per internetą: <https://vr.google.com/cardboard/>
- [11]. Robert Kooima, „Spherical Cube Maps“, 2012 [žiūrėta 2015-11-01]. Prieiga per Internetą: <http://csc.lsu.edu/~kooima/pdfs/scmtiff.pdf>
- [12]. “Monoscopic vs. stereoscopic 360° videos” [žiūrėta 2015-11-07]. Prieiga per internetą: <http://www.samsung.com/us/samsungdeveloperconnection/developer-resources/gear-vr/monoscopic-vs-stereoscopic-360-videos.html>
- [13]. Unity3D [žiūrėta 2015-11-29]. Prieiga per internetą: <https://unity3d.com/>
- [14]. Unreal Engine [žiūrėta 2015-11-08]. Prieiga per internetą: <https://www.unrealengine.com/what-is-unreal-engine-4>
- [15]. Three.js [žiūrėta 2015-11-08]. Prieiga per internetą: <https://threejs.org/>
- [16]. Easy Movie Texture [žiūrėta 2015-11-08]. Prieiga per internetą: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/126921>
- [17]. Universal Video Texture [žiūrėta 2015-11-08]. Prieiga per internetą: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/3755>

- [18]. SPlugins MovieTexture [žiūrėta 2015-11-08]. Prieiga per internetą:
<https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/31141>
- [19]. Krpano Panorama Viewer [žiūrėta 2015-11-09]. Prieiga per internetą:
<http://krpano.com/>
- [20]. AVPro Video [žiūrėta 2015-11-09]. Prieiga per internetą:
<https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/56355>
- [21]. NEXT VR [žiūrėta 2015-11-29]. Prieiga per internetą: <http://www.nextvr.com/>
- [22]. 360 Live Video Streaming [žiūrėta 2015-11-29]. Prieiga per internetą:
<http://all360media.com/360-video-live-streaming/>
- [23]. Youtube [žiūrėta 2017-01-10]. Prieiga per internetą: <http://www.youtube.com>
- [24]. Yu Sun, Zhidan Feng, Reshma R. Ginnavaram, „A direct non-buffer rate control algorithm for real time video compression“, 2014 [žiūrėta 2015-11-02]. Prieiga per Internetą:
<http://link.springer.com/article/10.1007/s11042-014-1913-6>
- [25]. Dongmahn Seo, Suhyun Kim, Hogun Park, Heedong Ko, „Real-time panoramic video streaming system with overlaid interface concept for social media“, 2013 [žiūrėta 2015-11-05]. Prieiga per Internetą: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00530-013-0333-1>
- [26]. Thomas Pintaric, Ulrich Neumann, Albert Rizzo, „Immersive Panoramic Video“, [2015-11-10]. Prieiga per Internetą:
http://www.fullview.com/Immersive_Panoramic_Video.pdf

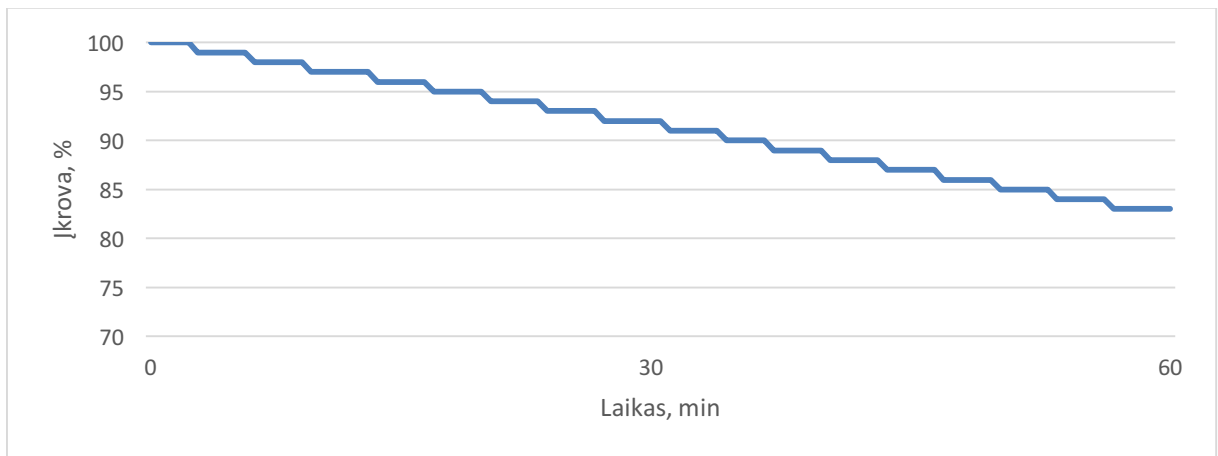
7. TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

Terminas/santrumpa	Paaiškinimas
Virtuali realybė (VR)	Vaizdo dariniai simuliuojami kompiuterio, kuriuos stebintis žmogus jaučiasi tarsi būdamas juose.
CDN (Content Delivery Network)	Didelė paskirstyta serverių sistema dislokuota keliuose duomenų centruose per internetą. CDN tikslas yra tiekti turinį vartotojams, kuris būtų aukštos kokybės ir sklandžiai prieinamas.
Monoskopinis	Vaizdas, kuris gaunamas žiūrint iš vieną tašką viena „akimi“.
Stereoskopinis	Vaizdinės medžiagos atvaizdavimo būdas suteikiant jai realų trimatiškumo (3D) ir gylio įspūdį.
RTMP (Real Time Messaging Protocol)	Protokolas skirtas perduoti vaizdo ir garso medžiagą internetu.
RTMFP (Real Time Media Flow Protocol)	Protokolas skirtas šifruotam ir našiam multimedijos perdavimui per klientas-serveris ar „peer-to-peer“ modelius internetu.
RTMPT	RTMP protokolas enkapsuliuotas į HTTP užklausas.
RTMPS	RTMP protokolas vykdomas per TLS/SSL prieigą.
RTMPE	RTMP protokolas užšifruotas „Adobe“ saugos mechanizmu.
RTMPTE	RTMPE protokolas enkapsuliuotas į HTTP užklausas

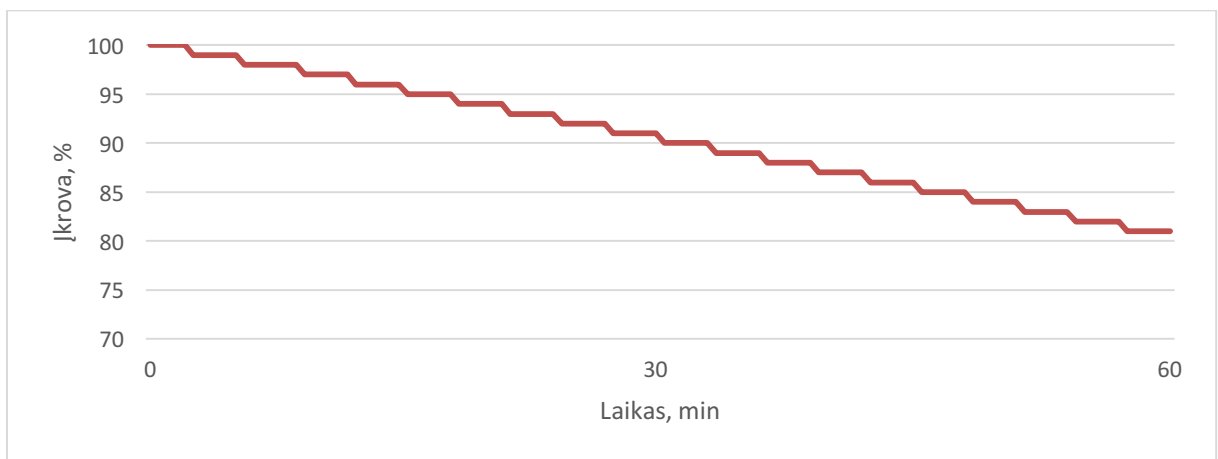
MPEG-TS (<i>MPEG</i> Transport Stream)	Standartinis konteinerio formatas perduoti ir laikyti vaizdo ar garso medžiagą, dažnai naudojamas transliavimo sistemose.
FLV / F4V (Flash Video)	„Adobe Flash Player“ vaizdo perdavimo formatas
MP4	„MPEG-4 Part 14“ trumpinys. Formatas skirtas vaizdo ir garso medžiagai.
3GP	Multimedijos saugojimo formatas.
F4A	FLV formato garso formatas.
M4A	MP4 formato garso formatas.
AAC (Advanced Audio Coding)	Garso kodavimo standartas.
HLS (HTTP Live Streaming)	Tiesioginio vaizdo transliavimas HTTP protokolu.
Grupinis transliavimas (angl. „ <i>multicast</i> “)	Tai yra transliavimo tipas, kai duomenys yra adresuojami grupei įrenginių tinkle
Daydream	„Google“ kompanijos sukurta virtualios realybės sistema.
FPS (Frames Per Second)	Atvaizduojamų kadrų per sekundę skaičius.
SUS (System Usability Scale)	Klausimų rinkinys, kurio pagalba galima įvertinti sistemos panaudojamumo lygį.
ADB (Android Debug Bridge)	Tvarkyklės skirtos „Android“ įrenginį prijungti prie kompiuterio programavimo tikslais.

8. PRIEDAI

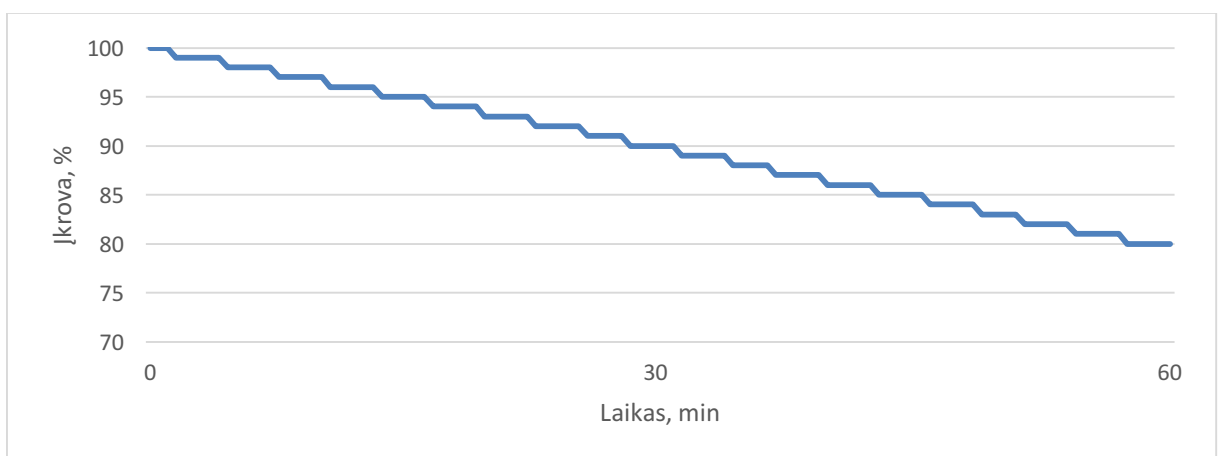
8.1. Baterijos įkrovos lygio eksperimento rezultatai



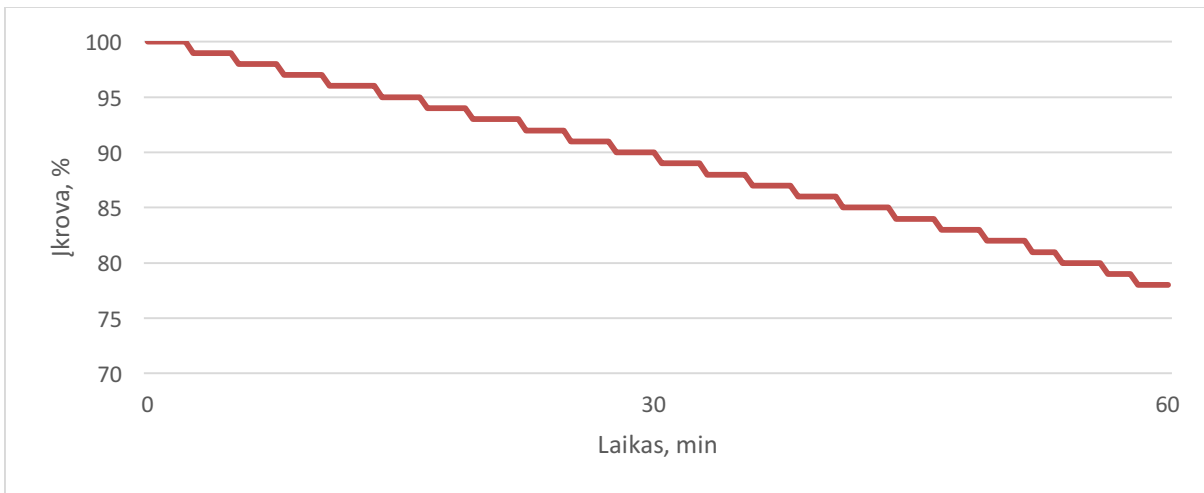
8.1 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (480p)



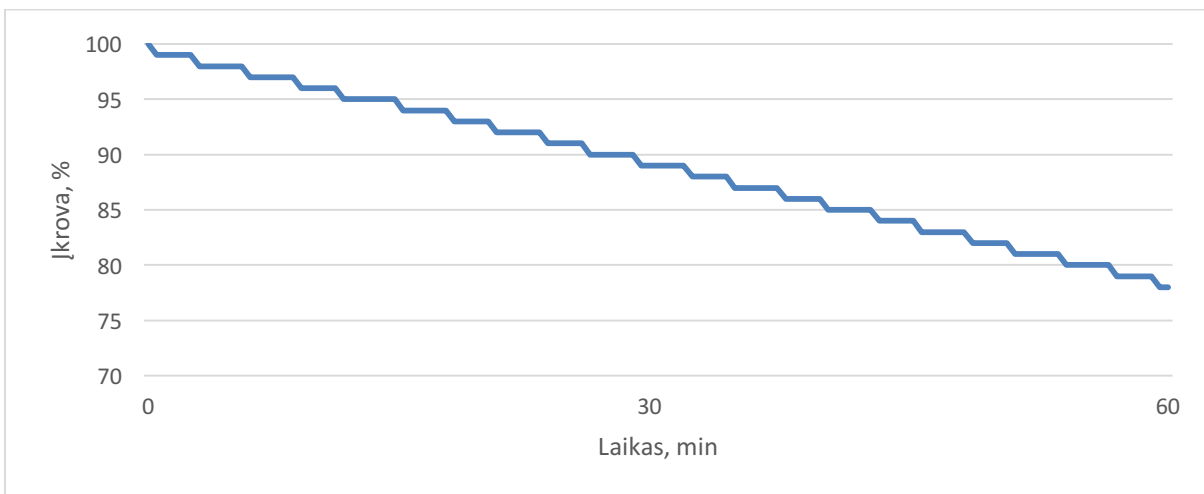
8.2 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (480p)



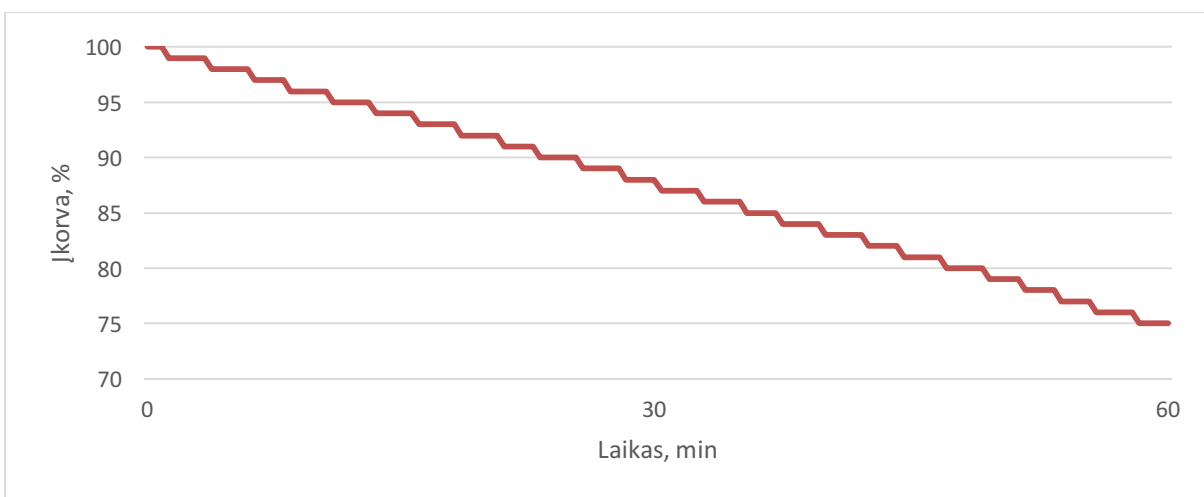
8.3 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (720p)



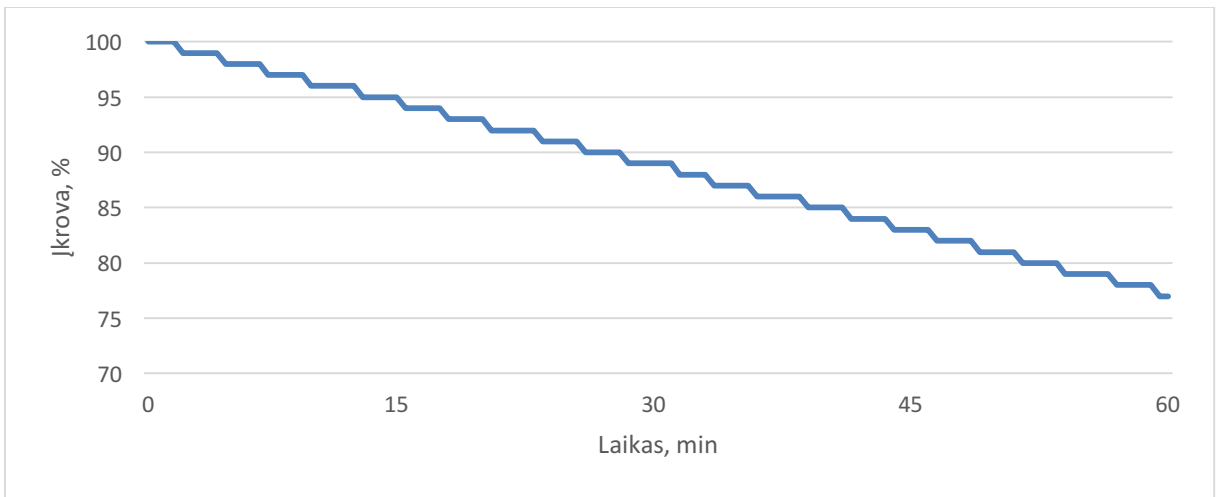
8.4 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (720p)



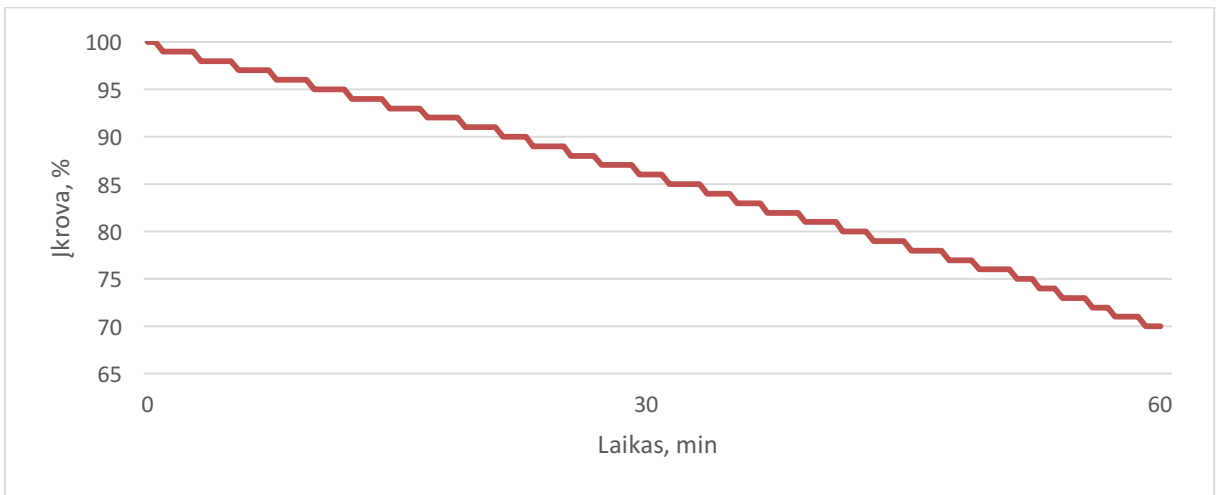
8.5 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (1080p)



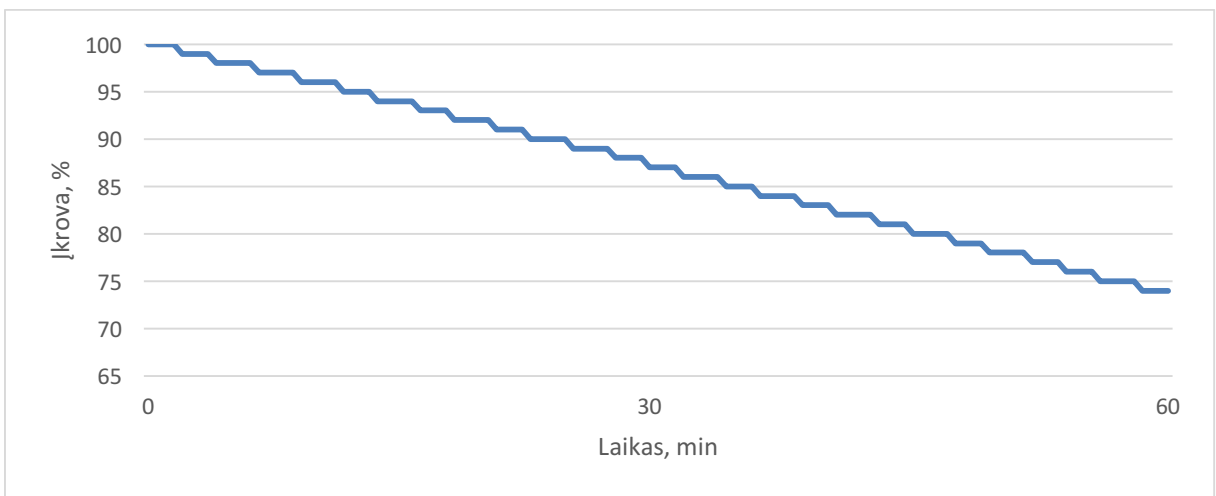
8.6 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (1080p)



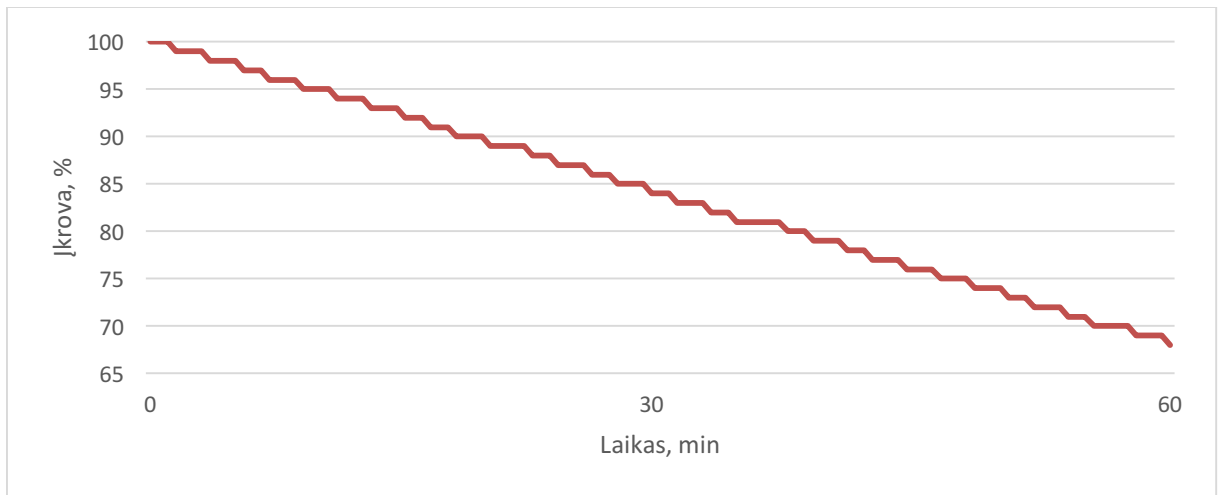
8.7 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (1440p)



8.8 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (1440p)

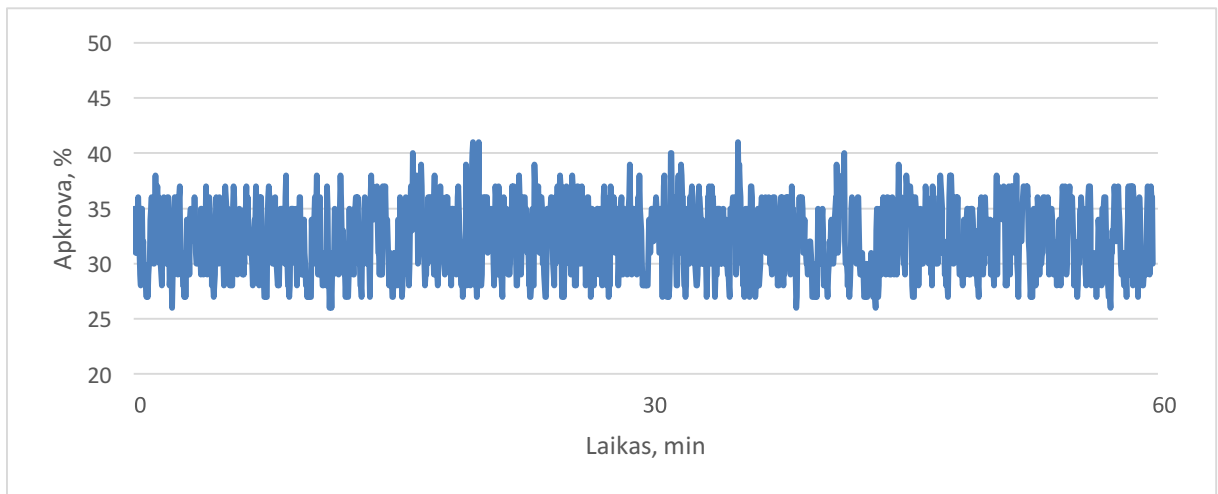


8.9 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant sferoje (4K)

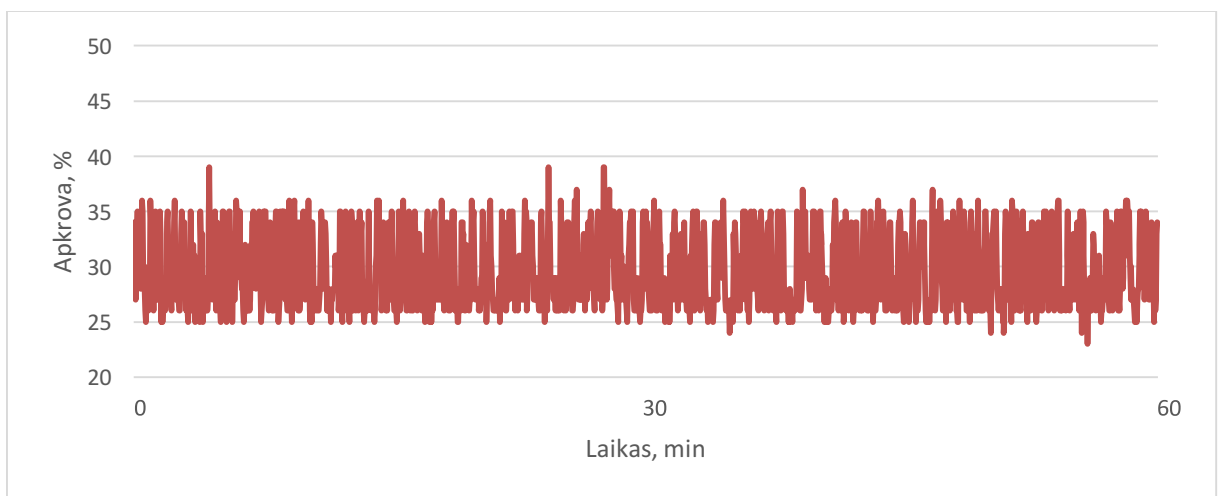


8.10 pav. Baterijos įkrovos lygio kitimas vaizduojant kube (4K)

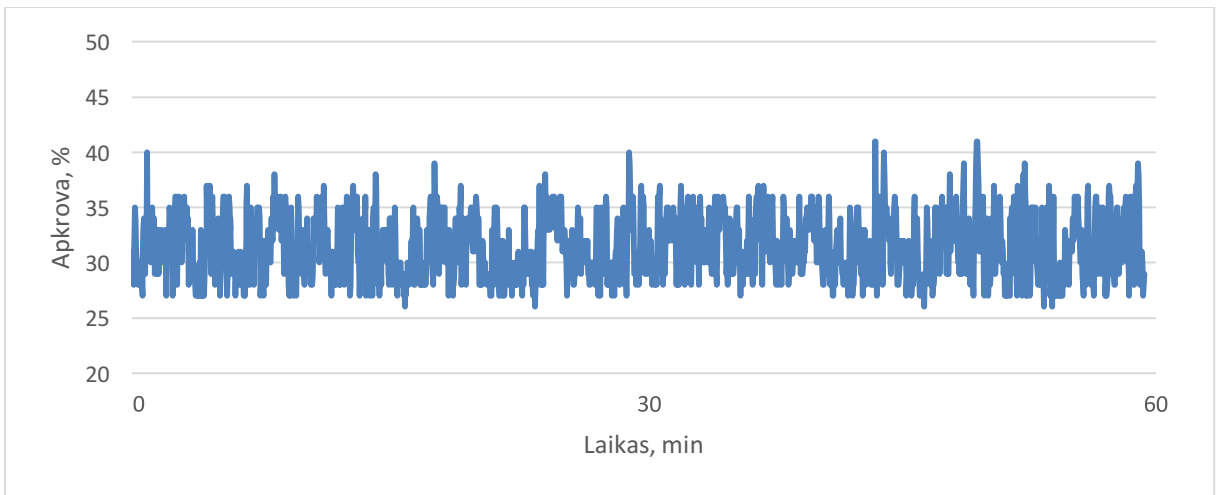
8.2. Procesoriaus apkrovos kitimo eksperimento rezultatai



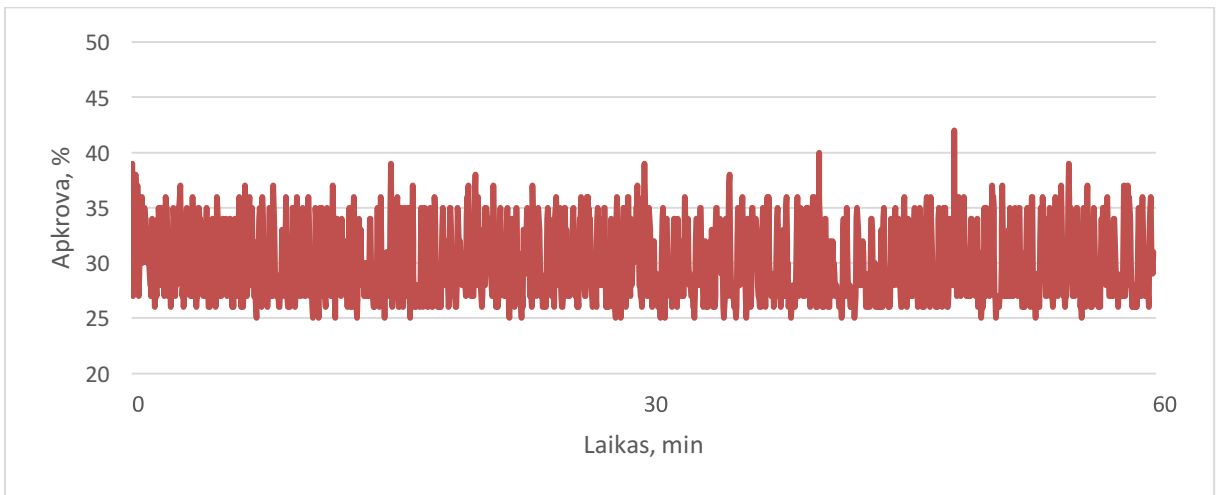
8.11 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (480p)



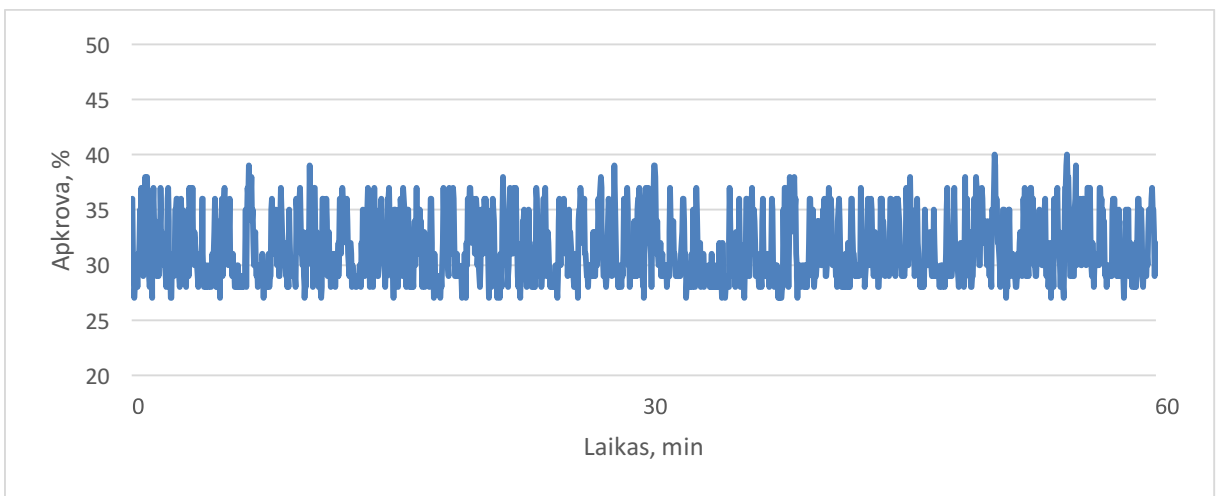
8.12 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (480p)



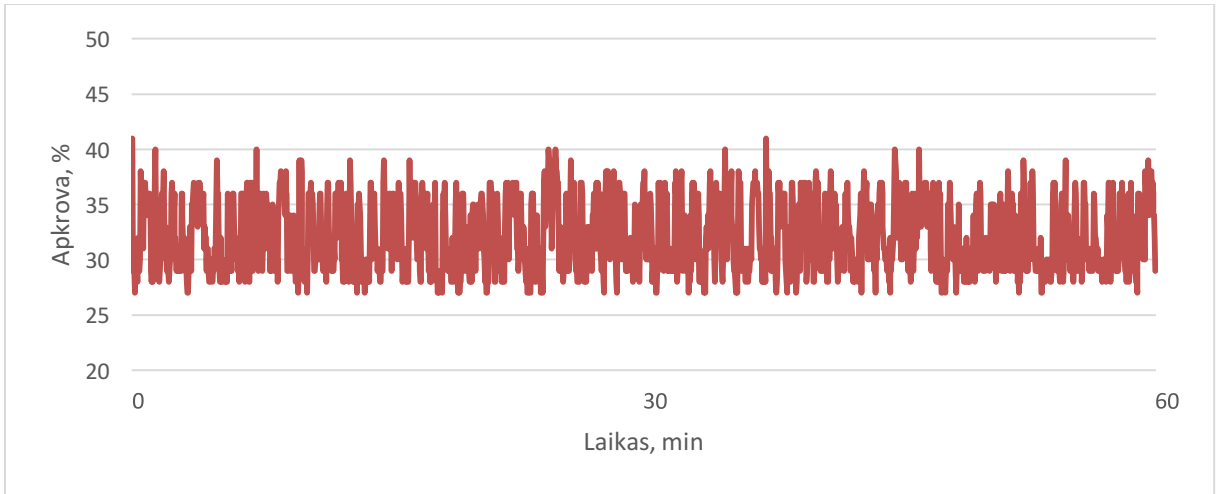
8.13 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (720p)



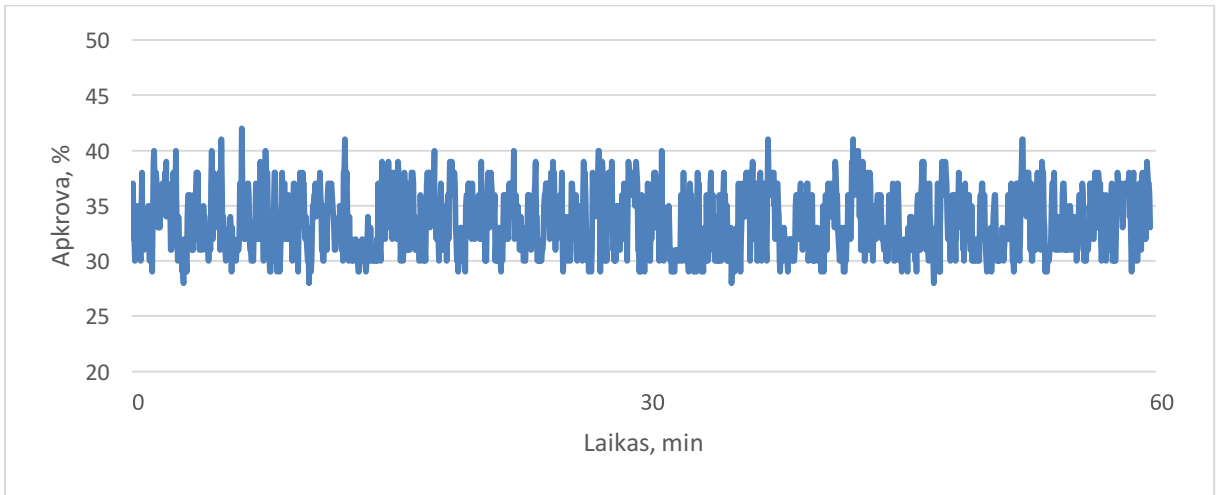
8.14 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (720p)



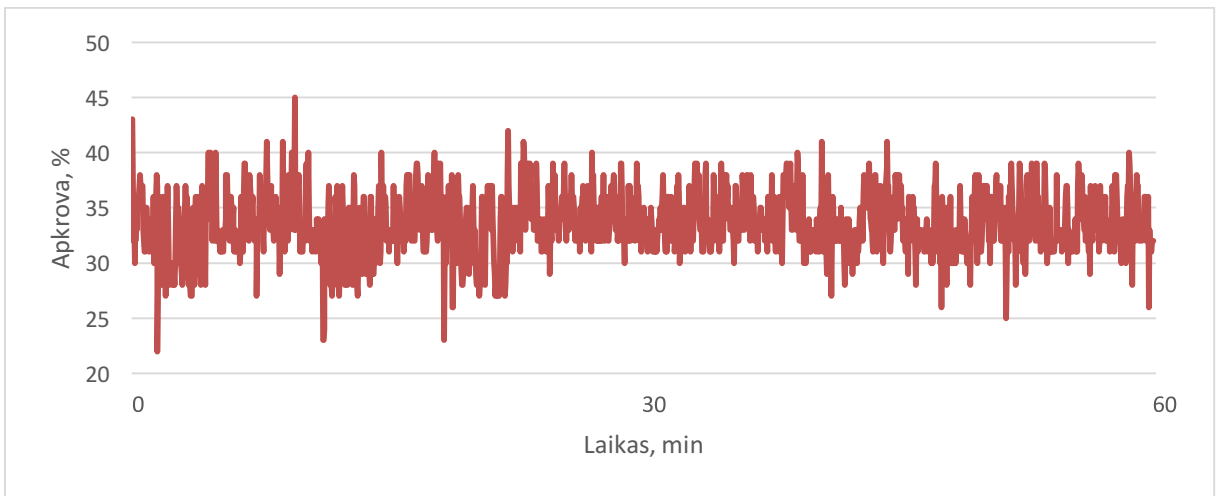
8.15 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (1080p)



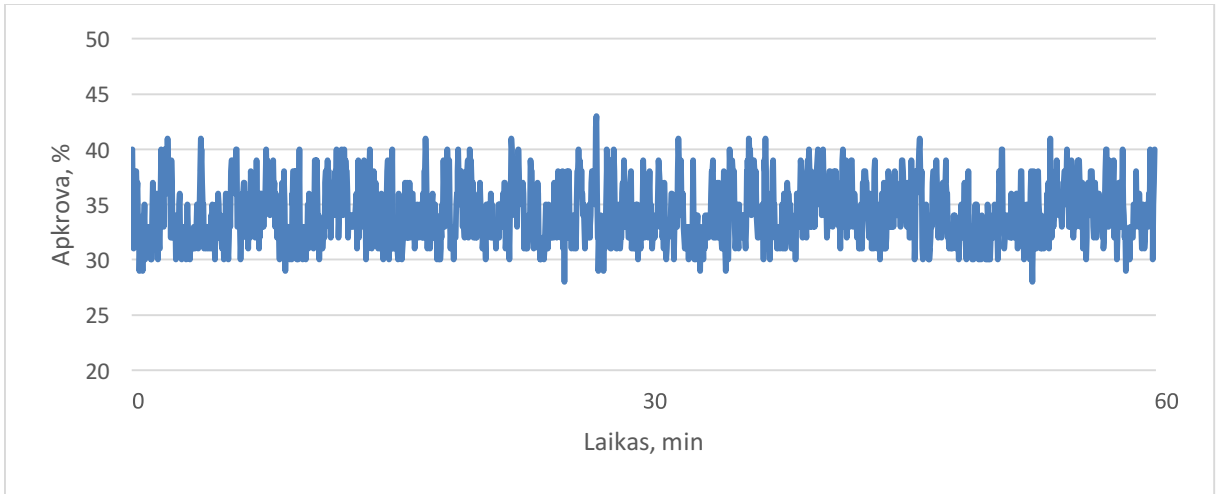
8.16 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (1080p)



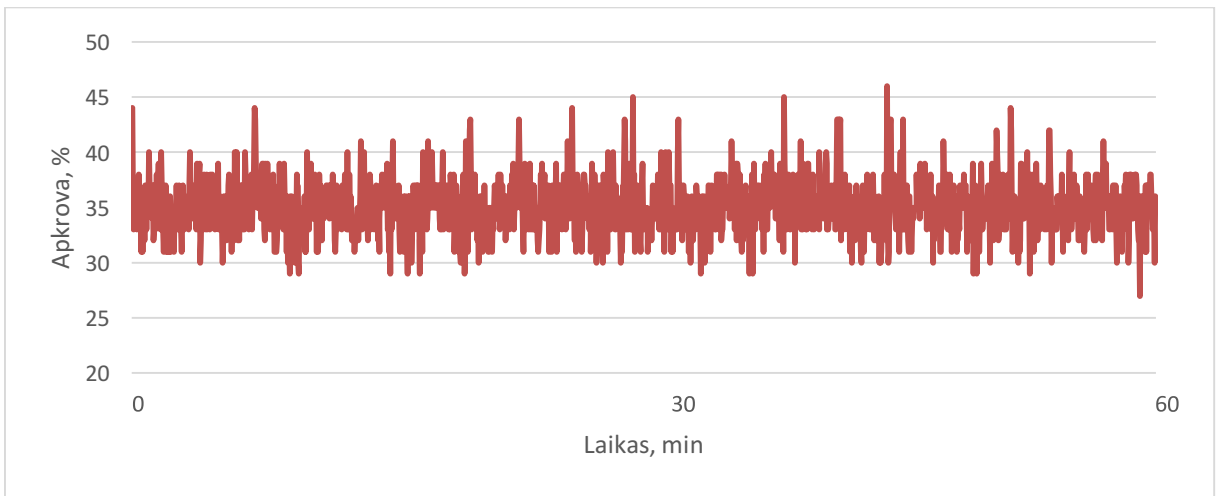
8.17 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (1440p)



8.18 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (1440p)

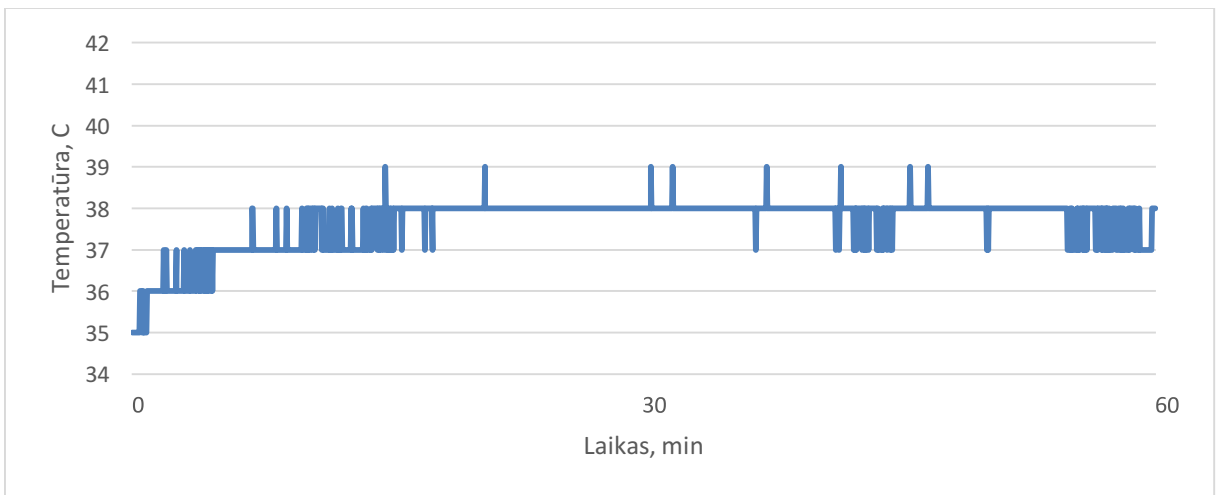


8.19 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant sferoje (4K)

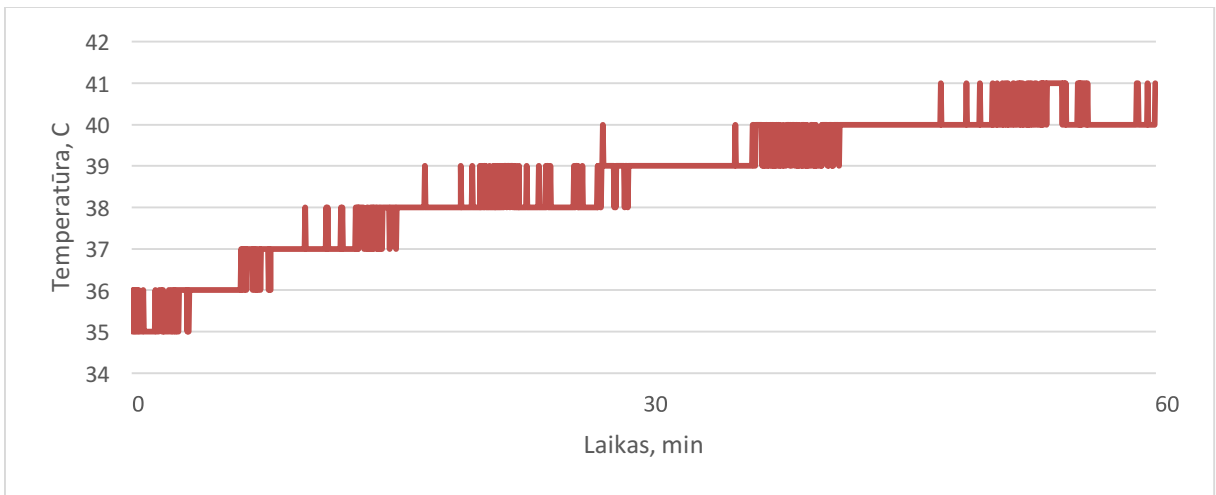


8.20 pav. Procesoriaus apkrovos kitimas vaizduojant kube (4K)

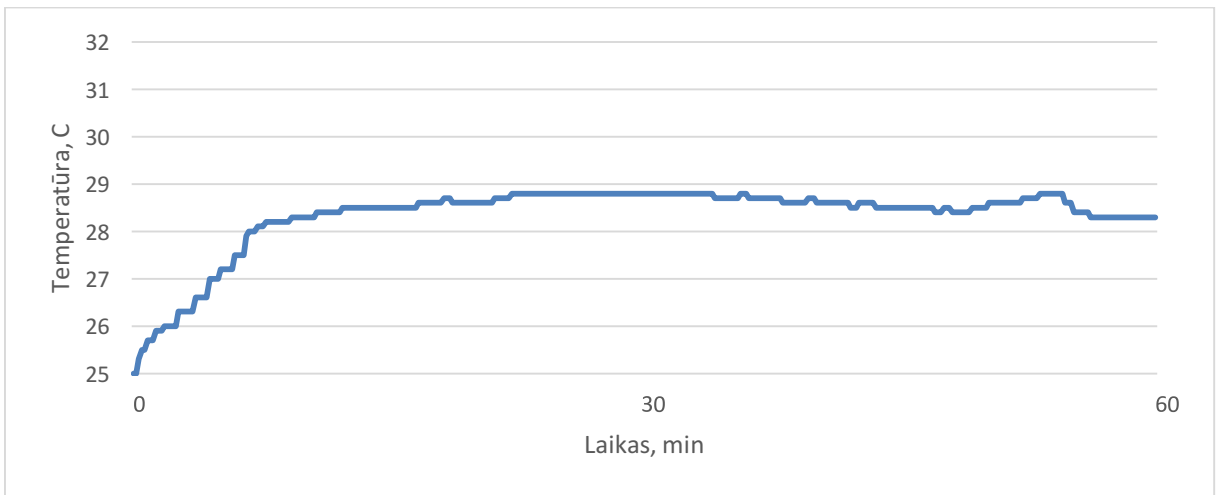
8.3. Procesoriaus ir baterijos temperatūros kitimo eksperimento rezultatai



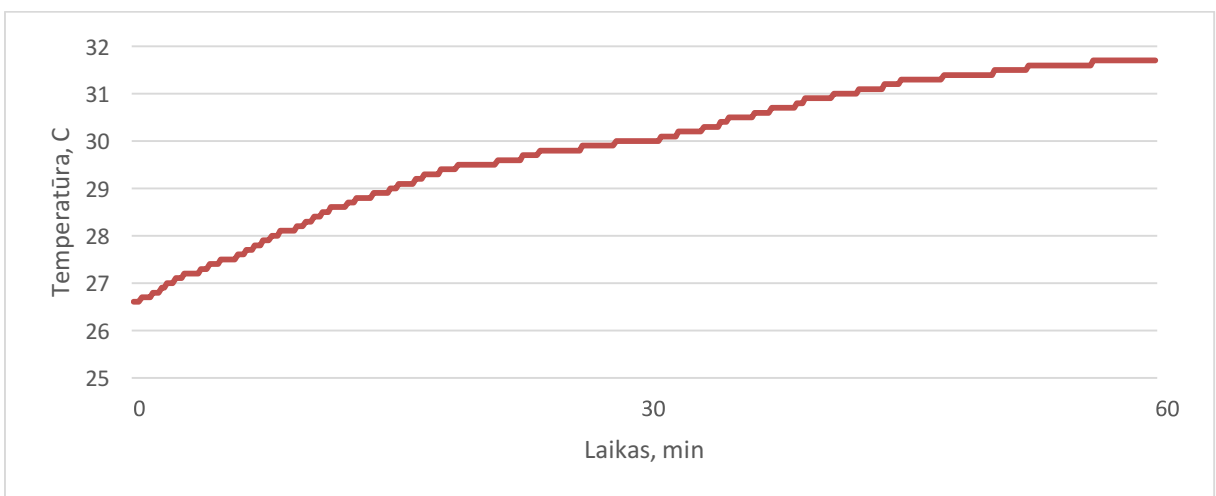
8.21 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (480p)



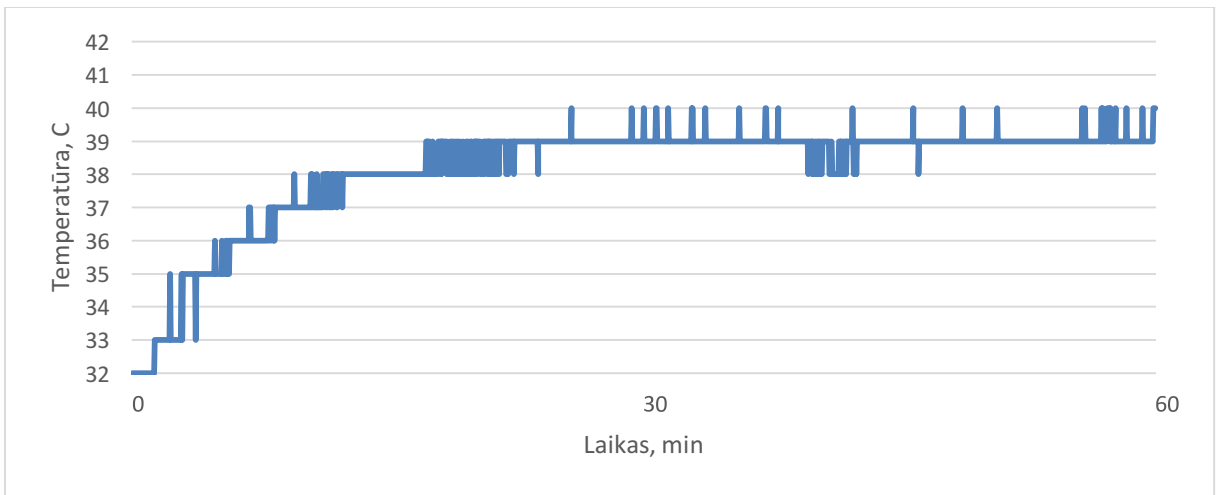
8.22 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (480p)



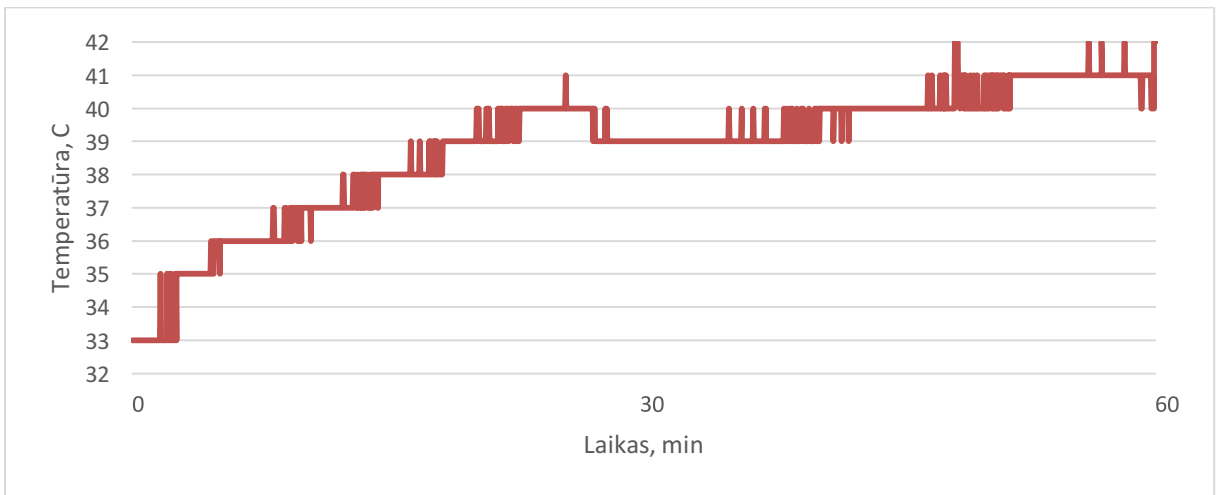
8.23 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (480p)



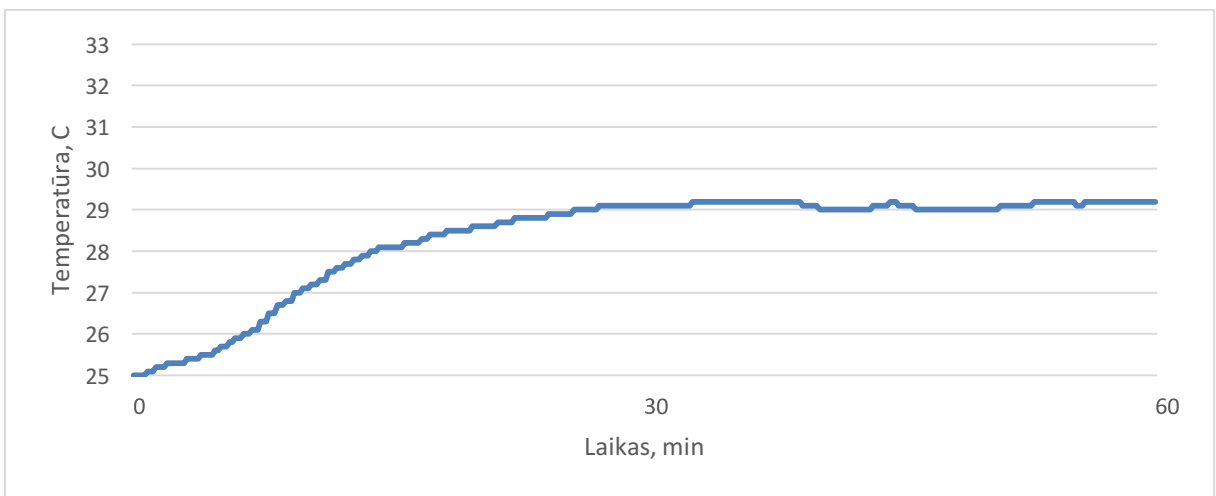
8.24 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (480p)



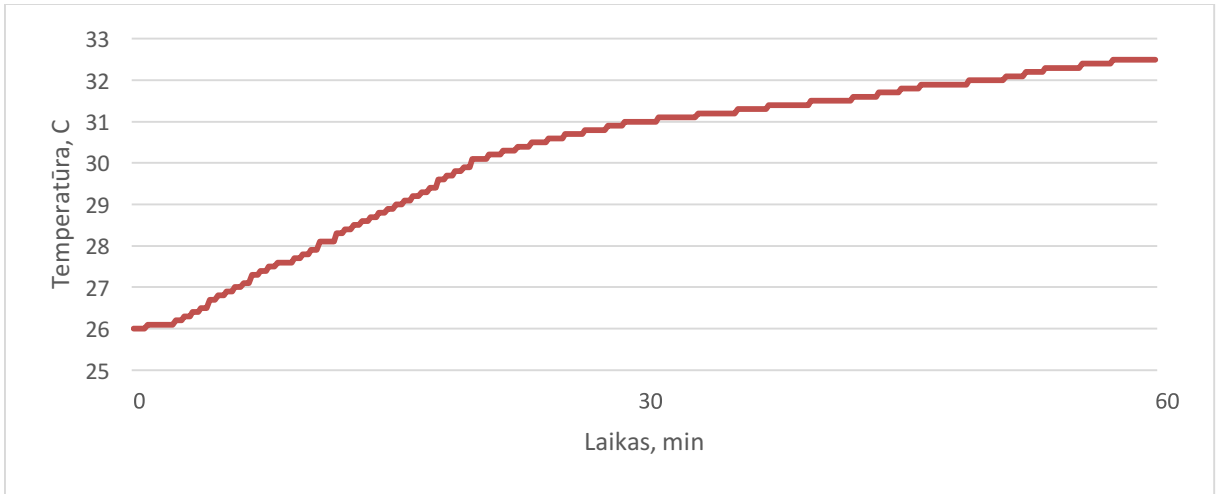
8.25 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (720p)



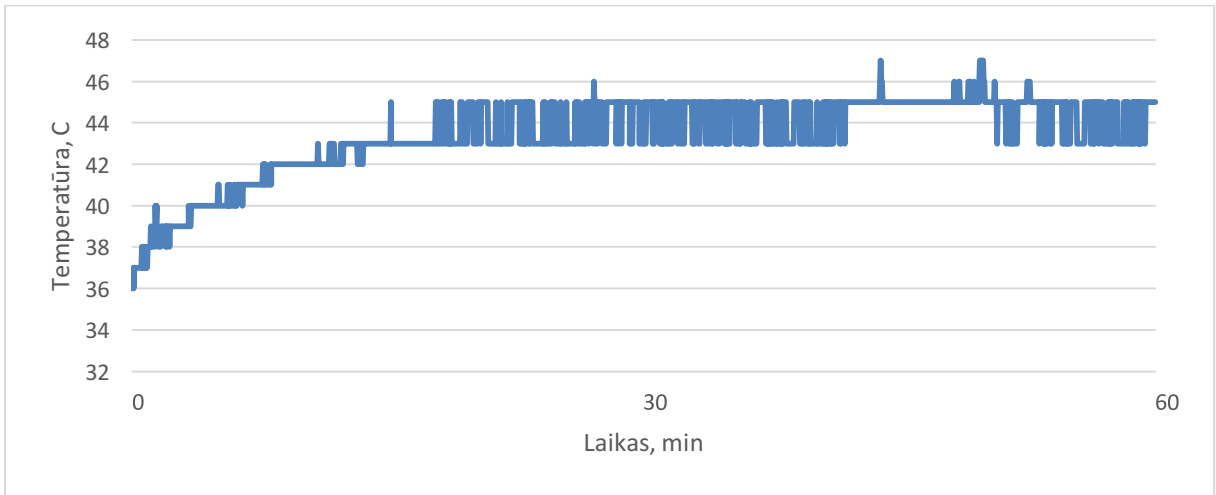
8.26 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (720p)



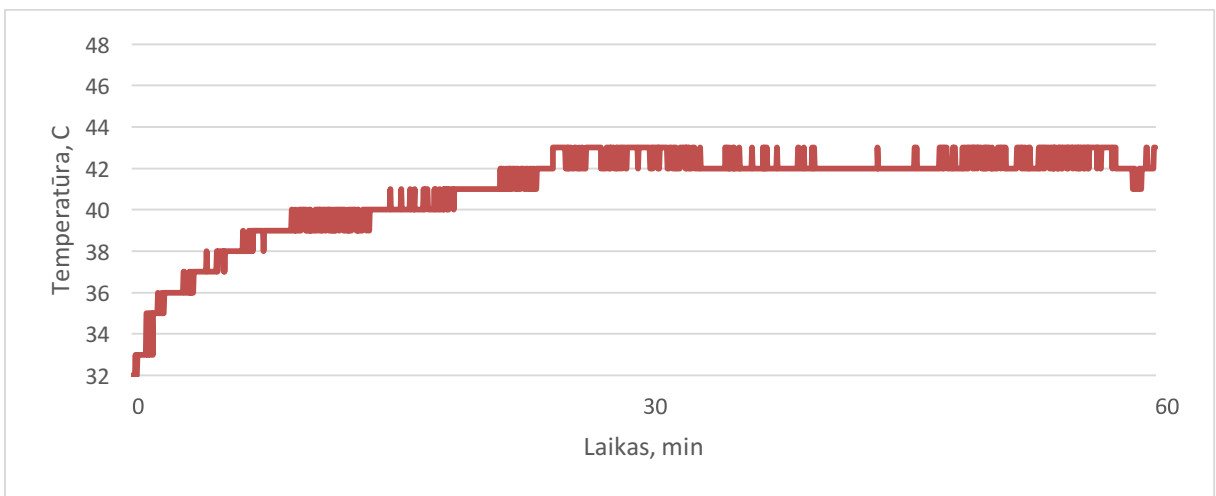
8.27 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (720p)



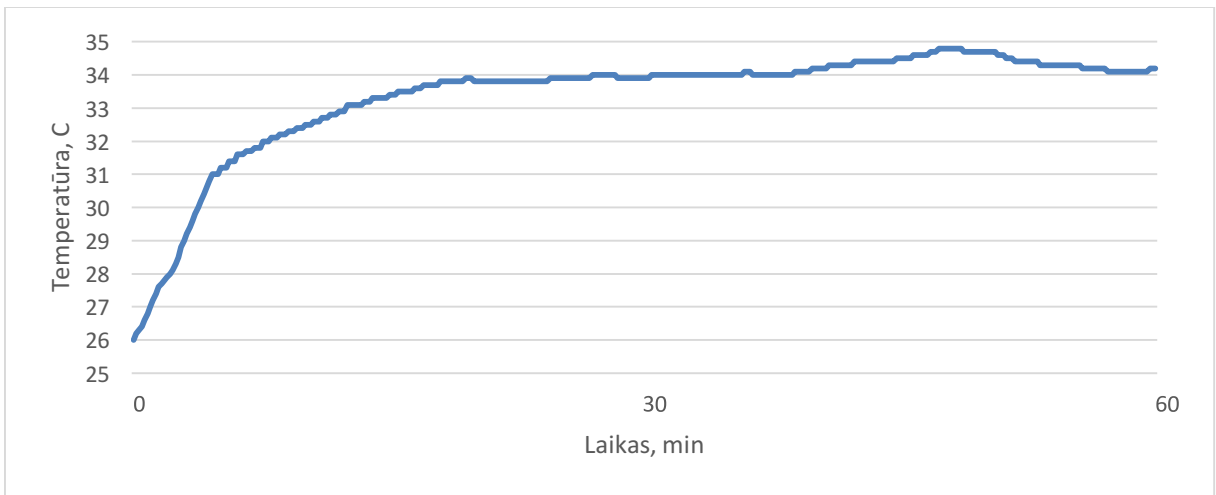
8.28 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (720p)



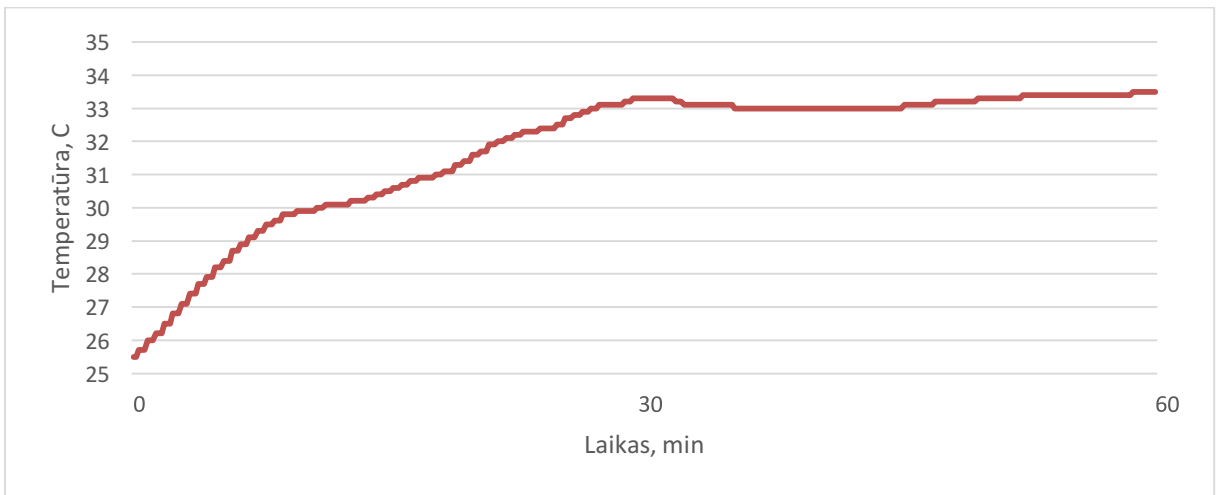
8.29 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1080p)



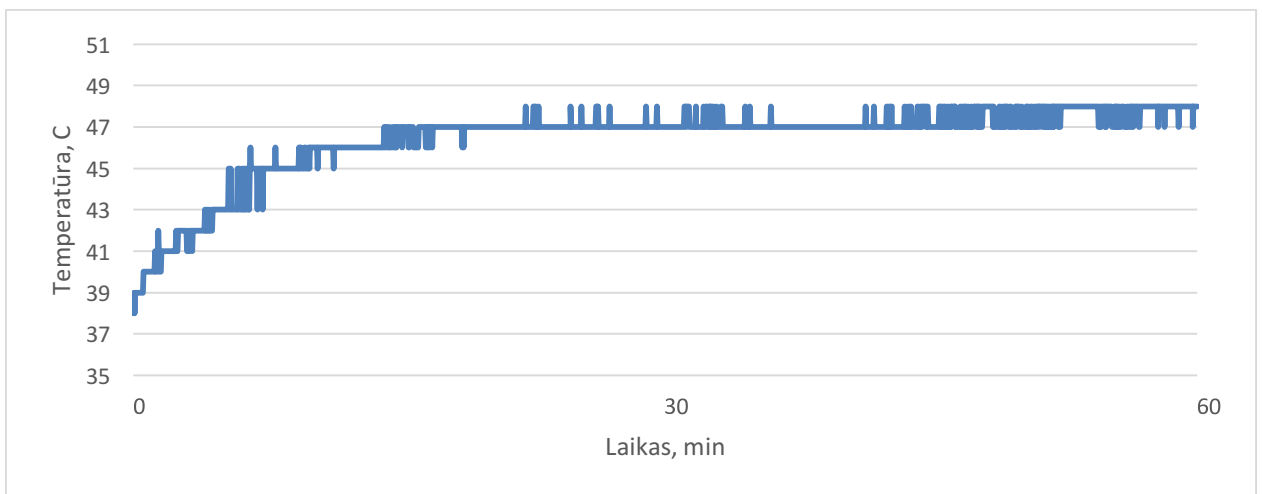
8.30 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (1080p)



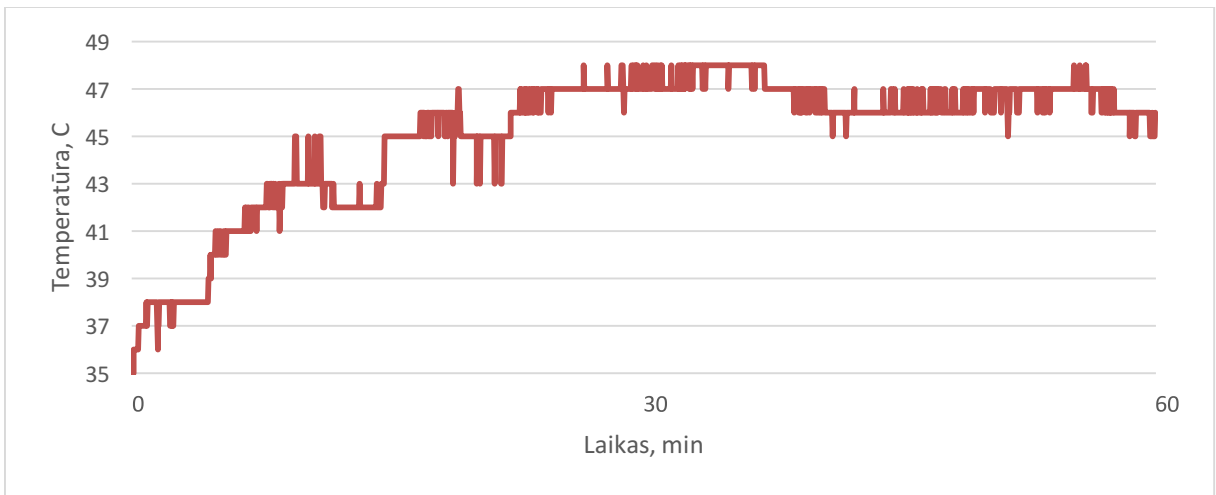
8.31 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1080p)



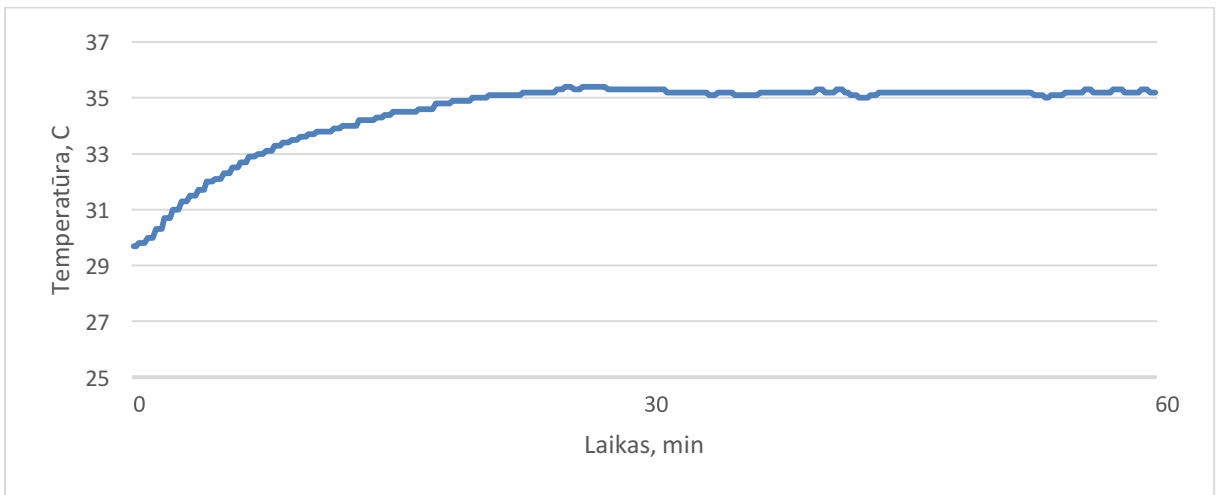
8.32 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (1080p)



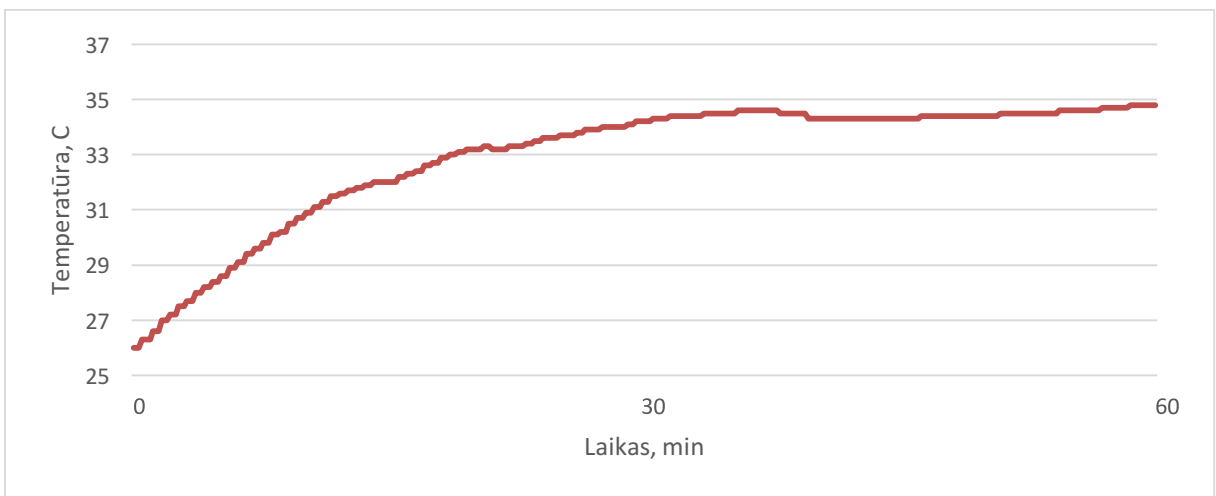
8.33 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1440p)



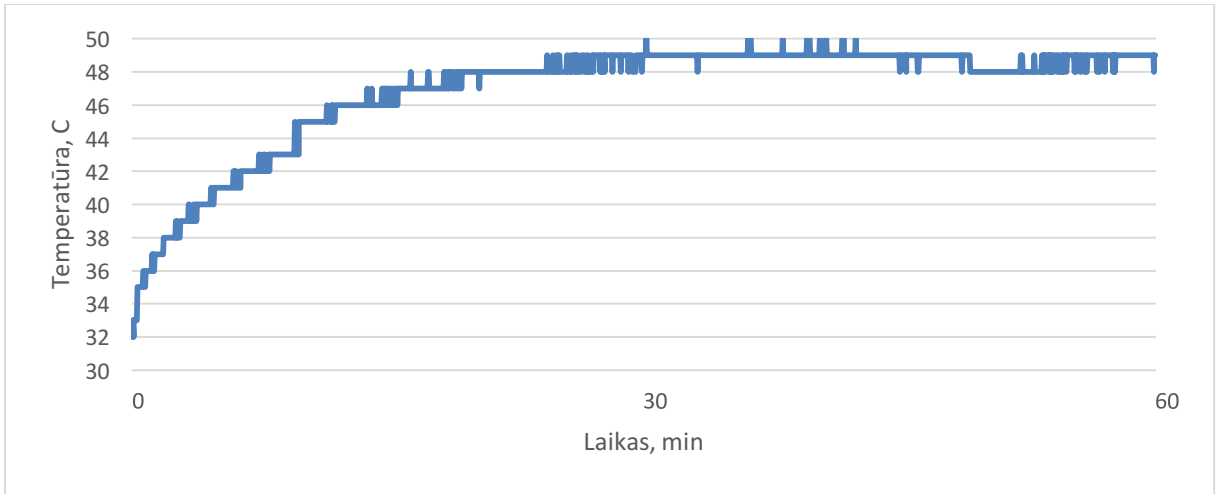
8.34 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (1440p)



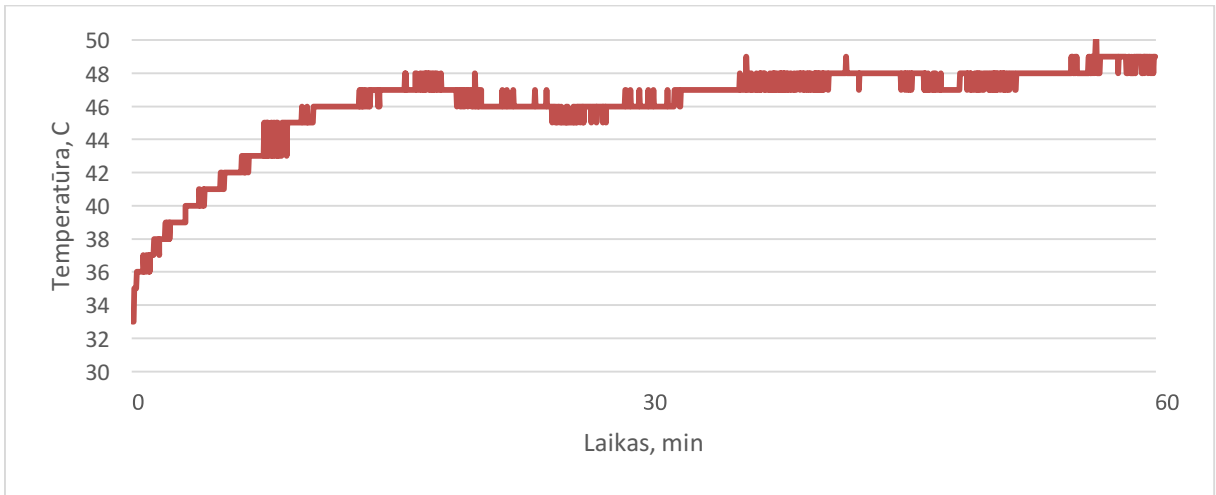
8.35 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (1440p)



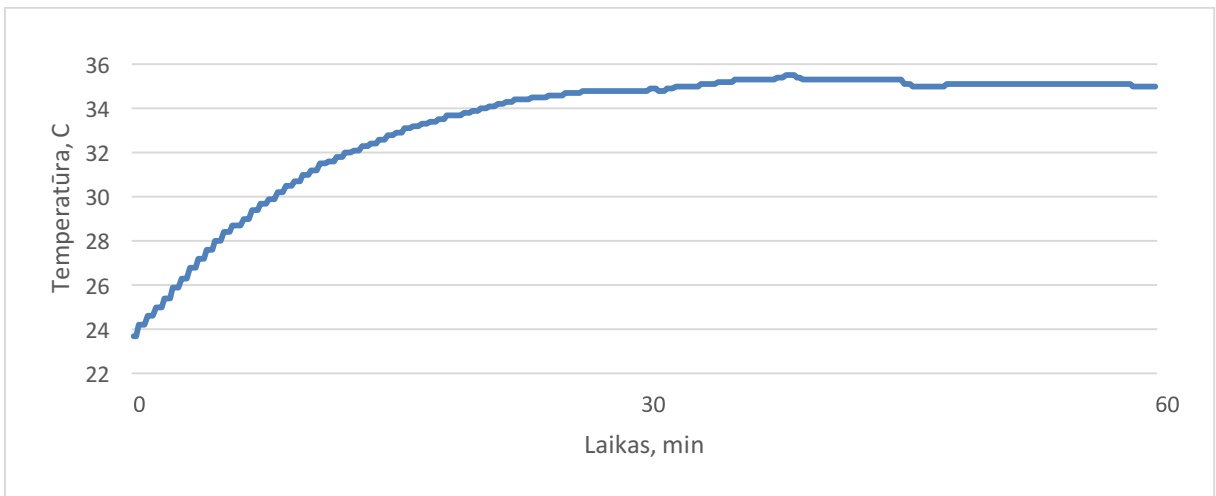
8.36 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (1440p)



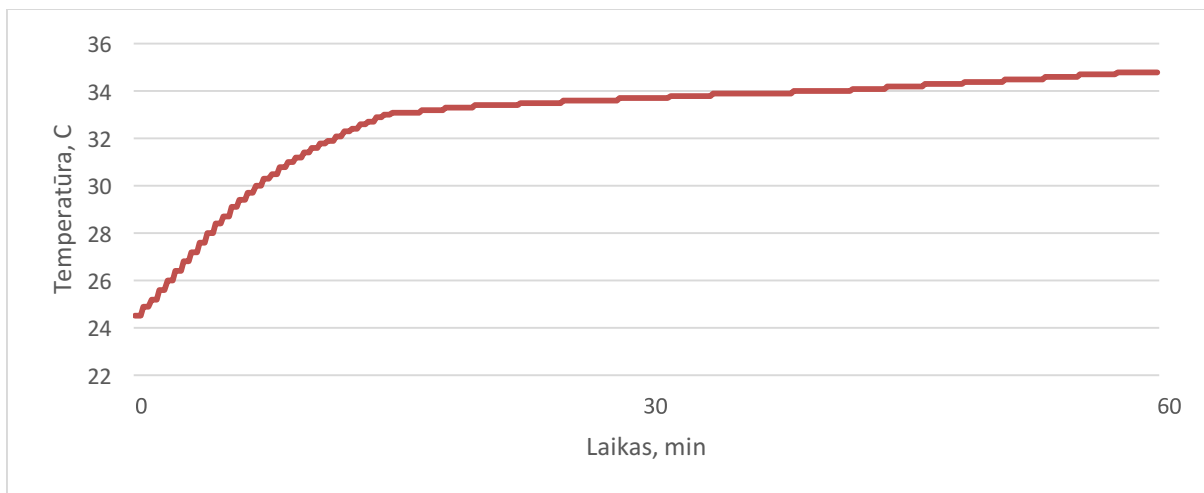
8.37 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (4K)



8.38 pav. Procesoriaus temperatūros kitimas vaizduojant kube (4K)



8.39 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant sferoje (4K)



8.40 pav. Baterijos temperatūros kitimas vaizduojant kube (4K)