



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

INFORMATIKOS FAKULTETAS

Joana Brasiūnaitė

**HIBRIDINIŲ MOBILIŲJŲ PROGRAMŲ ENERGIJOS
SUVARTOJIMO IŠMANIUOSIUOSE ĮRENGINIUOSE TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Lekt.dr. Darius Matulis

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS

HIBRIDINIŲ MOBILIŲJŲ PROGRAMŲ ENERGIJOS
SUVARTOJIMO IŠMANIUOSIUOSE ĮRENGINIUOSE TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Informatika (M4016M21)

Vadovas

Lekt. dr. Darius Matulis

2016-05-23

Recenzentas

Doc. dr. Ingrida Lagzdinytė-Budnikė

2016-05-23

Projektą atliko

Joana Brasiūnaitė

2016-05-20

KAUNAS, 2016

TURINYS

Santrauka.....	6
Summary	7
Paveikslėlių sąrašas.....	8
Lentelių sąrašas.....	10
Įvadas	11
1 Hibridinių mobiliųjų programų energijos suvartojimas.....	12
1.1 Mobilųjų programų tipai.....	12
1.1.1 Standartinė mobilioji programa	12
1.1.2 Internetinė mobilioji programa	12
1.1.3 Hibridinė mobilioji programa	12
1.1.3.1 Papildytas vykdymas	13
1.1.3.2 Lanksčiai paskirstomos mobiliosios programos.....	14
1.2 Mobiliojo įtaiso komponentų poreikis energijai	15
1.2.1 Mobiliojo įrenginio komponentai	15
1.2.1.1 Procesorius.....	15
1.2.1.2 GPS.....	17
1.2.1.3 „Wi-Fi“ ir mobilusis celinis tinklas	18
1.2.1.4 Ekranas	19
1.2.2 Mobiliosios programos	20
1.2.3 Hibridinės mobiliosios programos	21
2 Mobiliosios programos energijos modelis	24
2.1 Procesorius.....	24
2.2 Wi-Fi	25
2.3 Ekranas.....	25
3 Standartinės ir hibridinės mobiliųjų programų energijos eikvojimas	27
3.1 Mobiliosios programos energijos eikvojimo modelis.....	27
3.2 Hibridinės ir standartinės mobiliosios programos energijos eikvojimo modelis.....	28

3.2.1	„Wi-Fi“ komponentas eikvoja 50 proc. mažiau energijos	28
3.2.2	„Wi-Fi“ komponentas eikvoja 25 proc. mažiau energijos	32
3.2.3	„Wi-Fi“ komponentas eikvoja 20 proc. mažiau energijos	36
3.2.4	„Wi-Fi“ komponentas eikvoja 5 proc. mažiau energijos	40
3.3	Realaus įrenginio baterijos energijos eikvojimas.....	44
3.4	Rezultatų palyginimas.....	48
Išvados		50
Naudota literatūra.....		51

SANTRAUKA

Pagrindinis mobiliojo įrenginio trūkumas – yra riboti resursai: procesorius, kurio duomenų apdorojimo sparta gali būti ribota, fiksuotas atminties kiekis bei ribotos talpos baterija, kurią reikia nuolat krauti. Išmaniajame mobiliajame įtaise yra įprasta naudoti daugelį mobiliųjų programų vienu metu, todėl baterijos energija yra intensyviai eikvojama. Kai kurios mobiliosios programos nuolat būna aktyvios foniniame režime, todėl kuo daugiau mobiliųjų programų naudojama, tuo sueikvotas energijos kiekis yra didesnis. Dėl šių trūkumų vis dažniau pradeda kurti mobiliąsias programas, kurios vadinamos hibridinėmis mobiliosiomis programomis. Jose visi arba dalis intensyviai mobiliojo įtaiso resursus naudojančių uždavinių atliekami ne pačioje mobiliojoje programoje, o perkeltami į nutolusį serverį, į mobiliųjų įtaisą atsiunčiant tik uždavinių rezultatus. Tačiau tokioms mobiliosioms programoms atliekant nesudėtingus uždavinius, jos gali sueikvoti daugiau energijos, nei reikėtų standartinei mobiliajai programai, todėl žinant šias sąlygas būtų galima tinkamai pasirinkti programos tipą ir optimaliai naudoti įrenginio bateriją.

Joana Brasiūnaitė. *Hibridinių Mobiliųjų Programų Energijos Suvartojimo Išmaniuosiuose Įrenginiuose Tyrimas*: Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt.dr. Darius Matulis; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Reikšminiai žodžiai: *hibridinė mobilioji programa*, baterijos energijos eikvojimas.

Kaunas, 2016. 51 p.

SUMMARY

One of the main disadvantages of the mobile device is limited resources: usage speed of cpu may be limited, fixed amount of memory and limited capacity of the battery which requires a constant charging. It is common to use many applications at the same time on the smart mobile device – it is the reason why energy of the battery is so intensively consumed. The consumed amount of energy is equal to the number of applications used because some of applications are constantly active in the background. In order to minimise these disadvantages, more often applications called hybrid applications are created. These applications transfer to the distant server all or part of tasks which intensively consume resources of the mobile device and send to the mobile device only results of the tasks. These applications may consume more energy for the easy tasks than the local application. Thus, knowing these conditions, there is a possibility to choose the type of the application properly and consume the battery of the device optimally.

Joana Brasiūnaitė. *Research On Hybrid Applications' Energy Consumption In mobile Devices*. Master's thesis / supervisor lekt.dr. Darius Matulis. The Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Key words: *hybrid application, energy consumption*.

Kaunas, 2016. 51 p.

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. CloudClone architektūra [1].....	14
1.2 pav. Procesoriaus energijos eikvojimo priklausomybė nuo dažnio ir panaudojimo lygio [6].....	16
1.3 pav. Energijos eikvojimas naudojant „Wi-Fi“ ir „3G“ ryšius [10].....	19
1.4 pav. Pikselių energijos sunaudojimas priklausomai nuo ryškumo ir spalvos [6].....	20
1.5 pav. Skirtingų mobiliųjų programų rūšių energijos eikvojimas [12].....	21
3.1 pav. Bendras komponentų energijos eikvojimas	27
3.2 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	29
3.3 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	30
3.4 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	31
3.5 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	32
3.6 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	33
3.7 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	34
3.8 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	35
3.9 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	36
3.10 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	37
3.11 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	38
3.12 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	39
3.13 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	40
3.14 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	41
3.15 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. sueikvoja mažiau energijos	

standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	42
3.16 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. suėikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	43
3.17 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. suėikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje	43
3.18 pav. Energijos eikvojimas siunčiant duomenis „Wi-Fi“ ryšiu	45
3.19 pav. Energijos eikvojimas siunčiant duomenis „3G“ ryšiu	46
3.20 pav. Energijos eikvojimas leidžiant video	47
3.21 pav. Energijos eikvojimas leidžiant video „Wi-Fi“ ryšiu	47
3.22 pav. Energijos eikvojimas leidžiant video „3G“ ryšiu	47
3.23 pav. Realaus įrenginio baterijos energijos eikvojimo rezultatai	48
3.24 pav. Baterijos energijos eikvojimo modelis.....	49

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. α ir β koeficientų reikšmės	25
3.1 lentelė. Minimalus procesoriaus apkrovimas	44
3.3 lentelė. Bevielio ryšio komponento energijos eikvojimas.....	46
3.4 lentelė. Ekranų komponento energijos eikvojimas leidžiant video	48

ĮVADAS

Šiuolaikiniame technologijų pasaulyje dauguma žmonių turi mobiliuosius įrenginius. Kiekvienam asmeniui yra labai patogu turėti mini–kompiuterį savo kišenėje, kuriuo pasinaudodamas galėtų pažiūrėti orų prognozes, sužinoti aktualijas, pasitikrinti elektroninį paštą ar žaisti žaidimus ir pan. Sukurta daugybė mobiliųjų programų, palengvinančių žmonių gyvenimą. Pagrindinis mobiliojo įrenginio trūkumas – yra riboti resursai: procesorius, kurio duomenų apdorojimo sparta gali būti ribota, fiksuotas atminties kiekis bei ribotos talpos baterija, kurią reikia nuolat krauti. Dėl šių trūkumų vis dažniau pradedama kurti mobiliąsias programas, kurios vadinamos hibridinėmis mobiliosiomis programomis. Jose sudėtingų skaičiavimų reikalaujantys procesai siunčiami vykdyti į serverį, o į mobilųjį įrenginį grąžinamas tik rezultatas.

Problemos aktualumas: kadangi mobilusis įrenginys turi ribotus resursus, naudojantis įvairiomis mobiliosiomis programomis intensyviai naudojama baterijos energija. Išmaniajame mobiliajame įtaise yra įprasta naudoti daug mobiliųjų programų vienu metu, o daugelis jų būna nuolat aktyvios foniname režime, todėl kuo daugiau mobiliųjų programų naudojama, tuo sueikvotas energijos kiekis yra didesnis. Dėl šios priežasties ieškoma metodų kaip efektyviai optimizuoti mobiliąsias programas, kad energijos sunaudojimo kiekis būtų kuo mažesnis.

Darbo tikslas: sukurti hibridinių mobiliųjų programų energijos eikvojimo modelį ir atlikti jo įvertinimą.

Darbo uždaviniai:

- Sukurti ir įvertinti mobiliojo įrenginio komponentų energijos eikvojimo modelį;
- Nustatyti atvejus kada efektyvu naudoti hibridines mobiliąsias programas;
- Palyginti mobiliojo įrenginio komponentų energijos eikvojimo modeliu apskaičiuotus duomenis su realiais mobiliaisiais įtaisais apskaičiuotais duomenimis.

Mokslinis naujumas: sukurtas mobiliosios programos energijos eikvojimo modelis, leidžiantis įvertinti hibridinės mobiliosios programos naudojimo efektyvumą energiniu požiūriu palyginant su analogiška standartine mobiliąja programa, kuris energijos suvartojimo požiūriu vertina mobilųjį įtaisą sudarančius komponentus, o taip pat kiekvieno jų įtaką bendram įtaiso energijos suvartojimui.

1 HIBRIDINIŲ MOBILIŲJŲ PROGRAMŲ ENERGIJOS SUVARTOJIMAS

1.1 Mobilijų programų tipai

Mobiliajame įrenginyje naudojamos mobiliosios programos gali būti kelių tipų: tai standartinė, internetinė arba hibridinė mobilioji programa.

1.1.1 Standartinė mobilioji programa

Standartinė mobilioji programa (angl. *Native app*) yra vykdoma naudojamame įrenginyje. Kuriant tokio tipo mobiliąją programą yra naudojama konkreti įrenginį palaikanti platforma, pavyzdžiui: „iOS“ įrenginiuose programuojama su „Objective-C“ programavimo kalba, tuo tarpu „Android“ operacines sistemas turintiems įrenginiams mobiliosioms programoms kurti naudojama „Java“ kalba ir pan. Tokio tipo mobiliosios programos pagrindinis privalumas yra sparta. Mobiliajai programai kurti gali būti naudojama mobiliojo įrenginio techninė įranga, tokia kaip GPS, „Bluetooth“ ar kamera. Standartinės mobiliosios programos užima daug vietos, kadangi visi failai, duomenų bazės yra talpinamos lokaliai kartu su mobiliąja programa. Visi procesai ir resursai yra pasiekiami tik iš lokalaus įrenginio. Tokios mobiliosios programos būna efektyviai pritaikytos mobilaus įrenginio funkcionalumui, konkrečiai techninei įrangai ir operacinei sistemai, todėl veikia tik konkrečioje platformoje. Šios mobiliosios programos privalumas yra tas, kad ji korektiškai funkcionuoja net ir neprijungta prie tinklo [1].

1.1.2 Internetinė mobilioji programa

Internetinė mobilioji programa (angl. *Mobile web app*) yra atvaizduojama iš internetinės svetainės. Joje mobilioji programa aprašyta naudojant tokias internetines technologijas, kaip HTML, CSS ir „Javascript“. Visa informacija yra laikoma serveryje, todėl mobiliajame įrenginyje tokio tipo programa užima mažai vietos. Pagrindinis internetinės mobiliosios programos trūkumas yra vėlinimas perduodant duomenis iš serverio į mobilųjį įrenginį. Taip pat naudojant šį metodą mobiliojo įrenginio techninė įranga ir jos funkcijos nėra prieinamos. Čia daugiaplatformiškumo problemos nebelieka, todėl, kad naudojamos internetinės technologijos. Internetinės mobiliosios programos procesai apdorojami serveryje, todėl kartais atsiranda sunkumų apdorojant sudėtingus procesus, reikalaujančius nenutraukti ryšio ilgesniam sesijos laikui nei įprasta. Šių mobiliųjų programų sukūrimas yra automatizuotas – sukurta internetinių įrankių, kur įvedus svetainės adresą internetinė mobilioji programa yra sugeneruojama automatiškai. Vienas iš tokių pavyzdžių yra „Appsgeyser“ arba „Web2apk“ [1].

1.1.3 Hibridinė mobilioji programa

Hibridinė mobilioji programa (angl. *Hybrid app*) tai standartinės ir internetinės mobiliųjų programų junginys. Kadangi mobilusis įrenginys turi ribotą atminties ir baterijos energijos kiekį,

naudojant tokią mobiliąją programą, duomenys siunčiami apdoroti į serverį, o į mobilųjį įrenginį gražinamas tik rezultatas. Hibridinė mobilioji programa užima mažiau vietos ir eikvoja mažiau energijos nei standartinė mobilioji programa, tuo pačiu išlieka ir mobiliojo įrenginio komponentų pasiekiamumo galimybė.

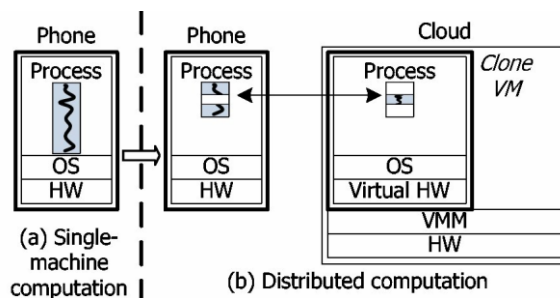
Kuriant hibridinę programą, atsiranda galimybė prieigai prie neriboto energijos sunaudojimo ir reikalingo atminties kiekio. Serveryje duomenų apdorojimas vykdomas kur kas greičiau nei mobiliajame įrenginyje. Efektyvus hibridinės mobiliosios programos išnaudojimas yra tada, jei skaičiavimai, duomenų apdorojimas ar saugojimas yra vykdomi serveryje, o vartotojas to nepastebi. Mobilioji programa privalo išlikti interaktyvi, negali būti apribotos naudojimosi galimybės ar pastebimas vėlinimas. Hibridinės mobiliosios programos panaudojimas mažina didelių duomenų apdorojimo laiką, į mobilųjį įrenginį gražinant serveryje įvykdytų uždavinių rezultatus. Tokiu būdu galima sudaryti įspūdį, kad mobilusis įrenginys sugeba apdoroti didelį kiekį duomenų.

Tokiame modelyje svarbu nuspręsti kokius metodus siųsti vykdyti į serverį, kokius palikti lokaliajame įrenginyje, kad mobiliosios programos vykdymo greitis ir interaktyvumas būtų optimalus. Kaip efektyviai atlikti skaičiavimus serveryje ir rezultatus gražinti mobiliajai programai, kad būtų išlaikomas saugumas. Siekiant, kad mobiliosios programos ir sistemos veiktų dinamiškoje aplinkoje, mobiliosios programos privalo reaguoti į dinaminį skaičiavimo funkcijų reguliavimą tarp įrenginio ir serverio priklausomai nuo pasitaikančių aplinkybių. Procesų vykdymai tarp kliento ir serverio privalo būti prisitaikantys – reaguoti ir atsakyti į mobiliųjų aplinkų pasikeitimus. Kadangi duomenų siuntimo į serverį ir procesų vykdymo jame įgyvendinimo būdų yra ne vienas, pasirinkimo, kokį metodą naudoti duomenims siųsti, sprendimas priklauso nuo kuriamos mobiliosios programos taikymo srities [1].

1.1.3.1 Papildytas vykdymas

Hibridinės mobiliosios programos įgyvendinimo metodas – papildytas vykdymas (angl. *Augmented execution*) apibrėžia būdus, kurie yra naudojami mobiliųjų išteklių resursų (atmintis, baterijos gyvavimo laikas) apribojimams eliminuoti. Vienas tokių panaudojimo būdų yra „CloneCloud“ technologija (1.1 pav.). Iš mobiliojo įrenginio siunčiami duomenys apdoroti į serverį, kuriame sukurtas virtualiosios mašinos principu paremtas (angl. *VM-based*) mobiliojo įrenginio klonas.

Kai skaičiavimai klone būna baigti, rezultatai yra integruojami į mobiliąją programą. Šis intensyvių skaičiavimų vykdymo ne lokaliajame mobiliojoje programoje metodas naudoja sinchronizuotas virtualias mobiliojo įrenginio kopijas serveryje. Tokia mobilioji programa yra nedidelė, nes visi daug resursų reikalaujantys skaičiavimai vykdomi debesyje [1][2].



1.1 pav. CloudClone architektūra [1]

Dar viena įgyvendinimo technologija „Cloudlet“ siūloma M. Satyanarayanan, P. Bahlo, R. Cácereso ir N. Davieso. Jai įgyvendinti naudojama VM sintezė. Įrenginys pristato po nedidelius VM sluoksnius į „Cloudlet“ infrastruktūrą, kuri valdo tą VM, iš kurios sluoksnis buvo pristatytas. Ši technologija orientuota į didelius skaičiavimus ir daug atminties reikalaujančias mobiliąsias programas, kadangi VM sintezė trunka nuo 60 iki 90 sekundžių. Tiek laiko trunkantis vėlinimas gali būti nepriimtinas vykdant nedideles užduotis [1][3].

1.1.3.2 Lanksčiai paskirstomos mobiliosios programos

Lanksčiai paskirstomos mobiliosios programos (angl. *Elastic Partitioned Applications*) gali būti efektyvesnės už įprastas, tinkamai paskirsčius jos dalis, nurodžius, kurios turėtų būti vykdomos nuotoliniu būdu, dėl turinčio daug resursų serverio infrastruktūros, o kurios – lokaliame įrenginyje. Lanksčiai paskirstomos mobiliosios programos dalys yra tos dalys, kurios bus apdorojamos nuotoliniu būdu. Toks mobiliosios programos suskaldymas gali būti interpretuojamas kaip galimybė prireikus išskirti ar išlaisvinti resursus. Mobilioji programa gali būti suskaidyta įvairaus dydžio dalimis nuo atskirų programinės įrangos modulių iki pavienių metodų [1][2].

I. Giurgiu, O. Riva, D. Juricas, I. Krivulevas, G. Alonso sukūrė sistemą, kuri automatiškai gali paskirstyti mobiliąją programą į kelis sluoksnius tarp mobiliojo įrenginio ir serverio įvertindama optimizavimo parametrus, tokius kaip vėlinimas, duomenų perdavimas ir pan [1][4]. Jos esmė yra mobiliosios programos dalių, išskaidytų į modulius, paskirstymas automatiškai ir dinamiškai nusprendžiant, kada ir kuris mobiliosios programos dalies modelis turėtų būti kraunamas iš vietinio įrenginio, o kuris iš nutolusio. Tikslas pasiekti optimalų greitį minimaliais resursais. Sistema naudoja „Alfredo“ karkasą atskiriems skirstomosios mobiliosios programos moduliams, esantiems tiek mobiliajame įrenginyje, tiek serveryje kontroliuoti. Mobiliosios programos suskirstymas yra vykdomas OSI¹ lygmenyje. Yra galimybė padalinti ir atskirti mobiliosios programos dalis pristatomajame sluoksnyje, kol ryšio (angl. *data layer*) sluoksnis lieka saugomas serveryje. Tokiai technologijai įgyvendinti reikalaujama, kad mobiliosios programos UI² būtų vykdoma klientinėje

¹ OSI – (angl. *Open Systems Interconnection Reference*) apibrėžia duomenų perdavimo sistemų sujungimo paremtą sluoksniais principą

² UI – vartotojo sąsaja (angl. *user interface*)

dalyje [4].

Dar vienas iš šio metodo panaudojimo būdų yra sistema „MAUI“ . Jos idėja yra priešinga mobiliųjų programų dalijimui į modulių. Ji dalija mobiliąsias programas į nedidelius fragmentus (angl. *fine-grained*), kurie talpinami serveryje. „MAUI“ sistemos tikslas yra efektyviai pailginti baterijos gyvavimo laiką. Mobiliosios programos optimizavimas yra vykdomas atsižvelgiant į tokius vertinimus, kaip tinklo sujungimo parametrai, srauto pralaidumas ir vėlinimas. Naudojant „MAUI“ sistemą į serveryje esantį kloną galima perkelti nedidelius kodo fragmentus arba pavienius metodus. Ne visada efektyvu naudoti perkeltus pavienius metodus, kartais yra efektyvesnis kelių metodų sujungtų į vieną dalį naudojimas [1][5].

1.2 Mobiliojo įtaiso komponentų poreikis energijai

Visi mobiliojo įrenginio komponentai eikvoja baterijos energiją, tačiau kiekvieno iš jų poreikis energijai yra skirtingas. Kadangi mobiliojo įrenginio baterijos gyvavimo laikas yra ribotas, aktualu, kad visa sistema bei mobiliosios programos naudotų kuo mažiau mobiliojo įrenginio baterijos energijos.

1.2.1 Mobiliojo įrenginio komponentai

R. Murmura, J. Medsgeris, A. Stavrou, J. M. Voasas [6] energijos modelį išreiškė per mobiliojo įrenginio komponentų sumą (1.1), kur kiekvienas komponentas yra sistemos dedamoji.

$$\begin{aligned} & \textit{Energijos sunaudojimas} \\ & = \textit{procesorius} + \textit{ekranas} + \textit{GPS} + \textit{audio} + \textit{mikrofonas} + \dots + \textit{Wifi} \end{aligned} \quad (1.1)$$

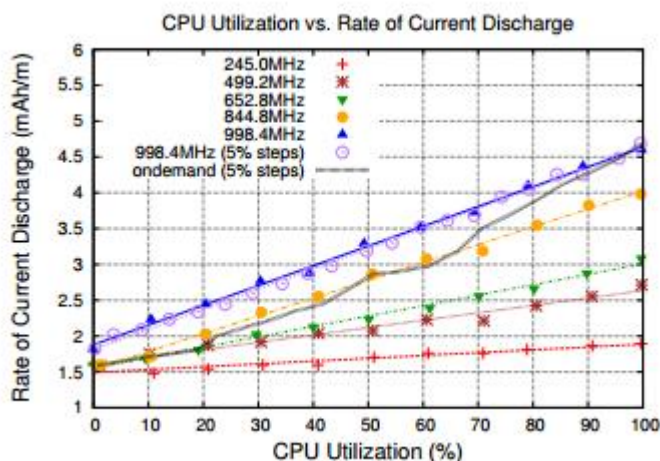
Bendras energijos sunaudojimo kiekis kiekvienam laiko momentui ($P(t)$) gali būti aprašomas sumuojant komponentų sunaudojamą energijos kiekį tiriamam laiko momentui (1.2).

$$P(t) = \sum_i C_i U_i(t) \quad (1.2)$$

Čia sumuojami visi mobiliojo įrenginio komponentai (i), kur C yra konstanta, reiškianti kokią įtaką komponentas turi visai sistemai, o U yra komponento energijos sunaudojimo kiekis kiekvienam laiko momentui.

1.2.1.1 Procesorius

Nustatyti procesoriaus įtaką bendrajame baterijos energijos eikvojimo modelyje [6] tyrė analizuodami bendrą energijos sunaudojimą su skirtingais procesoriaus dažniais ir apkrovimu procentais.



1.2 pav. Procesoriaus energijos eikvojimo priklausomybė nuo dažnio ir panaudojimo lygio [6]

Tyrimo metu buvo įrodyta, kad procesoriaus procesų vykdymas turi didelę įtaką baterijos energijos eikvojimui, kuris priklauso nuo procesoriaus dažnio ir jo apkrovimo (1.2 pav.). Taigi, kuo procesoriaus dažnis didesnis, tuo didesnis baterijos išsikrovimo koeficientas. Lygiai taip pat baterijos energijos eikvojimas priklauso nuo procesoriaus apkrovimo lygio, kuo labiau jis apkraunamas, tuo daugiau energijos sunaudoja.

Procesoriaus energijos modelis gali būti įvertintas:

$$P_{cpu_operating} = \alpha_{freq_i} * U_{cpu} + \beta_{freq_i}; \quad (1.3)$$

čia: $U_{cpu_operating}$ – procesoriaus panaudojimo lygis,

$freq_i$ – dažnis su α ir β koeficientais nustatomais tiesinės regresijos metu.

Toks energijos modelis kai atsižvelgiama tik į panaudojimo lygį ir dažnį yra tinkamas tik vieno branduolio procesoriams. Kuo daugiau procesorių turi branduolių, tuo tikslumo paklaida didėja [7]. Taip yra todėl, kad neatkreipiamas dėmesys į procesoriaus energijos sunaudojimo lygį kai nėra vykdoma nė viena programa. Procesorius gali būti aktyvus (procesorius vykdo užklausas) arba neaktyvus (nevykdo jokių užklausų). Kai procesorius yra aktyvus, jis gali būti dviejose skirtingose būsenose: vykdomojoje (angl. *operating*) arba laukimo (angl. *idle*). Kai procesorius yra laukimo būsenoje procesorius naudoja minimalų kiekį energijos, kuris lieka neįvertintas.

Procesoriaus energijos modeliai, kuriuose atsižvelgiama tik į procesoriaus dažnį ir panaudojimo lygį (1.3) turi nemažą tikslumą (90%) jei modelis pritaikomas vieno branduolio procesoriui [7]. Kuo daugiau branduolių turi procesorius, tuo rezultatai yra netikslesni, kadangi nekreipiamas dėmesys į energijos eikvojimą kai procesorius yra laukimo būsenoje, o esant toje būsenoje taip pat naudojama energija, kuri energijos modelyje lieka neįvertinta. Pagal ACPI (angl. *Advanced Configuration and Power Interface*) specifikaciją [8] laukimo būseną skirstoma į smulkesnes C-būsenas (angl. *C-states*). Procesoriui esant vienoje iš C-būsenų, skirtingi mobiliojo įrenginio komponentai naudoja nedidelį

kiekį energijos. Esant C_0 būsenoje, išjungiamas daugumos procesų vykdymas, tačiau procesoriui vis tiek yra tiekama energija. Perėjus į C_1 būseną energijos tiekimas į procesorių yra išjungiamas, bet jei podėlyje yra patalpintos informacijos, ji išsaugoma ir energijos tiekimas podėlio komponentui lieka įjungtas. Procesoriui esant C_2 būsenoje energijos eikvojimas yra dar mažesnis nei esant C_0 ar C_1 būsenose, kadangi čia podėlyje talpinama informacija yra naikinama ir išjungiamas podėlio komponentas. Skirtingi procesoriai turi skirtingą C-būsenų kiekį. Dažniausiai tik procesorius turintis bent kelis branduolius gali pereiti į skirtingas C-būsenas, vieno branduolio procesorius turi tik C_0 būseną [7].

Įvertinti procesoriaus buvimo laukimo būsenoje laiko trukmę galima:

$$T_{idle} = \sum_i T_{C_i}; \quad (1.4)$$

čia: T_{C_i} yra laiko tarpas, kurį procesorius buvo kiekvienoje iš laukimo būsenų.

Kiekvienai laukimo būsenai galima nustatyti įėjimų skaičių per sekundę (E_{C_i}). Esant toje pačioje C būsenoje E_{C_i} mažėja [7]. Kai yra žinoma T_{C_i} ir E_{C_i} galima išvesti įėjimų trukmės vidurkį kiekvienai C būsenai:

$$ED_{C_i} = \frac{T_{C_i}}{E_{C_i}} \quad (1.5)$$

Vienam branduoliui energijos sueikvojimas būtų:

$$P_{core} = \sum_i \beta C_i * ED_{C_i} + \beta U * U + c; \quad (1.6)$$

čia: βC_i ir $\beta U - EDC_i$ koeficientai, U – branduolio apkrovimas, o c – konstanta.

Viso procesoriaus energijos sueikvojimas numatant, kad gali būti skirtingas branduolių kiekis:

$$P_{CPU} = P_{BL, N_c} + \sum_i^{N_c} P_{\Delta, core} * U_i * f_i; \quad (1.7)$$

čia: N_c – branduolių kiekis, P_{BL, N_c} – pradinis procesoriaus energijos eikvojimas, $P_{\Delta, core}$ – kiekvieno branduolio energijos prieaugis, U_i – kiekvieno branduolio apkrovimas, o f_i – kiekvieno branduolio dažnis.

$$P_{\Delta, core} \text{ apskaičiuojamas: } \frac{P_{CPU} - P_{BL, N_c}}{N_c}.$$

Vieno branduolio procesoriui energijos sunaudojimo įvertinimas esant laukimo būsenoje, neturės didelės įtakos bendram energijos modeliui, tačiau esant kelių branduolių procesoriui procesoriaus energijos sunaudojimo rezultatai bus tikslesni.

1.2.1.2 GPS

GPS komponentas gali pereiti į kelias būsenas: aktyvus, išjungtas, budėjimo (angl. *standby*).

Kai GPS komponentas yra išjungtas, jis baterijos energijos neeikvoja. Esant aktyviai GPS būsenai, sueikvojama didžiausias energijos kiekis, kadangi jis kiekvienu laiko momentu siunčia signalus į palydovą, kad nustatytų buvimo vietą. GPS privalo dekoduoti gautus signalus prieš tai išskyręs juos iš aplinkos triukšmo kiekvieną kartą, kai įrenginio pozicija yra pakeičiama. Todėl, kuo dažniau mobilusis įrenginys keičia vietą esant aktyviam GPS, tuo daugiau baterijos energijos sunaudojama.

Esant budėjimo būsenai, sueikvojama mažiau energijos nei būtų sueikvojama aktyvioje būsenoje, kadangi signalai vietos nustatymui į palydovą siunčiami ne kiekvienu laiko momentu, o tik kas fiksuotą laiko tarpą [9].

Bendrajame energijos eikvojimo modelyje jis nevertinamas, kadangi jo veikimas nėra pastovus ir šis komponentas gali būti išjungtas.

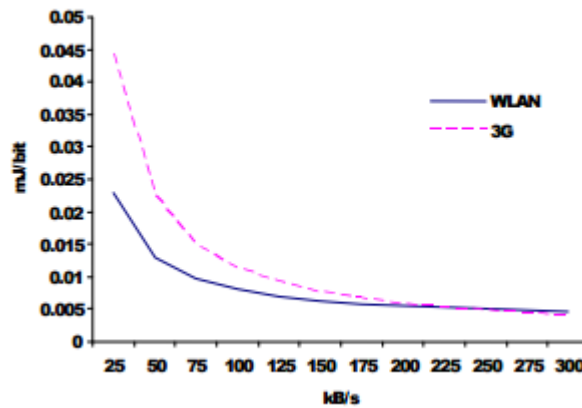
1.2.1.3 „Wi-Fi“ ir mobilusis celinis tinklas

Naudojant „Wi-Fi“ arba mobilųjį celinį tinklą taip pat papildomai yra eikvojama mobiliojo įrenginio baterijos energija. Kuo didesnis siunčiamas arba gaunamas duomenų rinkinys, tuo daugiau jo siuntimui energijos yra sueikvojama. Tačiau ne tik duomenų dydis turi įtakos, bet ir srauto modelis. Siunčiama nedidelių failų seka sueikvoja daugiau energijos, nei sueikvotų tokio pat dydžio, tačiau vienas failas[10].

Siuntimo greitis taip pat turi didelę įtaką baterijos energijos eikvojimui.

1.3 pav. galima matyti, kad kuo didesnis siuntimo greitis, tuo mažiau energijos yra sunaudojama. Esant didesniai siuntimo greičiui tiek „Wi-Fi“, tiek mobiliojo celinio tinklo baterijos energijos eikvojimas yra panašus. Grafike galima matyti, kad didžiausias skirtumas tarp „Wi-Fi“ ir mobiliojo celinio tinklo yra esant nedideliui siuntimo greičiui (pavyzdžiui, 25 kB/s). Siunčiant duomenis nedideliu greičiu mobilusis celinis tinklas sunaudoja dvigubai daugiau energijos nei „Wi-Fi“ [10].

Mobilusis celinis tinklas naudoja daugiau energijos, kadangi jo sparta yra mažesnė ir užklausa įvykdoma per ilgesnį laiką, nei būtų įvykdyta naudojant „Wi-Fi“ [10]. Dar labiau energija yra eikvojama kai mobilusis įrenginys būdamas aktyvus keičia savo poziciją, nes tuomet keičiasi ryšio stiprumas ir priklausomai nuo jo jungiamasi vis prie kitos mobiliojo ryšio celės, o jungimasis sunaudoja daugiau energijos nei jos sunaudojama kai ryšys jau yra užmegztas. Tas pats galioja ir „Wi-Fi“ ryšiui, jei ryšys yra užmegztas, jis naudoja tam tikrą kiekį energijos, tačiau jei „Wi-Fi“ ieško aktyvaus ryšio prie kurio galėtų prisijungti, tuomet sunaudojama kelis kartus daugiau energijos nei įprastai[10].



1.3 pav. Energijos eikvojimas naudojant „Wi-Fi“ ir „3G“ ryšius [10]

„Wi-Fi“ energijos eikvojimas duomenų perdavimo metu priklauso nuo siunčiamų ir gaunamų paketų kiekio. [6] „Wi-Fi“ energijos eikvojimą išskaido į

$$P_{Wi-Fi}(t) = cdr * Wi-Fi\ uptime; \quad (1.8)$$

čia: *Wi-Fi uptime* yra laiko tarpas, kurį „Wi-Fi“ buvo aktyvus,

cdr (angl. *current discharge rate*) – išsiųstų ir gautų paketų energijos sunaudojimas.

Nustatyti kiek išsiunčiami ir gaunami paketai sunaudoja energijos [6] atliko eksperimentą iš įrenginio siųsdami UDP paketus. Eksperimentas buvo pradėtas vykdyti siunčiant duomenų paketus 0 KB/s greičiu ir kas 20 min greitis buvo didinamas po 100 KB/s. Pastebėta, kad kiekvieną kartą, kai padidinamas siuntimo greitis po 100 KB/s, baterijos energijos sunaudojimo vidurkis padidėja 0.11 mAh/m, pagal šį dėsnį tiek siunčiamiems, tiek gaunamiems paketams [6] išvedė *cdr* formulę:

$$cdr = 0.0011x * 2.739; \quad (1.9)$$

čia *x* yra išeinantis ir įeinantis srautas.

1.2.1.4 Ekranas

Tyrimų metu [6] nustatė, kad komponentas labiausiai eikvojantis energiją yra mobiliojo įrenginio ekranas. Energija yra sunaudojama kiekvieno ekrane esančio pikselio įjungimui, vadinasi, kuo ekranas yra aukštesnės rezoliucijos, tuo daugiau energijos jis sueikvoja.

[6] ekrano sunaudojamą energijos kiekį konkrečiam laiko momentui ($U_{disp}(t)$) išskaidė į:

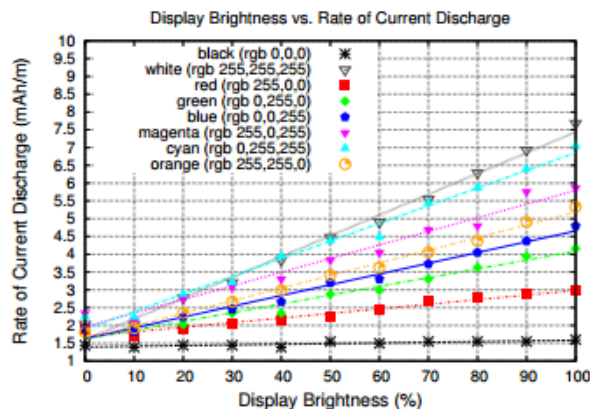
$$U_{disp}(t) = avg.\ pixel\ strenght * display\ uptime; \quad (1.10)$$

čia: *avg. pixel strenght* – visų ekrano pikselių sunaudojamos energijos vidurkis,

display uptime – ekrano aktyvumo laikas.

Kadangi kiekvienas ekrano pikselis sunaudoja skirtingą energijos kiekį priklausomai nuo to

piksely ryškumo ir spalvos, pikselių sunaudojamo energijos kiekio apskaičiavimui [6] tyrė poveikį tarp ekrano ryškumo ir piksely spalvos. Buvo nustatyta, kad pikselis priklausomai nuo savo spalvos turi skirtingą įtaką energijos eikvojimui.



1.4 pav. Pikselių energijos sunaudojimas priklausomai nuo ryškumo ir spalvos [6]

1.4 pav. galima matyti, kad juodi pikseliai naudoja mažiausiai energijos, o balti – daugiausiai. Mėlyni pikseliai lemia aukštesnę energijos sunaudojimo lyg, nei žali, o žali pikseliai naudoja daugiau energijos nei raudoni.

Kadangi spalvas galima aprašyti per RGB spalvų erdvę ir pagal mėlynos, žalios bei raudonos spalvų energijos eikvojimo dėsnį (1.4 pav.) [6] nustatė, kaip apskaičiuoti pikselių energijos sunaudojimą (angl. *pixel strenght*) priklausomai nuo to piksely spalvos įtakos energijos eikvojimui.

$$pixel\ strenght = 0.4216 * r + 0.7469 * g + 1 * b \quad (1.11)$$

Mėlyna spalva eikvoja daugiausiai energijos, todėl prie mėlynos spalvos reikšmės fiksuojamas koeficientas lygus 1. Žalia naudoja mažiau energijos, todėl pagal energijos eikvojimo kiekį lyginant su mėlyna spalva, šios spalvos koeficientui priskiriama 0,7469 reikšmė. Raudonos spalvos įtaka energijos naudojimui yra mažiausia, todėl koeficientas šiai spalvai yra – 0,4216. Pavyzdžiui, jei analizuojamas mėlynos spalvos pikselis, RGB paletėje tos spalvos reikšmė bus (0,0,255), taigi:

$$pixel\ strenght = 0.4216 * 0 + 0.7469 * 0 + 1 * 255 \quad (1.12)$$

Vadinasi, kuo daugiau ekrane bus juodų pikselių ir kuo jų ryškumas bus mažesnis, tuo pikselių sunaudojamos energijos vidurkis bus mažesnis.

Taigi, jei siunčiami duomenų paketai prisijungus prie mobiliojo celineo tinklo ir maksimaliai naudojamas ekranas, tuomet baterijos energijos eikvojimo kiekis yra didžiausias.

1.2.2 Mobiliosios programos

Kadangi visos mobilijame įrenginyje vykdomos mobiliosios programos sunaudoja tam tikrą kiekį energijos, pasinaudojus (1.2) formule galima įvertinti kiekvienos mobiliosios programos

energijos sunaudojimo lygį per laiką (1.13) [6].

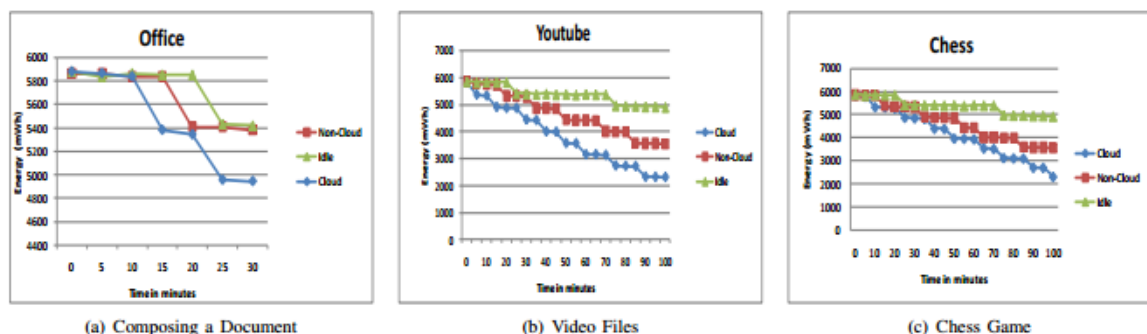
$$P^j(t) = \sum_i C_i U_i^j(t) \quad (1.13)$$

Indeksas j nurodo konkrečią mobiliąją programą, kurios sunaudojamas energijos kiekis analizuojamu laiko momentu yra apskaičiuojamas sumuojant bendrą, mobiliosios programos komponentų eikvojama, energiją. Tiriama kiek energijos sunaudojama mobiliosios programos veikimui, C konstantos perskaičiuoti nebereikia, nes koeficientas, kuris nurodo įtakos reikšmę bendram energijos sueikvojimui išlieka toks pats.

1.2.3 Hibridinės mobiliosios programos

Kai yra žinomas mobiliosios programos energijos sunaudojimo lygis, jis gali būti mažinamas, standartinę mobiliąją programą pakeitus į hibridinę, tokiu būdu nusiunčiant labiausiai energiją naudojančius procesus vykdyti serveryje. Sprendimas ar kurti hibridinę mobiliąją programą, ar ne, priimamas remiantis duomenų apdorojimo sparta, reikalingos energijos kiekiu ir duomenų perdavimo saugumu. Esminis aspektas yra kompromisas tarp eikvojamos energijos kiekio, reikalingo procesų apdorojimui, ir tarp energijos eikvojimo komunikacijai su tinklu. Svarbu apsvarstyti energijos sąnaudas duomenų apdorojimui mobiliajame įrenginyje ir sąnaudas, skirtas išsiųsti duomenis apdoroti į serverį, bei grąžinti rezultatą. Jei duomenys siunčiami apdoroti į serverį, hibridinės mobiliosios programos sąsaja su tinklu privalo sunaudoti mažiau energijos nei jos reiktų užklausų vykdymui lokaliajame įrenginyje.

Baterijos energijos eikvojimo lygis taip pat priklauso nuo pačios mobiliosios programos paskirties: ar tai žaidimas, ar video peržiūrų mobilioji programa, ar mobilioji programa, kurioje yra galimybė įvesti ir redaguoti tekstą. Skirtingo tipo mobiliosios programos sunaudoja skirtingą kiekį baterijos energijos. V. Namboodiris ir T. Ghose [11] atliko tyrimą, kurio metu tyrė trijų skirtingų rūšių mobiliąsias programas: teksto redaktoriaus, multimedijos ir šaškių žaidimo (1.5 pav.).



1.5 pav. Skirtingų mobiliųjų programų rūšių energijos eikvojimas [12]

Lyginant energijos sunaudojamą kiekį, kai mobilioji programa yra standartinė, su sunaudojamu energijos kiekiu, kai ta pati mobilioji programa yra hibridinė, nustatyta, kad energijų skirtumai yra

didžiausi multimedijos failų transliavimo mobiliojoje programoje. Taigi, efektyviausia standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine tada, kai ši yra skirta video peržiūroms.

Tačiau ne visada hibridinės mobiliosios programos kūrimas vietoj standartinės yra efektyvus. Kuriant tokio tipo mobiliąsias programas svarbu nepamiršti, kad papildomai baterijos energija reikalinga sujungti su tinklu. Dėl šios priežasties gali būti, kad standartinė mobilioji programa mažiau eikvos bateriją nei hibridinė mobilioji programa. Reikia nepamiršti, kad siųsti duomenis apdoroti į serverį taip pat reikalinga energija, todėl reikia nuspręsti ar efektyvu siųsti duomenis, ar tiek pat bus sunaudota energijos apdoroti duomenis mobiliajame įrenginyje.

Nuspręsti kokį mobiliosios programos kūrimo metodą naudoti, reikia palyginti energijos eikvojimo poreikį: ar efektyvu siųsti duomenis apdoroti į serverį, kartu įvertinat, kad reikalinga energija sujungti su tinklu, ar mažiau energijos sueikvojama apdoroti duomenis mobiliajame įrenginyje (1.14) [11].

$$P_m = P_0 + P_{CPU}\lambda + P_{NIC} \quad (1.14)$$

Energijos sunaudojimo kiekio nustatymui (P_m) sumuojamas pradinis energijos sunaudojimo lygis (P_0) su maksimaliu procesoriaus energijos sunaudojimo rodikliu (P_{CPU}), padaugintu iš procesoriaus apkrovos esamomis sąlygomis (λ) ir su energijos poreikiu sąsajai su tinklu – P_{NIC} (angl. *network interface for communication*).

Efektyvu naudoti hibridinę mobiliąją programą, jei:

$$p_m^c < p_m^l; \quad (1.15)$$

čia c reiškia hibridinę mobiliąją programą, o l – standartinę. Į abi puses ištačius energijos sunaudojamo kiekio nustatymo formulę gaunama:

$$P_0 + P_{CPU}\lambda^c + P_{NIC}^c \leq P_0 + P_{CPU}\lambda^l + P_{NIC}^l \quad (1.16)$$

Kadangi abiejose nelygybės pusėse yra P_0 , tai jį galima pašalinti. Standartinei mobiliajai programai energijos sunaudojimas sąsajai su tinklu bus lygus 0, todėl lieka:

$$P_{CPU}\lambda^c + P_{NIC}^c \leq P_{CPU}\lambda^l \quad (1.17)$$

Iš formulės (1.17) galima matyti, kad hibridinę mobiliąją programą efektyvu naudoti tada, kai lokalus procesų apdorojimas sunaudoja daugiau energijos nei jos sunaudojama komunikacijai su tinklu.

Kompromisą tarp energijos sunaudojimo procesams apdoroti ir komunikacijai su tinklu taip pat svarstė A. P. Miettinenas ir J. K. Nurminen [10]. Jei yra žinomos energijos sąnaudos reikalingos

apdoroti procesus mobiliajame įrenginyje (E_{local}) ir energijos sąnaudos, reikalingos išsiųsti ir gauti duomenis iš serverio (E_{cloud}), galima sudaryti nelygybę:

$$E_{cloud} < E_{local} \quad (1.18)$$

Kad hibridinės mobiliosios programos naudojimas būtų efektyvus, ji privalo sunaudoti mažiau energijos, nei jos sunaudotų tokia pati, tačiau standartinė mobilioji programa. E_{local} ir E_{cloud} gaunama iš:

$$E_{cloud} = \frac{D}{D_{eff}}; \quad (1.19)$$
$$E_{local} = \frac{C}{C_{eff}};$$

čia D yra perduotų duomenų kiekis baitais, o C – procesoriaus skaičiavimo ciklų kiekis, kiek ciklų procesorius įvykdys apdorodamas duomenis ir vykdydamas skaičiavimus. D_{eff} ir C_{eff} yra įrenginio duomenų perdavimo ir skaičiavimų apdorojimo efektyvumas. D_{eff} parametras apskaičiuojamas kiek duomenų gali būti perduodama su tam tikru energijos kiekiu (baitais per džiaulį). C_{eff} yra skaičiavimų, kurie gali būti įvykdomi su tam tikru energijos kiekiu (ciklais per džiaulį), kiekis. Pagal tai galima sudaryti nelygybę tarp procesų vykdymo ir komunikacijos su tinklu.

$$\frac{C}{D} > \frac{C_{eff}}{D_{eff}} \quad (1.20)$$

Reikalingas energijos kiekis apdoroti procesus priklauso nuo pačio įrenginio architektūros. Jei procesorius yra sukurtas sugebėti apdoroti sudėtingus skaičiavimus, vienam laiko momentui jis sunaudos daugiau energijos nei procesorius turintis mažiau galios.

Jei sukurta mobilioji programa bus optimizuota tiek, kad minimaliai naudotų baterijos energiją, tačiau jos vykdymo sparta bus itin lėta, tokia mobilioji programa nebeteks prasmės. Hibridinei mobiliajai programai aktualu ne tik vykdymo ar atsako į užklausas greitis, bet ir efektyvus sujungimas su tinklu [10][12].

2 MOBILIOSIOS PROGRAMOS ENERGIJOS MODELIS

Mobiliosios programos energijos eikvojimą galima įvertinti sumuojant mobiliojo įrenginio komponentų energijos sąnaudas. Mobiliajame įtaise yra daug komponentų, naudojančių energiją, t.y. procesorius, ekranas, belaidžio ryšio komponentai („Bluetooth“, „Wi-Fi“), vaizdo kamera, vietos nustatymo įrenginys („GPS“), įvairūs jutikliai ir pan., tačiau šiame modelyje vertinamas procesorius, ekranas ir „Wi-Fi“ belaidžio ryšio komponentas, nes jie yra didžiausi baterijos energijos eikvotojai.

$$P^j = (\alpha_{freq_i} * U_{cpu} + \beta_{freq_i} + avg. pixel strenght(0.4216 * r + 0.7469 * g + 1 * b) + cdr(0.0011x * 2.739) + P_{NIC}) * uptime, \text{ kur} \quad (2.1)$$

U_{cpu} – procesoriaus apkrovimo lygis procentais,

$\alpha_{freq_i}, \beta_{freq_i}$ – koeficientai, kurių reikšmės priklauso nuo procesoriaus dažnio,

$avg. pixel strenght$ – visų ekrano pikselių sunaudojamos energijos vidurkis,

cdr (angl. *current discharge rate*) – išsiųstų ir gautų paketų energijos sunaudojimas,

x – išeinantis ir įeinantis srautas,

P_{NIC} – energijos eikvojimas sąsajai su tinklu,

$uptime$ – mobilios programos aktyvumo laikas.

Šis energijos modelis (2.1) yra taikomas ir standartinėms, ir hibridinėms mobiliosioms programoms. Pagrindinis skirtumas yra procesoriaus ir „Wi-Fi“ apkrovimas. „Wi-Fi“ komponentas esant hibridinei mobilijai programai yra naudojamas daugiau nei standartinei, nes papildomas energijos kiekis reikalingas išsiųsti duomenis apdoroti į serverį ir grąžinti rezultata, kai tuo tarpu standartinė mobilioji programa apdoroja duomenis mobiliajame įrenginyje. Tuo pačiu hibridinei mobilijai programai sumažėja procesoriaus komponento apkrovimas, kadangi dalis reikalingų duomenų apdorojimo operacijų atliekama serveryje, o standartinė mobilioji programa visas operacijas atlieka mobiliajame įrenginyje, todėl tokio tipo mobilijai programai procesoriaus komponentas yra labiau apkraunamas ir padidėja eikvojamos energijos kiekis.

2.1 Procesorius

Procesoriaus energijos eikvojimo įvertinimui (2.2) reikalingi parametrai: procesoriaus apkrovimo lygis procentais ir α_{freq_i} bei β_{freq_i} koeficientai, kurių reikšmės priklauso nuo procesoriaus dažnio.

$$CPU = \alpha_{freq_i} * U_{cpu} + \beta_{freq_i} \quad (2.2)$$

Tarkime, kad mobiliojo įrenginio, kuriame vykdoma mobilioji programa, procesoriaus dažnis yra 2.7 GHz. Pagal jį parenkami α ir β koeficientai (2.1 lentelė). Kadangi hibridinei mobilijai programai duomenys apdorojami serveryje, todėl bendrajame mobiliosios programos energijos

modelyje priimta, kad hibridinės mobiliosios programos duomenys serveryje apdorojami 50 proc., 25proc., 20 proc. ir 5 proc. greičiau, nei standartinės mobiliosios programos mobiliajame įrenginyje.

2.1 lentelė. α ir β koeficientų reikšmės

	α	β
Mobilusis įrenginys	2,7	0,27

Mobiliosios programos veikimo metu procesoriaus panaudojimo lygis nebūna fiksuotas. Jis kinta tam tikruose režiuose nuo procesoriaus apkrovimo lygio vidurkio, todėl reikšmių generavimui panaudotas normalusis skirstinys:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \text{ kur} \quad (2.3)$$

μ – vidurkis,

σ – standartinis nuokrypis.

Standartiniam nuokrypiui (2.3) visais atvejais priskirta reikšmė 10, taigi jei procesoriaus apkrovimo vidurkis yra 20 proc., tai reikšmės kis nuo 10 proc. iki 30 proc.

2.2 Wi-Fi

Wi-Fi belaidžio ryšio komponento energijos eikvojimo įvertinimui (2.4) reikalingi parametrai: įeinančio ir išeinančio srauto duomenų kiekis (KB) ir energijos eikvojimo lygis sąsajai su tinklu.

$$WiFi = 0.0011x * 2.739 + P_{NIC} \quad (2.4)$$

Mobiliosios programos modelyje energijos eikvojimo lygis sąsajai su tinklu nevertinamas, nes tiek standartinės, tiek hibridinės analizuojamos mobiliosios programos naudoja belaidžio ryšio komponentą, todėl šis parametras eliminuojamas.

Standartinei mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponentas naudoja mažiau energijos nei hibridinei, kadangi pastarajai papildomos energijos kiekis reikalingas duomenų išsiuntimui į serverį ir rezultatų grąžinimui. Bendrajame mobiliosios programos energijos modelyje analizuotas energijos eikvojimas kai hibridinė mobilioji programa siunčia 50 MB, 25 MB, 5 MB ir 50 KB duomenų. Modelyje vertinama, kad standartinė mobilioji programa siunčia 50 proc., 25 proc., 20 proc. ir 5 proc. mažiau duomenų nei hibridinė.

2.3 Ekranas

Ekranas energijos eikvojimo įvertinimui (2.5) turi būti žinomas ekrane esančių pikselių kiekis, bei tų pikselių spalvų reikšmės RGB spalvų erdvėje. Gautos reikšmės vidurkinamos.

$$LCD = avg.pixel\ strength(0.4216 * r + 0.7469 * g + 1 * b) \quad (2.5)$$

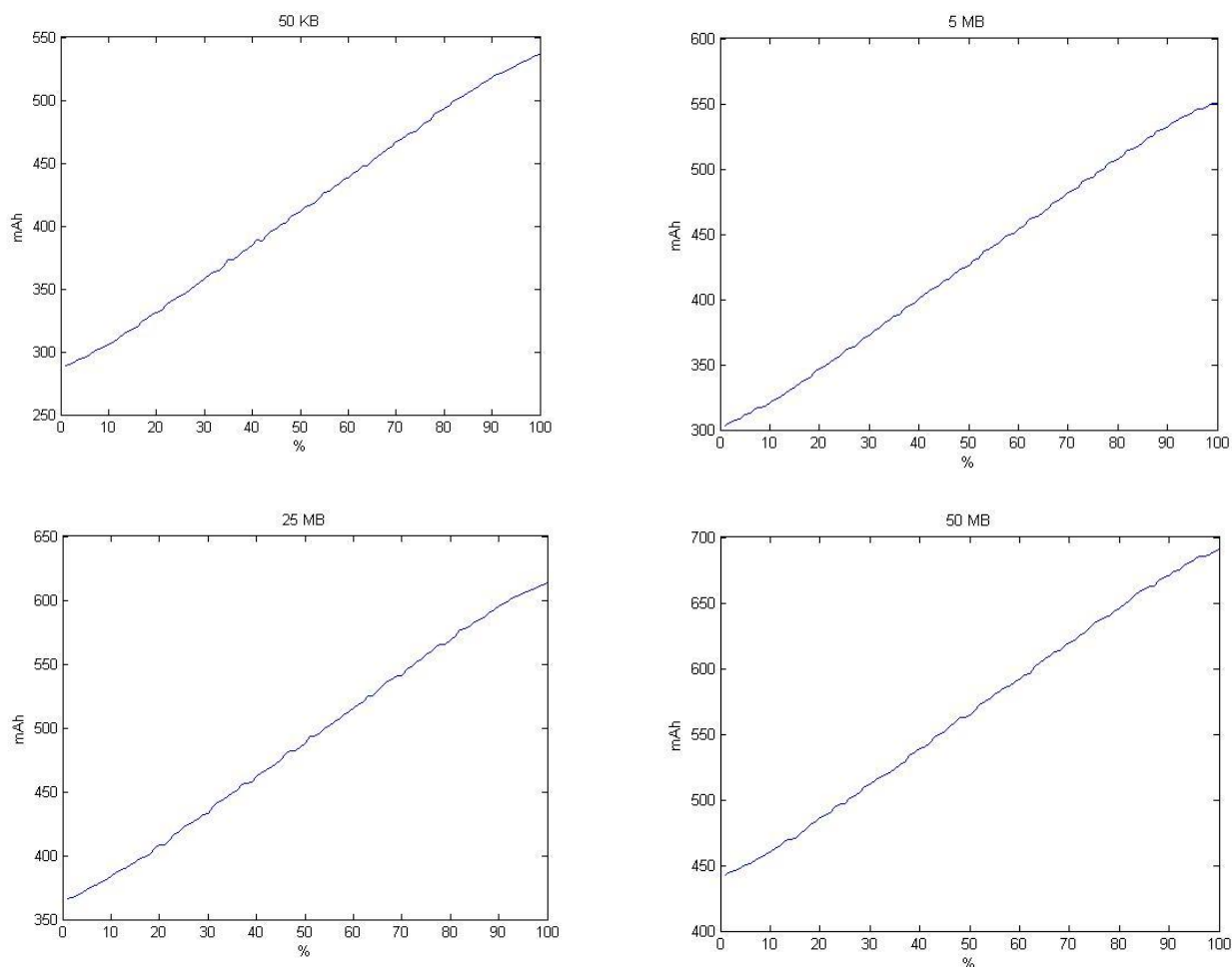
Daroma prielaida, kad modeliuojamo mobiliojo įrenginio ekrano rezoliucija yra 1440 x 2560 pikselių – iš viso 3686400 taškų.

3 STANDARTINĖS IR HIBRIDINĖS MOBILIŲJŲ PROGRAMŲ ENERGIJOS EIKVOJIMAS

Mobiliosios programos energijos eikvojimo modelyje sumuojami visi analizuoti komponentai – procesorius, „Wi-Fi“ belaidžio ryšio komponentas ir ekranas. Rezultatų tikslumui komponentai sumuojami 1000 kartų ir pateikiamas gautų reikšmių vidurkis.

3.1 Mobiliosios programos energijos eikvojimo modelis

Bendrajame mobiliosios programos energijos eikvojimo modelyje (3.1 pav.) galima matyti, kad jei mobilioji programa apkrauna procesorių apie 10 proc. ir siunčia 50 KB duomenų, tuomet ji eikvoja apie 300 mAh. Padidinus siunčiamų duomenų kiekį iki 5 MB – sueikvojama apie 320 mAh. Siunčiant 25 MB duomenų, energijos sunaudojimas padidėja iki 380 mAh. Jei siunčiama 50 MB duomenų, tai energijos eikvojimo lygis padidėja iki 450 mAh.



3.1 pav. Bendras komponentų energijos eikvojimas

Kai „Wi-Fi“ belaidžio ryšio komponentas siunčia nedidelius duomenų kiekius, baterijos energijos eikvojimas padidėja nežymiai – siunčiant 5 MB duomenų energijos sunaudojimas yra apie 20 mAh didesnis, nei siunčiant 50 KB duomenų, nors šiuo atveju siunčiamų duomenų kiekis

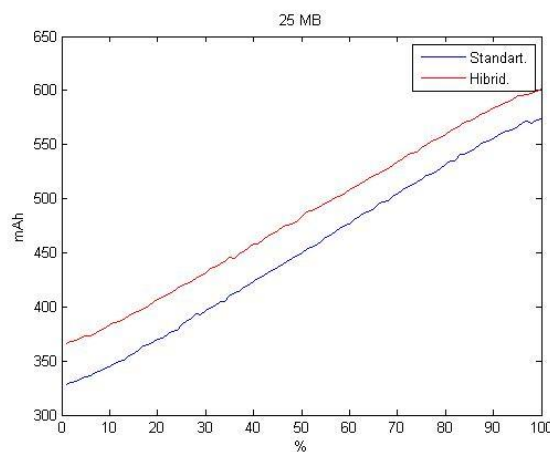
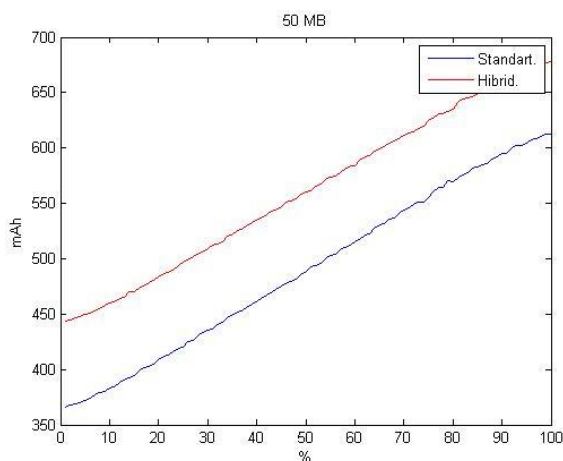
padidėja apie 100 kartų. Siunčiant didesnius duomenų kiekius energijos eikvojimo padidėjimas darosi labiau akivaizdus – 50 MB duomenų siuntimui sueikvojama 70 mAh daugiau energijos, nei siunčiant 25 MB duomenų, nors siunčiamų duomenų kiekis skiriasi 2 kartus.

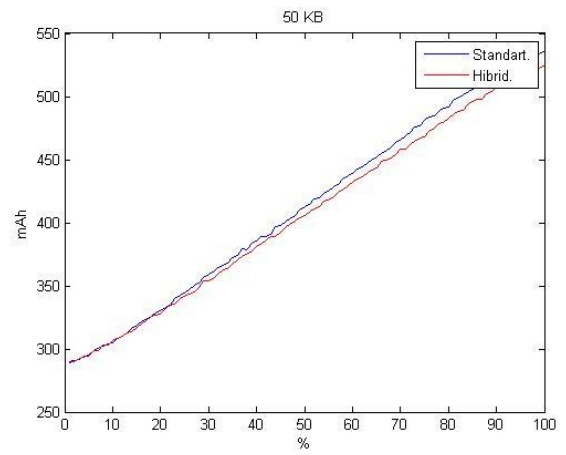
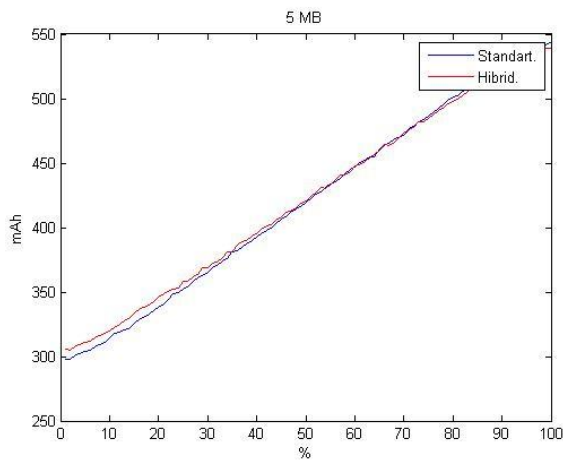
3.2 Hibridinės ir standartinės mobiliosios programos energijos eikvojimo modelis

Įvertinti hibridinės ir standartinės mobiliųjų programų energijos eikvojimo modelį priimta, kad hibridinei mobilijai programai duomenys siunčiami į serverį, kuriame procesorius apdoroja duomenis 5 proc., 20 proc., 25 proc. ir 50 proc. greičiau nei mobilijame įrenginyje. Kadangi hibridinei mobilijai programai reikia išsiųsti daugiau duomenų naudojant bevielio ryšio komponentą „Wi-Fi“, nei standartinei mobilijai programai, nes papildomas duomenų kiekis siunčiamas iš mobiliojo įrenginio, kad serveryje su gautais duomenimis būtų atliekamos operacijos ir grąžinamas tik rezultatas, tai vertinami atvejai kai standartinei mobilijai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 50 proc., 25 proc., 20 proc. ir 5 proc. mažiau energijos nei hibridinei.

3.2.1 „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 50 proc. mažiau energijos

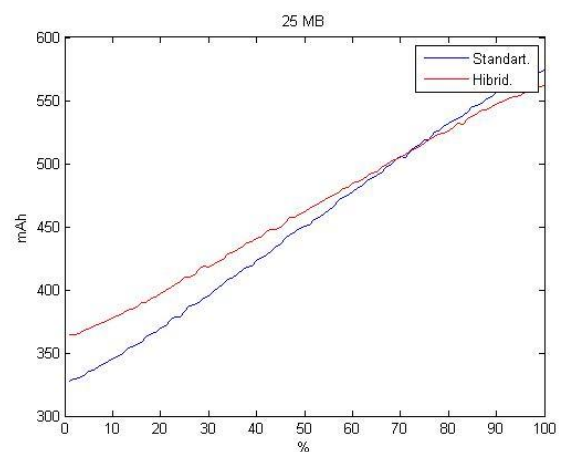
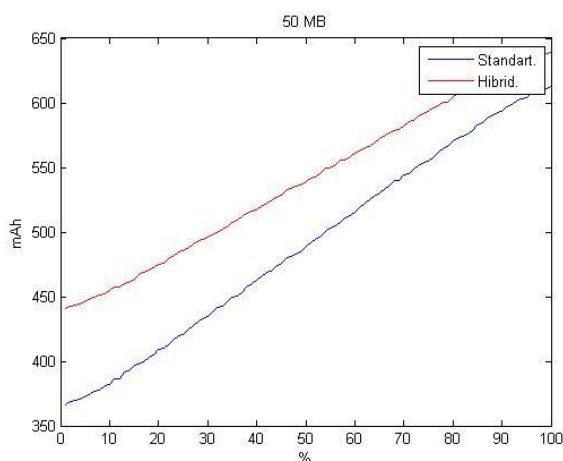
Jei standartinei mobilijai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 50 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilijame įrenginyje (3.2 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine tik tokiu atveju, kai siunčiami nedideliai duomenų kiekiai. Ar hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 50 MB duomenų, ar – 25 MB, tokia pati standartinė mobilioji programa sunaudos mažiau energijos, nei hibridinė. Siunčiant 5 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažiau energijos, jei standartinei mobilijai programai procesoriaus apkrovimas būtų daugiau nei 70 proc., o siunčiant 50 KB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 15 proc. Abiem atvejais energijų skirtumai nėra žymūs, todėl šiuo atveju standartinės mobiliosios programos pakeitimo hibridine efektyvumą reikėtų vertinti atsižvelgiant į kitus pašalinius veiksnius, tokius kaip vėlinimas ir pan.

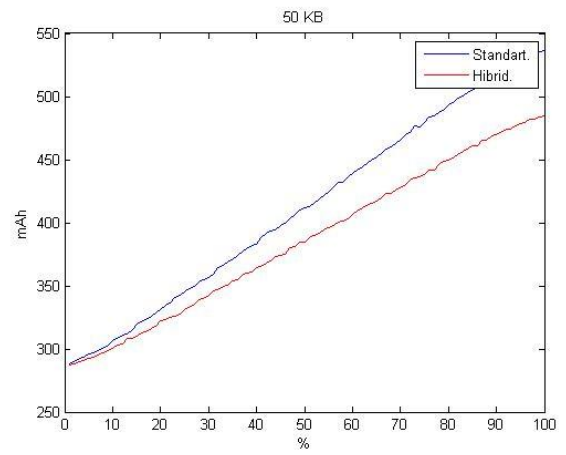
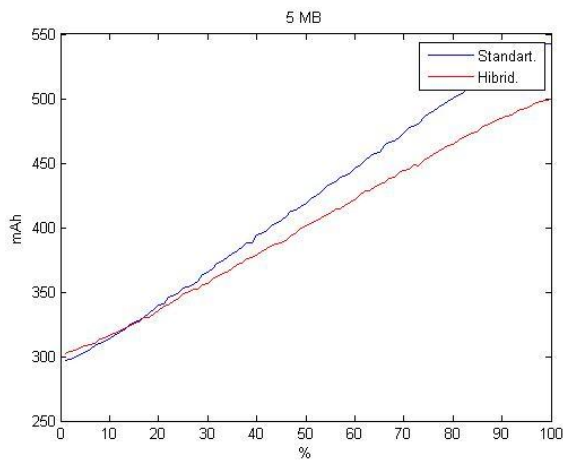




3.2 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

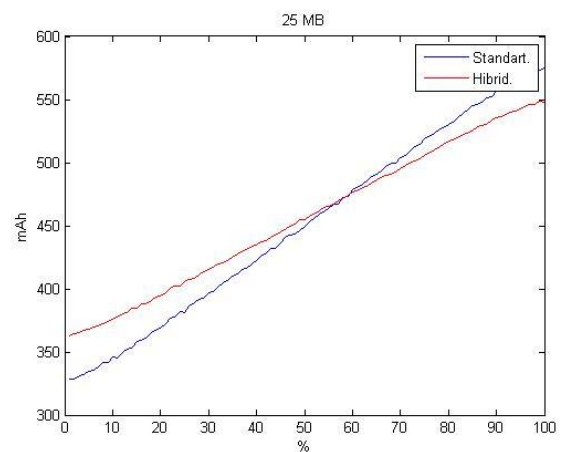
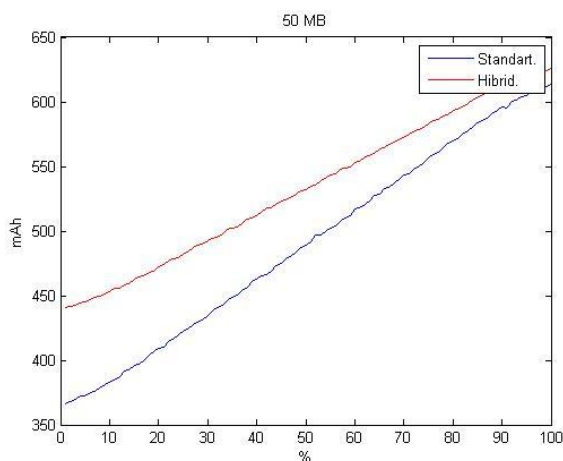
Kai standartinei mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 50 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 20 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje (3.3 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine tik tokiu atveju, jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama mažiau nei 30 MB duomenų. Siunčiant 25 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažiau energijos, jei standartinei mobiliajai programai procesoriaus apkrovimas būtų daugiau nei 75 proc. Siunčiant 5 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 15 proc. Mažėjant siunčiamų duomenų kiekiui, mažėja minimalus procesoriaus apkrovimo dydis, kad hibridinė mobilioji programa būtų efektyvus sprendimas. Jeigu siunčiama 50 KB duomenų, visais atvejais tokia hibridinė mobilioji programa sueikvos mažiau energijos, nei standartinė, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.

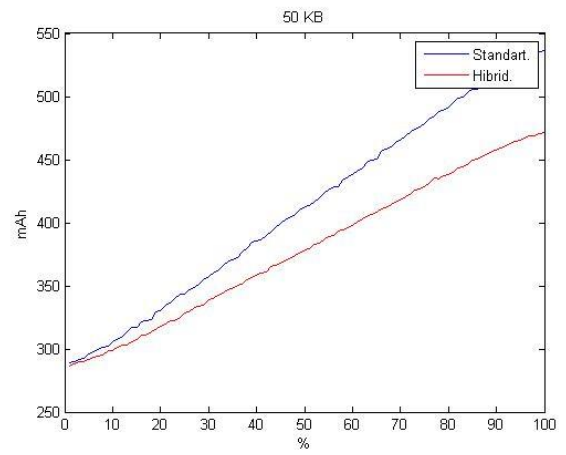
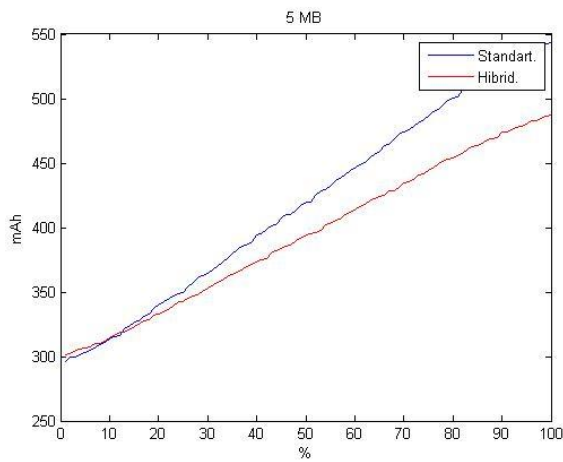




3.3 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

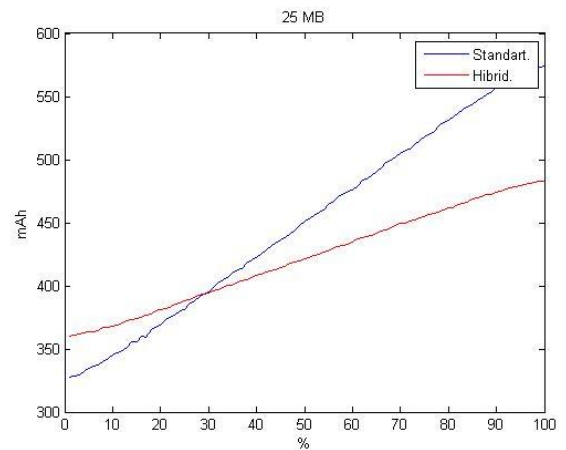
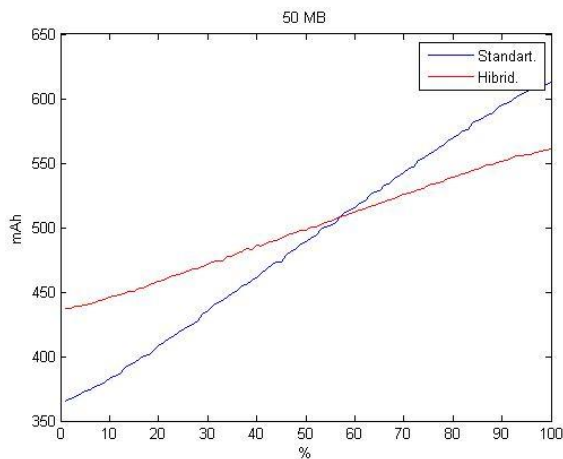
Jeigu standartinė mobilioji programa eikvoja 50 proc. mažiau „Wi-Fi“ komponento energijos, nei hibridinė ir serveryje 25 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilijame įrenginyje (3.3 pav.), tai standartinės mobiliosios programos pakeitimo hibridine efektyvumo sąlygos yra panašios lyginant su 20 proc. greičiau serveryje apdorojamiems duomenims. Hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiant 25 MB duomenų, ji sueikvotų mažiau energijos, jei standartinei mobilijai programai procesoriaus apkrovimas būtų daugiau nei 60 proc. Siunčiant 5 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 10 proc., o kai siunčiama 50 KB duomenų, tai visais atvejais tokia hibridinė mobilioji programa sueikvos mažiau energijos, nei standartinė, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.

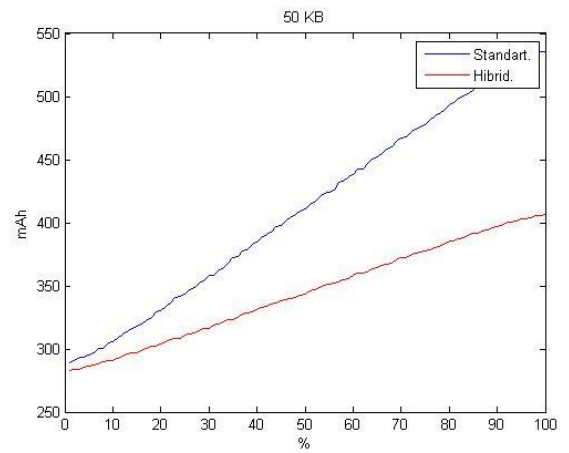
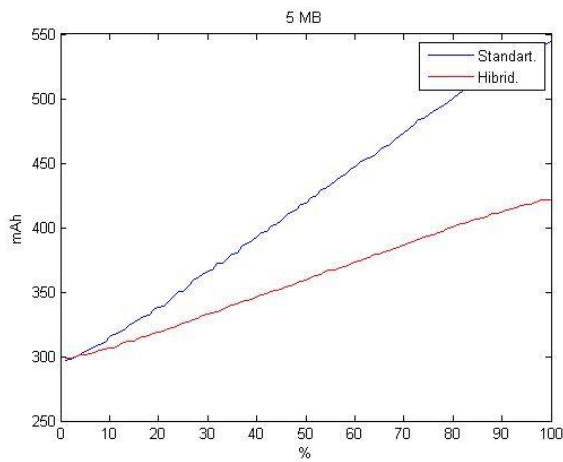




3.4 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

Standartinėje mobiliojoje programoje „Wi-Fi“ komponentui sueikvojant 50 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 50 proc. greičiau apdorojant duomenis, nei mobiliajame įrenginyje (3.3 pav.), efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine: jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 50 MB duomenų, o standartinės mobiliosios programos procesoriaus apkrovimas yra bent 55 proc., jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 25 MB duomenų, o standartinės mobiliosios programos procesoriaus apkrovimas yra bent 30 proc. Siunčiant mažesnius duomenų kiekius, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo, hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, nei standartinė.

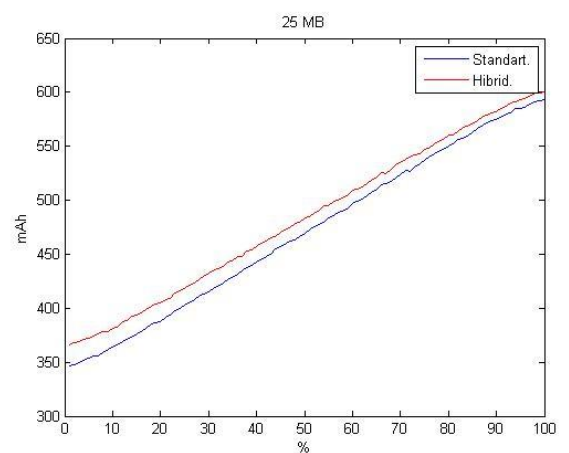
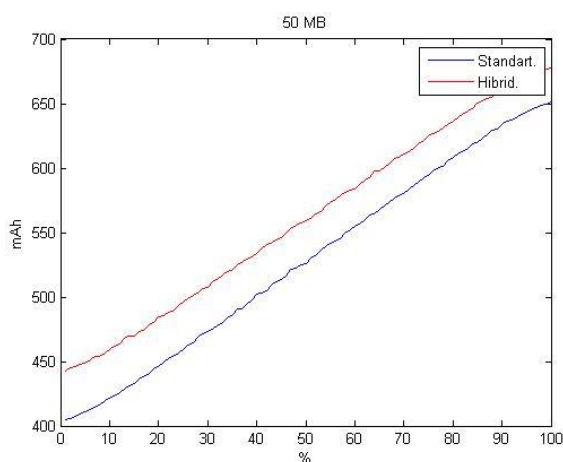


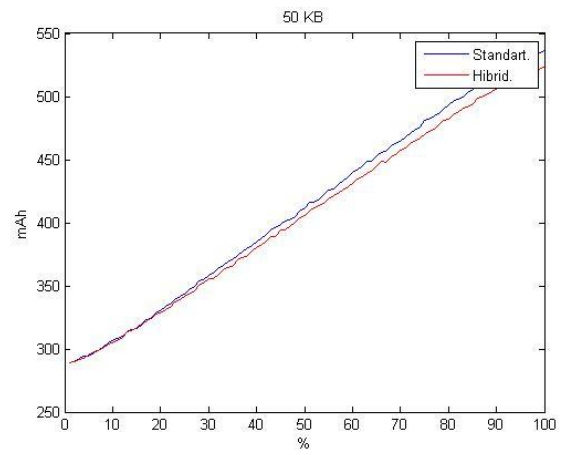
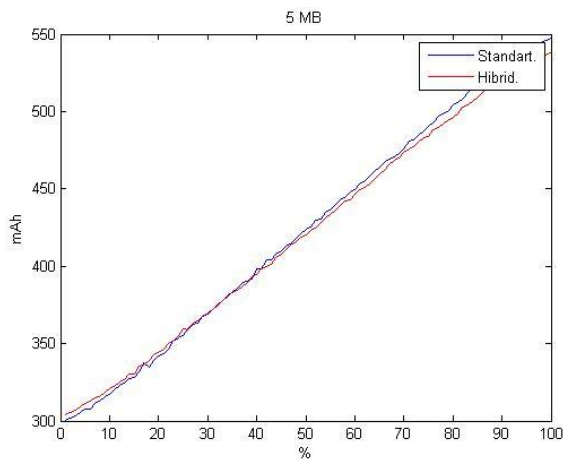


3.5 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 50 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

3.2.2 „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 25 proc. mažiau energijos

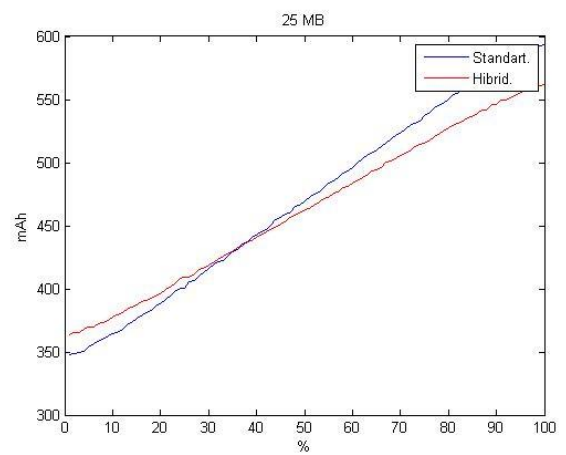
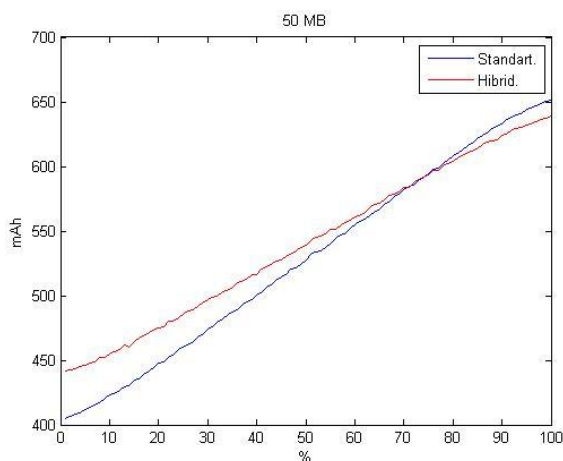
Kai standartinei mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 25 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje (3.6 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine, jeigu yra siunčiami nedideli duomenų kiekiai. Siunčiant tiek 50 MB, tiek 25 MB duomenų, hibridinė mobilioji programa sueikvoja daugiau energijos, nei standartinė. Kai siunčiama 5 MB duomenų, hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinei mobiliajai programai procesoriaus apkrovimas didesnis nei 55 proc., o siunčiant 50 KB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 5 proc. Siunčiant tiek 5 MB, tiek 50 KB duomenų, energijų skirtumai tarp hibridinės ir standartinės mobiliųjų programų nėra žymūs.

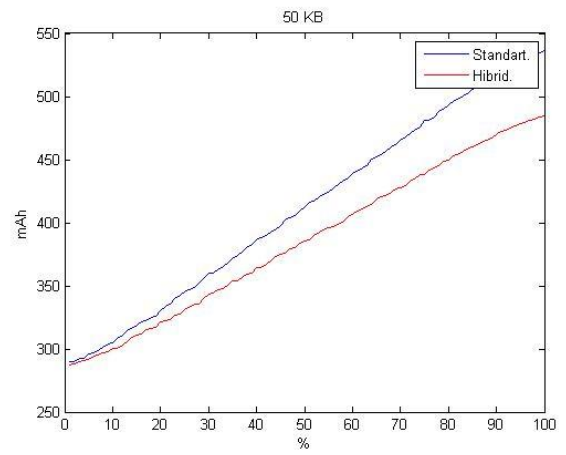
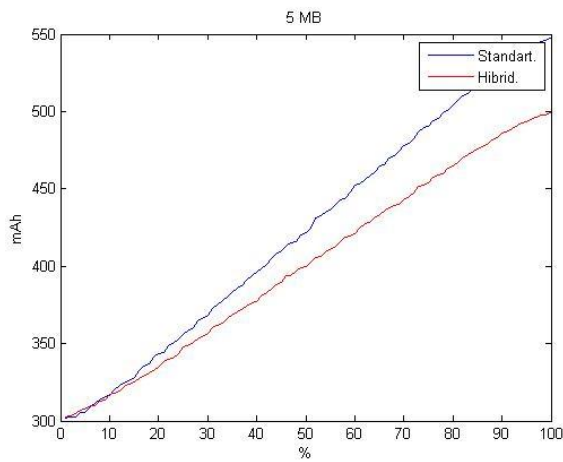




3.6 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

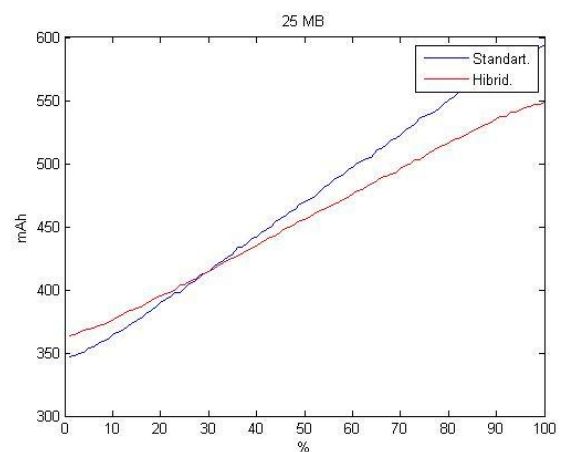
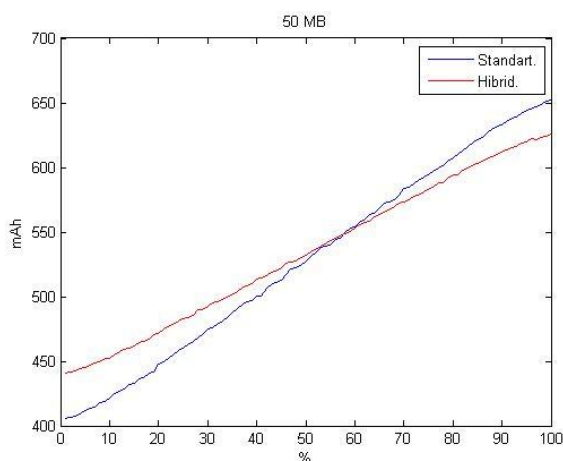
Kai standartinei mobilijai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 25 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 20 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilijame įrenginyje (3.7 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine, jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiant 50 MB duomenų, procesoriaus apkrovimas standartinei mobilijai programai yra bent 70 proc. Kai siunčiamas 25 MB kiekis duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažiau energijos, jei standartinei mobilijai programai procesoriaus apkrovimas būtų daugiau nei 35 proc. Siunčiant 5 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 10 proc. Jeigu siunčiama 50 KB duomenų, visais atvejais tokia hibridinė mobilioji programa sueikvos mažiau energijos, nei standartinė, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.

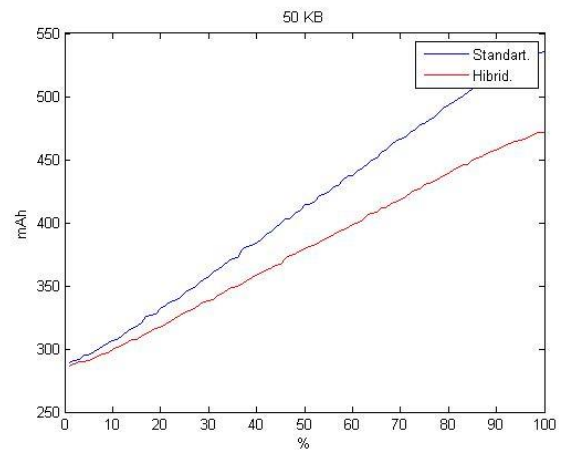
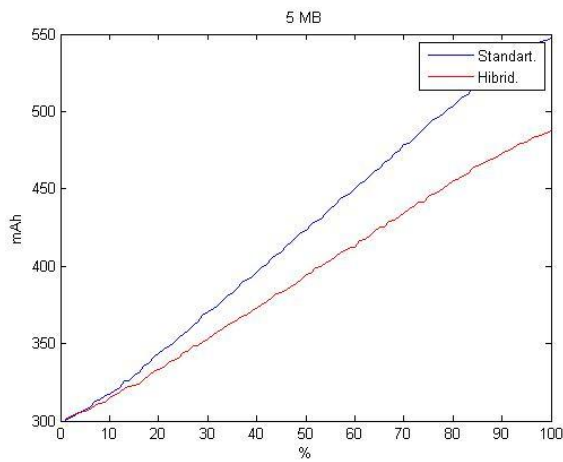




3.7 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

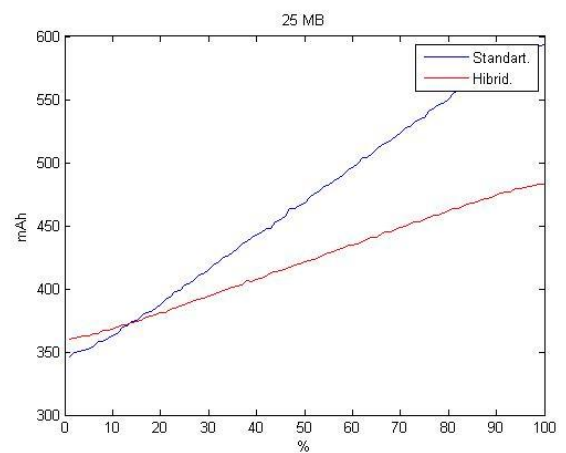
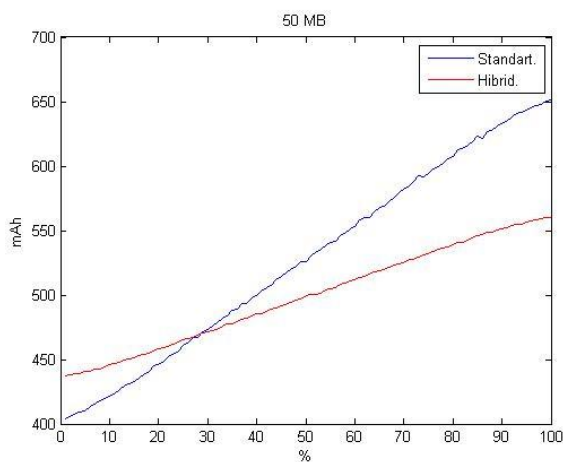
Jeigu standartinė mobilioji programa eikvoja 25 proc. mažiau „Wi-Fi“ komponento energijos, nei hibridinė ir serveryje 25 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilajame įrenginyje (3.8 pav.), tai standartinės mobiliosios programos pakeitimo hibridine efektyvumo sąlygos yra panašios lyginant su 20 proc. greičiau serveryje apdorojamais duomenimis. Hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiant 50 MB duomenų, ji sueikvotų mažiau energijos, jei standartinei mobilijai programai procesoriaus apkrovimas būtų didesnis nei 55 proc. Siunčiant 25 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 30 proc. Kai siunčiama 5 MB duomenų, tai standartinė mobilioji programa privalo apkrauti procesorių bent 5 proc., kad tokia hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažesnę kiekį energijos. o kai siunčiama 50 KB duomenų, tuomet hibridinė mobilioji programa visada sueikvos mažiau energijos, nei standartinė, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.

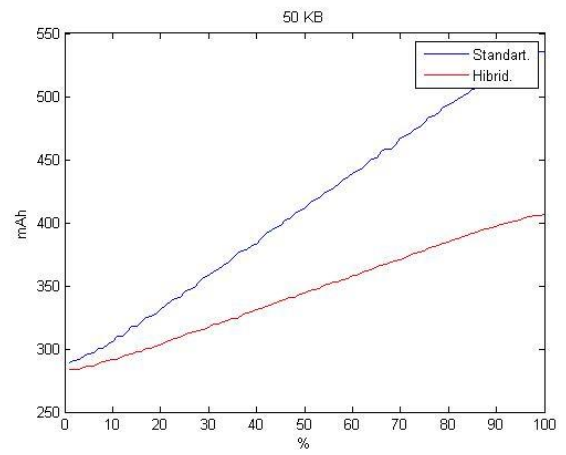
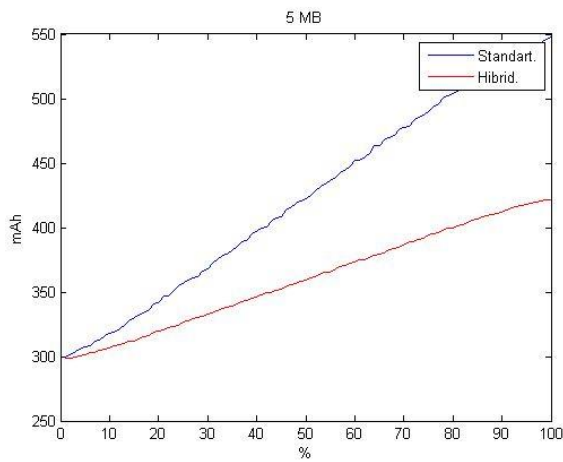




3.8 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

Standartinėje mobiliojoje programoje „Wi-Fi“ komponentui sueikvojant 50 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 25 proc. greičiau apdorojant duomenis, nei mobiliajame įrenginyje (3.9 pav.), efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine: jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 50 MB duomenų, o standartinės mobiliosios programos procesoriaus apkrovimas yra bent 28 proc., jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 25 MB duomenų, o standartinės mobiliosios programos procesoriaus apkrovimas yra bent 15 proc. Siunčiant mažesnius duomenų kiekius, hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, nei standartinė, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.

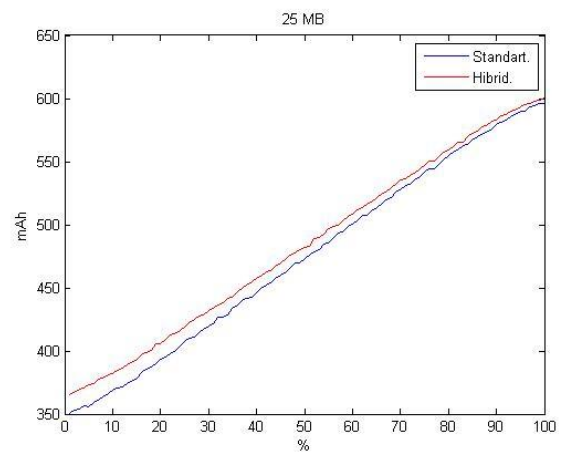
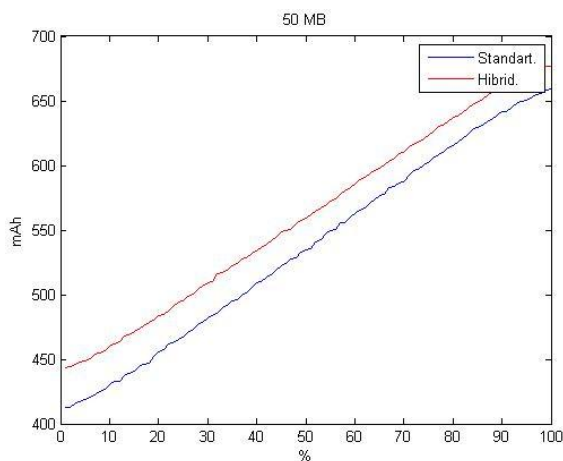


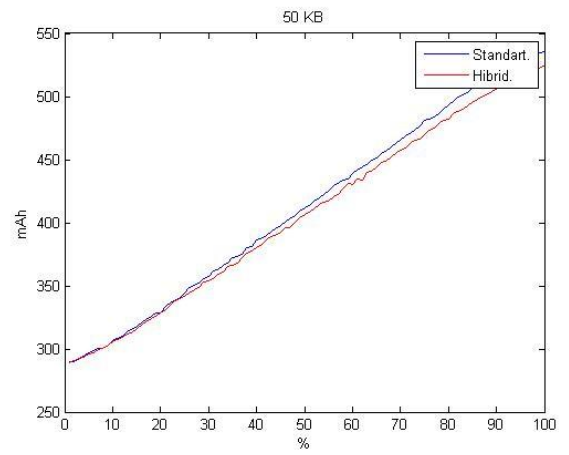
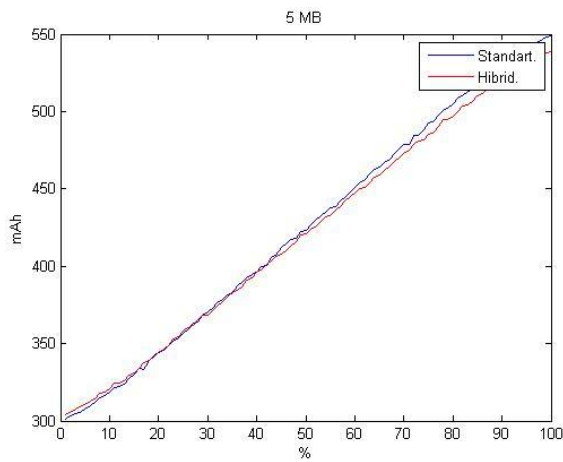


3.9 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 25 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

3.2.3 „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 20 proc. mažiau energijos

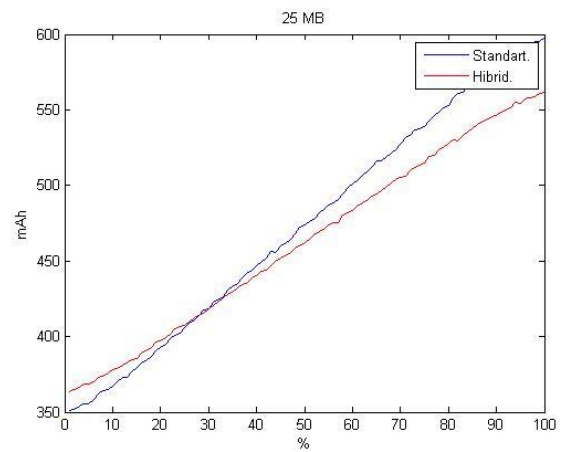
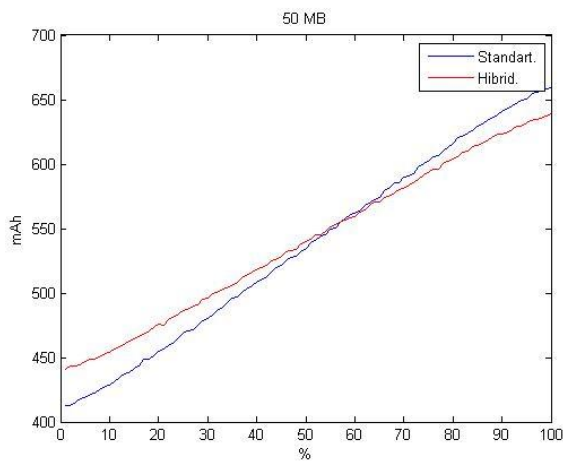
Sumažinus standartinėi mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponento energijos eikvojimą iki 20 proc. mažiau, nei hibridinei, kai serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje (3.10 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine jei siunčiami nedideli duomenų kiekiai. Siunčiant 50 MB duomenų, ar – 25 MB, standartinė mobilioji programa sunaudoja mažiau energijos, nei hibridinė. Siunčiant 5 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių daugiau nei 25 proc., o siunčiant 50 KB duomenų – daugiau nei 5 proc. Kai serverio procesorius apdoroja duomenis 5 proc. greičiau nei mobilusis įrenginys, energijų skirtumai tarp standartinės ir hibridinės mobiliųjų programų nėra žymūs.

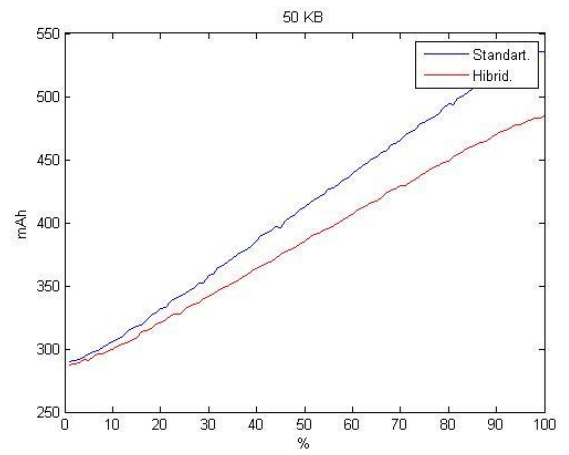
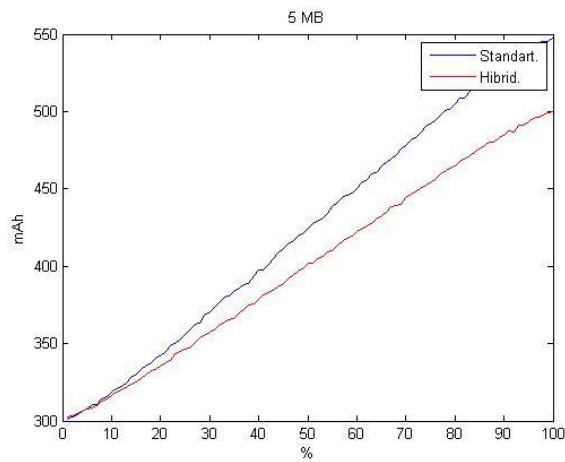




3.10 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

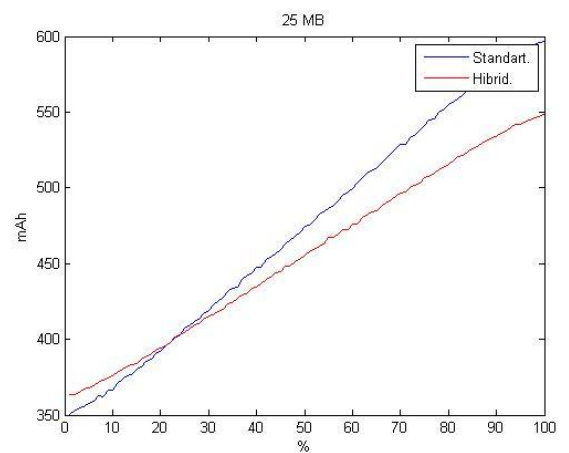
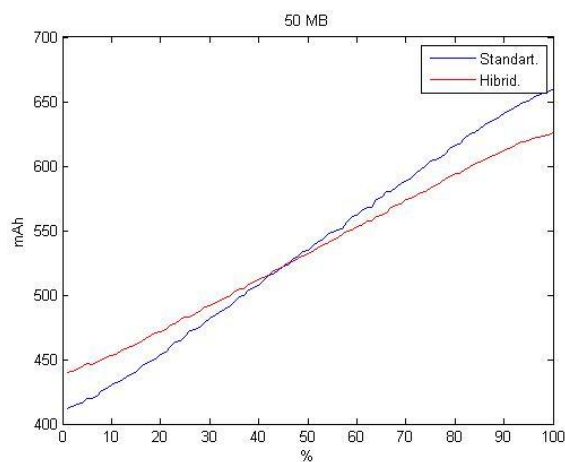
Kai standartinei mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 20 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 20 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje (3.11 pav.3.3 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine, jei siunčiant 50 MB duomenų hibridinėje mobiliojoje programoje, standartinėje mobiliojoje programoje procesorius apkraunamas bent 55 proc., o siunčiant 25 MB duomenų – procesorius apkraunamas bent 30 proc. Siunčiant mažesnius kiekius duomenų, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo, hibridinė mobilioji programa sueikvos mažiau energijos, nei standartinė.

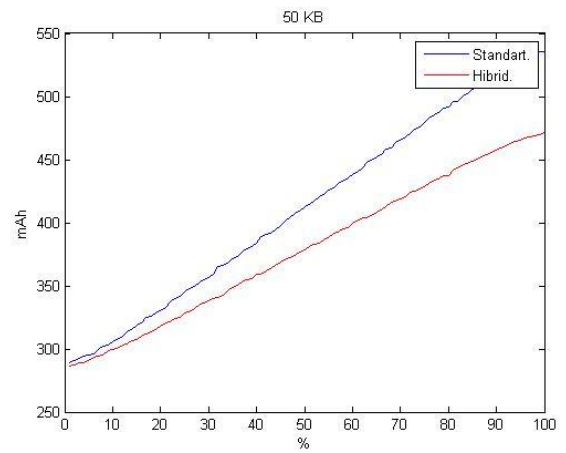
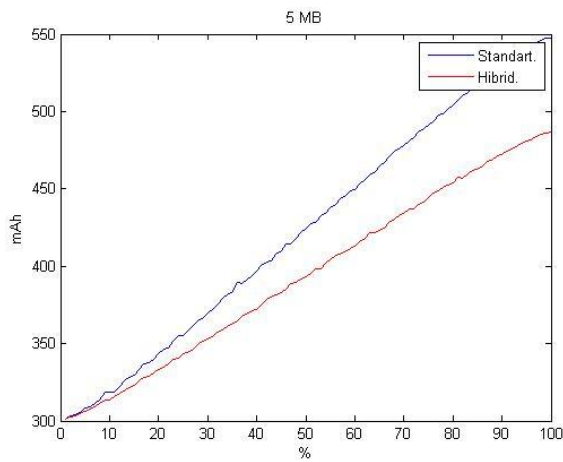




3.11 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

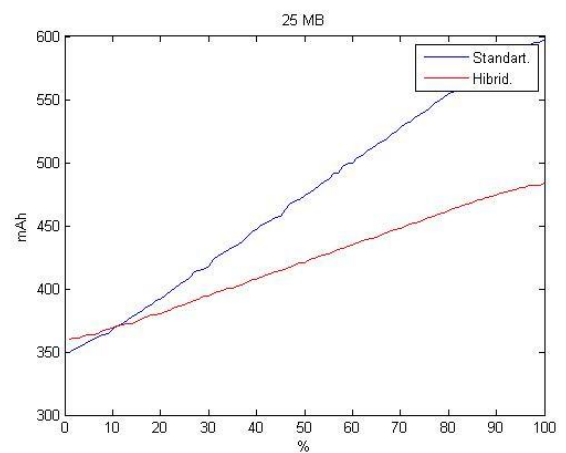
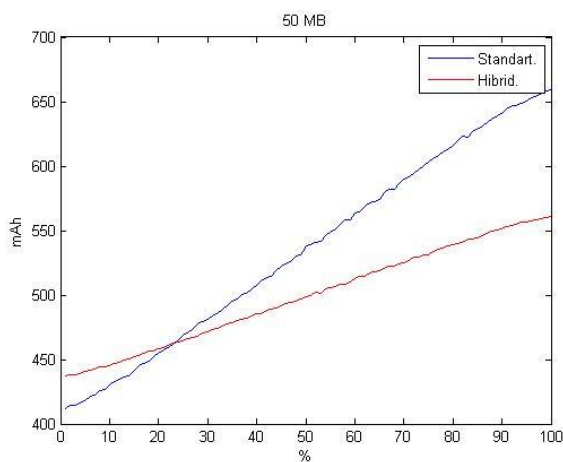
Jeigu standartinė mobilioji programa eikvoja 20 proc. mažiau „Wi-Fi“ komponento energijos, nei hibridinė ir serveryje 25 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilijame įrenginyje (3.12 pav.), tai hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiant 50 MB duomenų, ji sueikvotų mažiau energijos, jei standartinėi mobilijai programai procesoriaus apkrovimas būtų daugiau nei 45 proc. Siunčiant 25 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, jei standartinė mobilioji programa apkrauna procesorių bent 22 proc., o siunčiant mažesnius kiekius duomenų, tokia hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, nei standartinė, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.

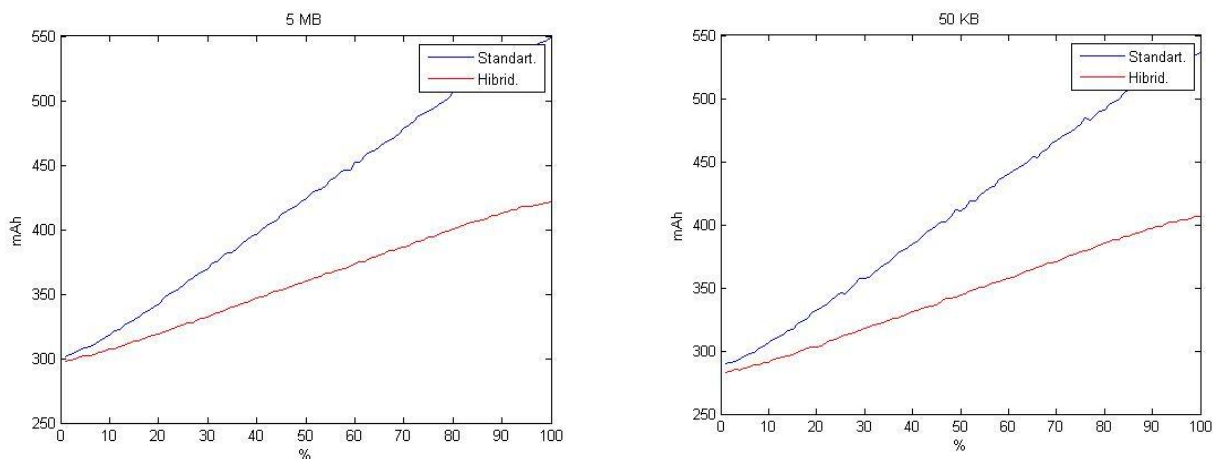




3.12 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

Standartinėje mobiliojoje programoje „Wi-Fi“ komponentui sueikvojant 20 proc. mažiau energijos, nei hibridinėje ir serveryje 50 proc. greičiau apdorojant duomenis, nei mobiliajame įrenginyje (3.13 pav.), efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine: jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 50 MB duomenų, o standartinės mobiliosios programos procesoriaus apkrovimas yra bent 25 proc., jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 25 MB duomenų, o standartinės mobiliosios programos procesoriaus apkrovimas yra bent 12 proc. Siunčiant mažesnius duomenų kiekius, hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, nei standartinė.

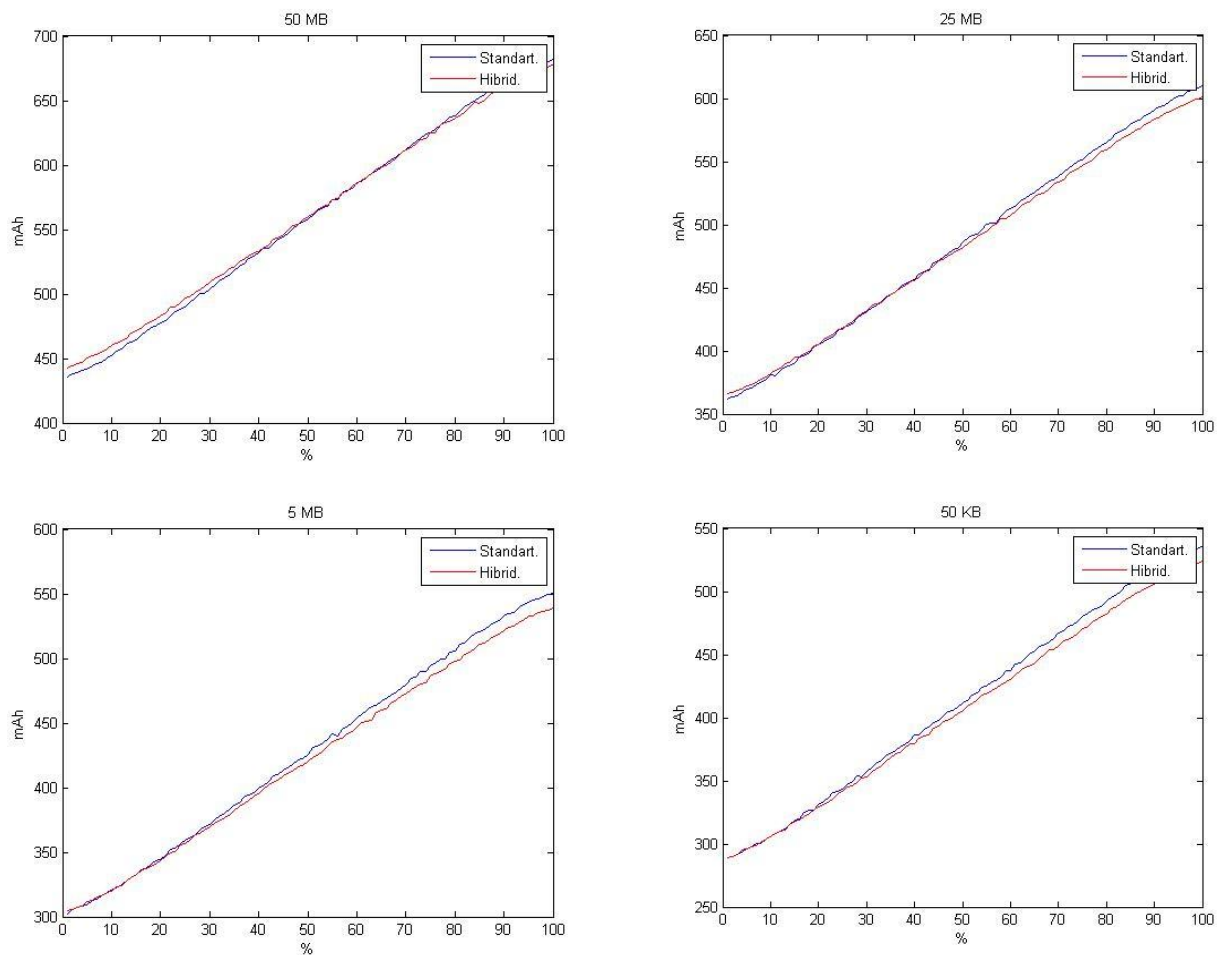




3.13 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 20 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

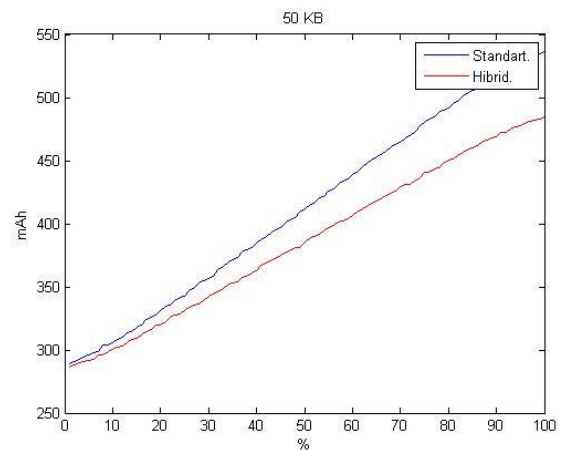
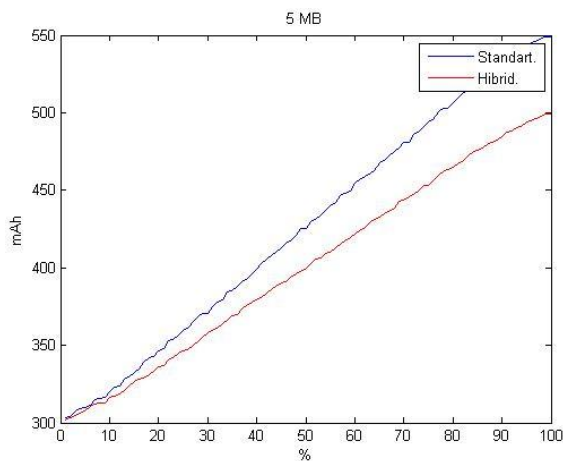
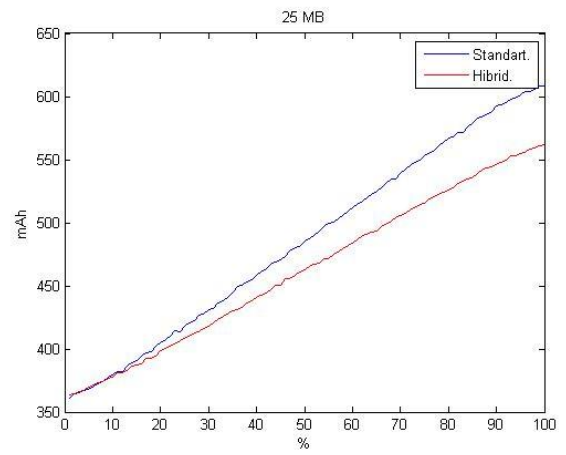
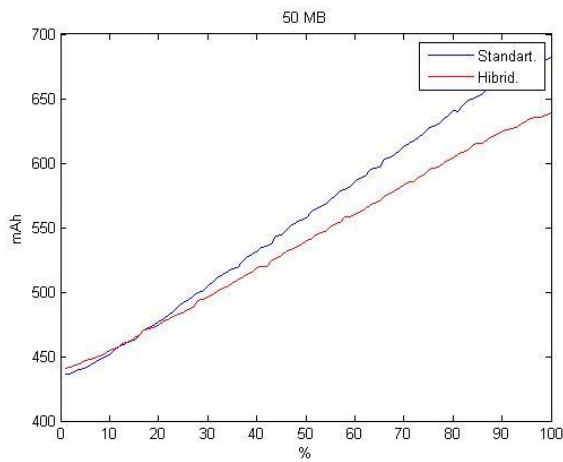
3.2.4 „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 5 proc. mažiau energijos

Jei standartinei mobilijai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 5 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilijame įrenginyje (3.14 pav.), tai energijos eikvojimas yra labai panašus tiek standartinei, tiek hibridinei mobiliosioms programoms. Jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 50 MB duomenų, tai standartinėje mobiliojoje programoje procesorius privalo būti apkrautas bent 60 proc., o jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 25 MB duomenų, tai standartinėje mobiliojoje programoje procesorius privalo būti apkrautas bent 45 proc., kad hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažiau energijos, nei standartinė. Hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiant 5 MB duomenų, standartinė mobilioji programa privalo apkrauti bent 15 proc. procesoriaus, o siunčiant 50 KB, standartinė mobilioji programa privalo apkrauti bent 10 proc. procesoriaus. Kai standartinei mobilijai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 5 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobilijame įrenginyje, tai tokiu atveju standartinės mobiliosios programos pakeitimas hibridine nėra efektyvus, nes abiejų tipų mobiliųjų programų energijos sueikvojimo pokytis nedaug skiriasi.



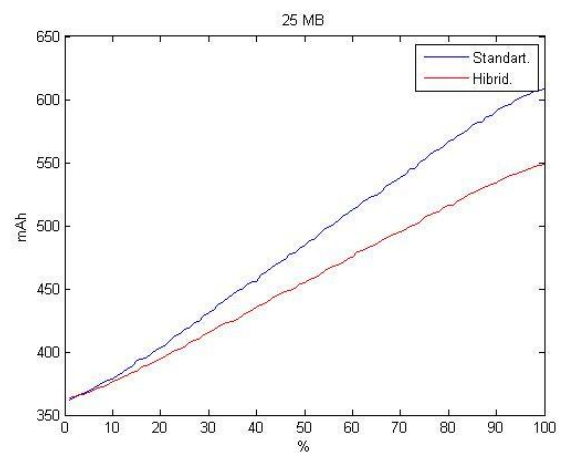
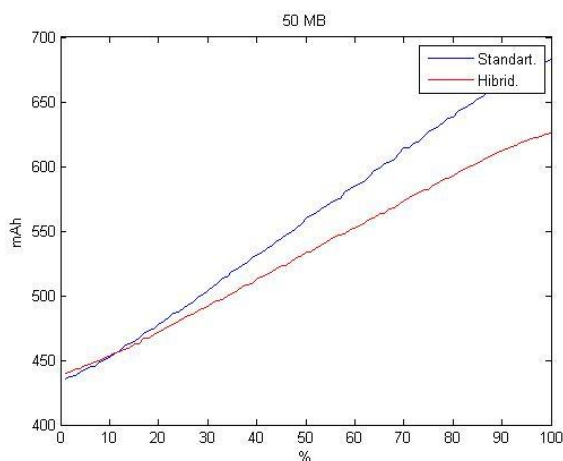
3.14 pav. Jei serverio procesorius 5 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

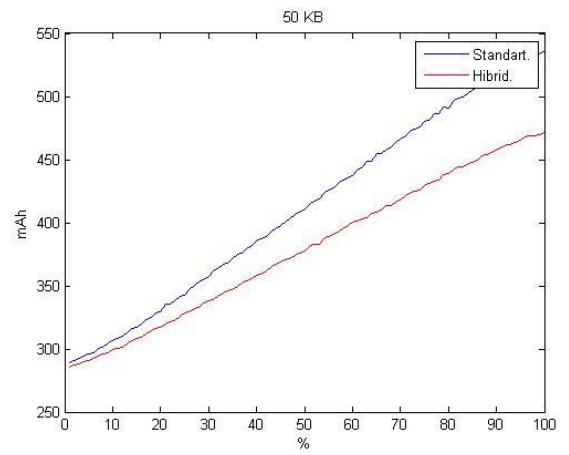
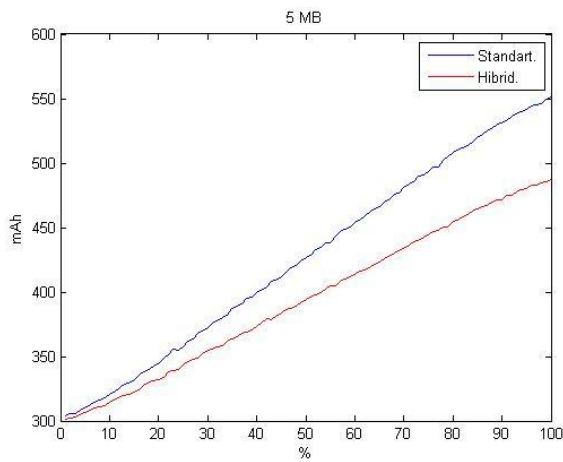
Jei standartinei mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 5 proc. mažiau energijos, nei hibridinei, o serveryje 20 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje (3.15 pav.), tai efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine, jei hibridinėje mobiliojoje programoje siunčiama 50 MB duomenų, o standartinė mobilioji programa apkrauna daugiau nei 18 proc. procesoriaus. Siunčiant 25 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažiau energijos, jei standartinei mobiliajai programai procesoriaus apkrovimas būtų didesnis nei 12 proc. Siunčiant iki 5 MB duomenų hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, nepriklausomai nuo procesoriaus apkrovimo.



3.15 pav. Jei serverio procesorius 20 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

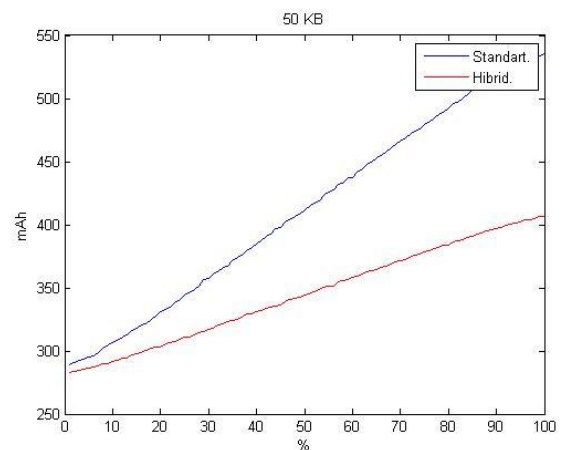
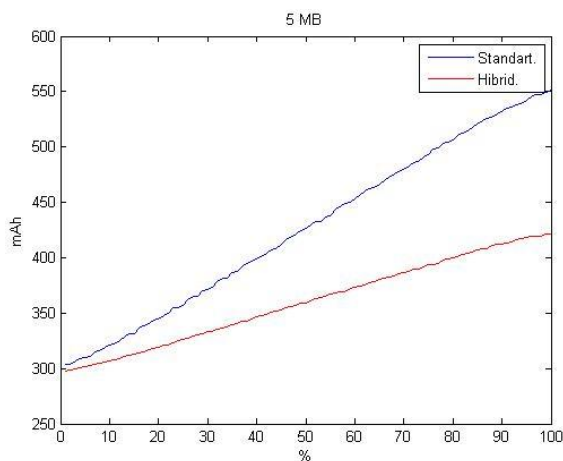
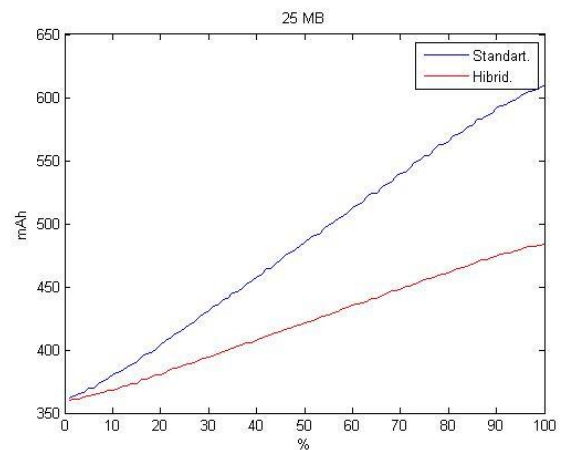
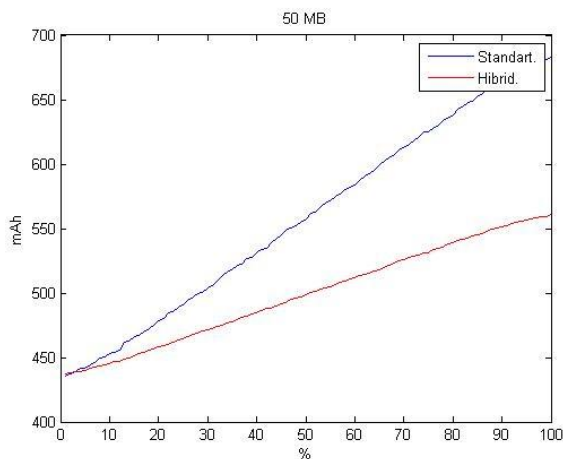
Standartinei mobiliajai programai eikvojant 5 proc. mažiau „Wi-Fi“ komponento energijos, nei hibridinei, o serveryje 25 proc. greičiau apdorojant duomenis, nei mobiliajame įrenginyje (3.16 pav.), efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine, kai siunčiama 50 MB duomenų, o standartinei mobiliajai programai procesoriaus apdorojimas yra bent 12 proc., o kai siunčiama 25 MB duomenų – 5 proc. Siunčiant mažesnio dydžio duomenis visada efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine.





3.16 pav. Jei serverio procesorius 25 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

Jei standartinėje mobiliojoje programoje „Wi-Fi“ komponentui sueikvojama 50 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje (3.17 pav.), tai visais atvejais efektyvu standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine.



3.17 pav. Jei serverio procesorius 50 proc. greitesnis, o „Wi-Fi“ 5 proc. sueikvoja mažiau energijos standartinėje mobiliojoje programoje, nei hibridinėje

Kuo greičiau serveryje apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje ir kuo mažesnis siunčiamų duomenų kiekio skirtumas tarp standartinės ir hibridinės mobiliųjų programų (3.1 lentelė), tuo mažėja minimali procesoriaus apkrovimo riba dėl efektyvaus hibridinės mobiliosios programos panaudojimo.

3.1 lentelė. Minimalus procesoriaus apkrovimas

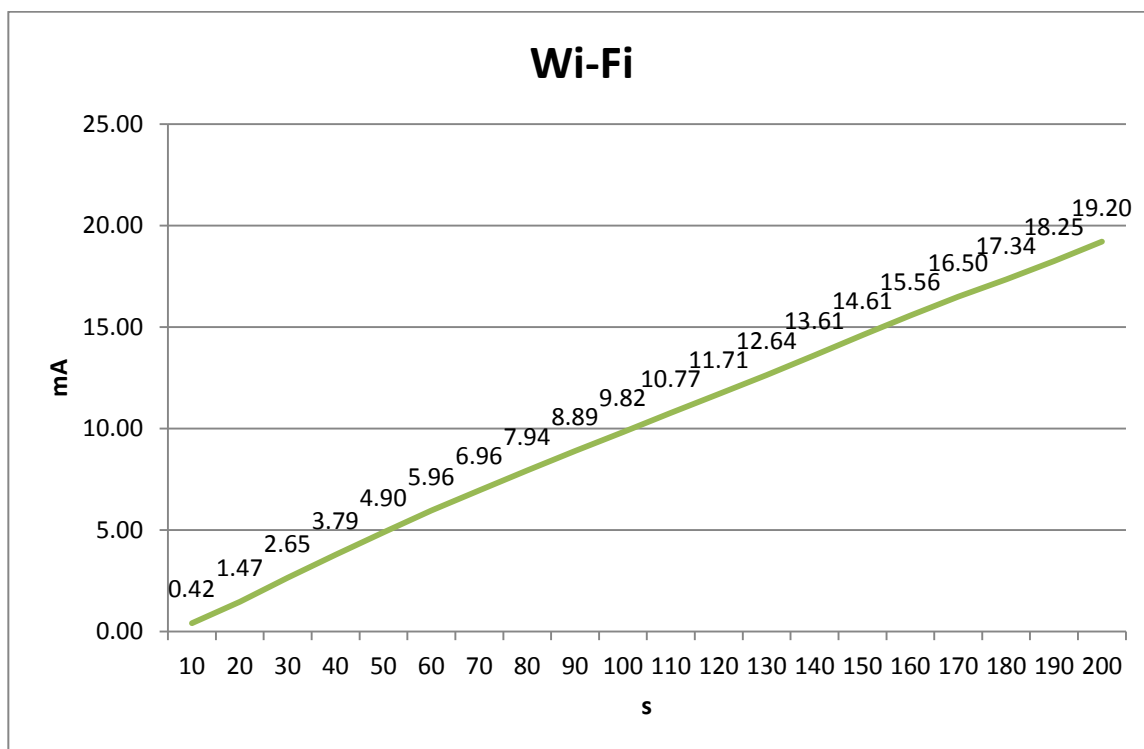
Wi-Fi	CPU		5%	20%	25%	50%
	Failo Dvdis					
50%	50 MB		–	–	–	55%
	25 MB		–	75%	60%	30%
	5 MB		70%	15%	10%	3%
	50 KB		15%	0%	0%	0%
25%	50 MB		–	70%	55%	28%
	25 MB		–	35%	30%	15%
	5 MB		55%	10%	5%	0%
	50 KB		5%	0%	0%	0%
20%	50 MB		–	55%	45%	25%
	25 MB		–	30%	22%	12%
	5 MB		25%	4%	3%	0%
	50 KB		5%	0%	0%	0%
5%	50 MB		60%	18%	12%	1%
	25 MB		45%	12%	5%	0%
	5 MB		15%	0%	0%	0%
	50 KB		10%	0%	0%	0%

Tačiau reikia atsižvelgti ne tik į ribą, nuo kurios hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos nei standartinė, bet ir į energijų skirtumą tarp jų. Pavyzdžiui, jei standartinėi mobiliajai programai „Wi-Fi“ komponentas eikvoja 50 proc. mažiau energijos, nei hibridinei ir serveryje 5 proc. greičiau apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje, o persiunčiamų duomenų kiekis – 5 MB, tai hibridinė mobilioji programa sueikvotų mažiau energijos už standartinę, kai pastaroji apkrautų procesorių bent 70 proc. Nors ties šia riba, hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos, nei standartinė, tačiau skirtumas tarp hibridinės ir standartinės mobiliųjų programų energijos eikvojamo kiekio yra nedidelis – apie 3 mAh. Todėl esant nedideliems skirtumams, svarbu įvertinti ar efektyvu keisti standartinę programą į hibridinę atsižvelgiant į kitus kriterijus, tokius kaip pakeitimo trukmė ir pan.

3.3 Realus įrenginio baterijos energijos eikvojimas

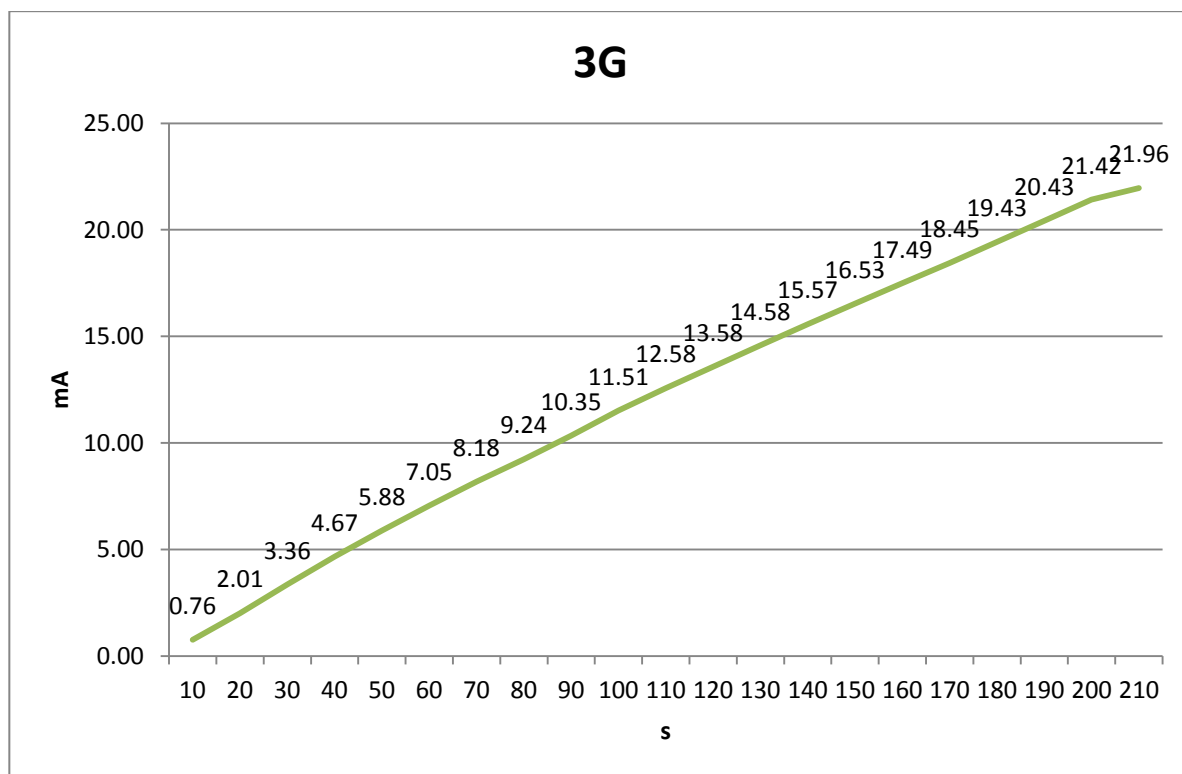
Įvertinti sumodeliuoto baterijos energijos eikvojimo modelio tikslumą buvo tiriamas realus

įrenginio baterijos energijos eikvojimas ir lyginamas gautų rezultatų tikslumas su modelyje apskaičiuotomis reikšmėmis. Baterijos energijos eikvojimo modelio įvertinimui sukurta mobilioji programa, kuri fiksuoja energijos sunaudojimą mikro ampervalandėmis (μAh). Tyrimo metu buvo siunčiamas 53,8 MB dydžio failas iš įrenginio į serverį naudojant tiek „Wi-Fi“, tiek „3G“ ryšį. Taip pat leidžiamas 53,8 MB dydžio video iš įrenginio ir iš serverio tiek „Wi-Fi“, tiek „3G“ ryšiu. Rezultatų tikslumui visi eksperimentai buvo vykdyti po penkis kartus. Tyrimas vykdytas su „Samsung Note 4“ mobiliuoju įrenginiu.



3.18 pav. Energijos eikvojimas siunčiant duomenis „Wi-Fi“ ryšiu

Siunčiant 53,8 MB dydžio failą į serverį „Wi-Fi“ ryšiu (3.18 pav.) sueikvojama apie 19,20 mA energijos. Procesoriaus apkrovimas vidutiniškai yra apie 24 proc. Duomenų siuntimas užtrunka 200 s.



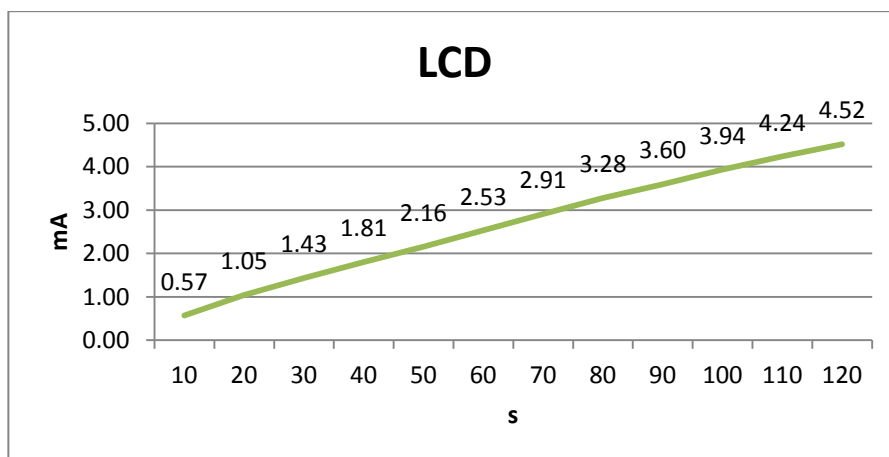
3.19 pav. Energijos eikvojimas siunčiant duomenis „3G“ ryšiu

Kai 53,8 MB dydžio failas siunčiamas į serverį „3G“ ryšiu (3.19 pav.), tai sueikvojama apie 21,96 mA energijos. Procesorius apkraunamas apie 21 proc., o duomenų siuntimas vyksta ilgiau nei naudojant „Wi-Fi“ – 210 s.

3.2 lentelė. Bevielio ryšio komponento energijos eikvojimas

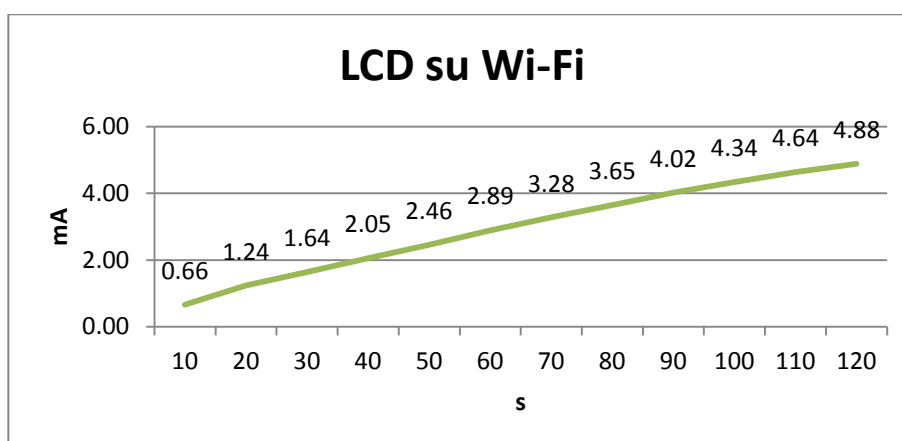
	CPU (proc.)	mA
„Wi-Fi“	24	19,20
„3G“	21	21,96

„Wi-Fi“ ryšiu duomenys yra siunčiami greičiau, nei „3G“ ryšiu. Siunčiant duomenis „Wi-Fi“ ryšiu yra eikvojama apie 19,20 mA energijos, o „3G“ ryšiu – apie 21,96 mA. Nors siunčiant duomenis „Wi-Fi“ ryšiu mobiliojo įrenginio procesoriaus apkrovimas 3 proc. didesnis, nei „3G“, tačiau „3G“ ryšys eikvoja 2,76 mA daugiau energijos nei „Wi-Fi“.



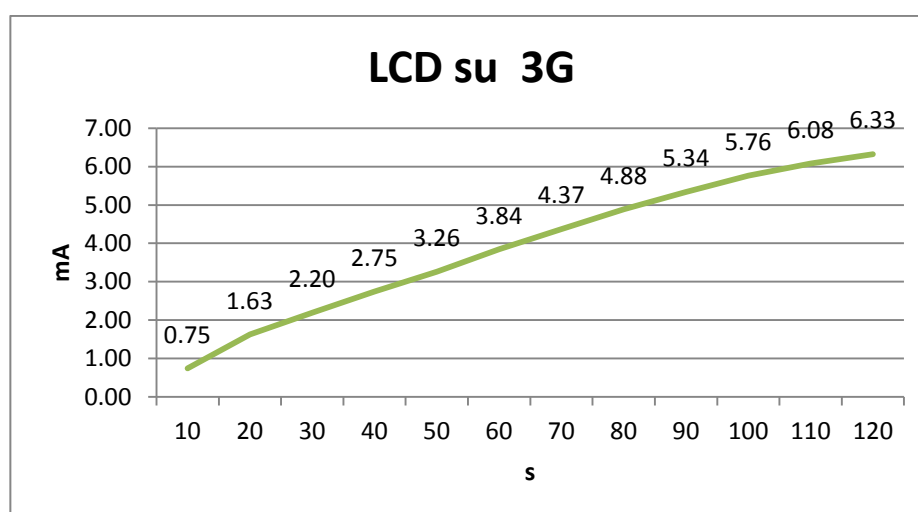
3.20 pav. Energijos eikvojimas leidžiant video

Kai mobiliojoje programoje leidžiamas video, esantis mobiliajame įrenginyje (3.20 pav.), sueikvojama apie 4,52 mA energijos. Procesoriaus apkrovimas vidutiniškai yra apie 10 proc.



3.21 pav. Energijos eikvojimas leidžiant video „Wi-Fi“ ryšiu

Mobiliojoje programoje leidžiant tą patį video, tačiau iš serverio „Wi-Fi“ ryšiu (3.21 pav.) yra sueikvojama apie 4,88 mA energijos. Procesoriaus apkrovimas vidutiniškai yra apie 16 proc.



3.22 pav. Energijos eikvojimas leidžiant video „3G“ ryšiu

Mobiliojoje programoje leidžiant video iš serverio „3G“ ryšiu (3.22 pav.) yra sueikvojama apie

6,33 mA energijos. Procesoriaus apkrovimas vidutiniškai yra apie 18 proc.

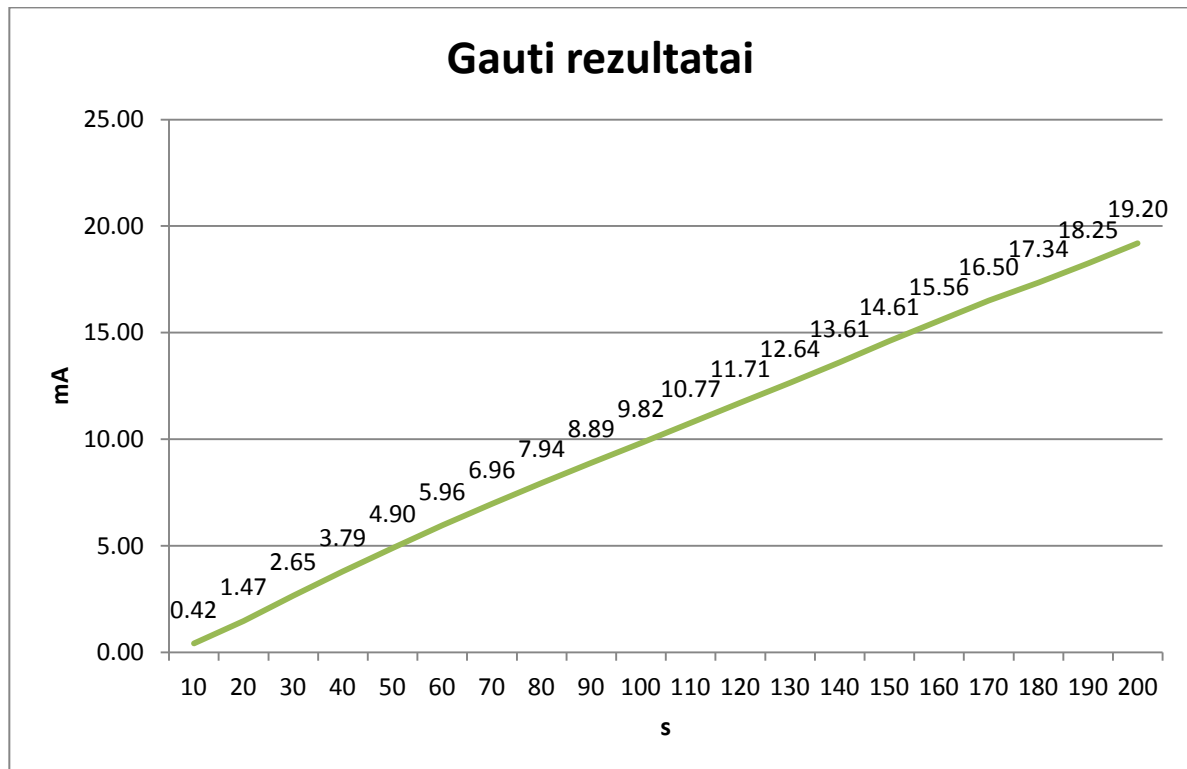
3.3 lentelė. Ekranų komponento energijos eikvojimas leidžiant video

	CPU (proc.)	mA
Iš įrenginio	10	4,52
„Wi-Fi“	16	4,88
„3G“	18	6,33

Kai video yra leidžiamas iš serverio, procesoriaus apkrovimas yra 6–8 proc. didesnis, nei leidžiant video, esantį mobiliajame įrenginyje. Leidžiant video iš serverio „Wi-Fi“ ryšiu yra eikvojama 0,36 mA daugiau energijos, nei leidžiant jį iš mobiliojo įrenginio, o leidžiant video iš serverio „3G“ ryšiu yra sueikvojamas 1,02 mA didesnis energijos kiekis, nei „Wi-Fi“ ryšiu (3.3 lentelė). Taigi, daugiausia energijos sueikvojama, kai video leidžiamas iš serverio naudojant „3G“ ryšį.

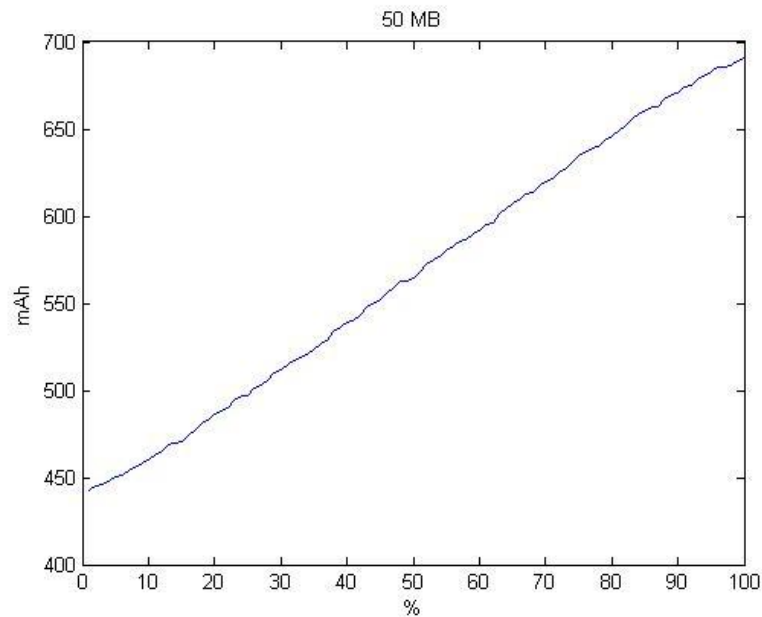
3.4 Rezultatų palyginimas

Palyginti realaus įrenginio baterijos energijos eikvojimo rezultatai (3.23 pav.) su baterijos energijos eikvojimo modelyje gautais rezultatais (3.24 pav.), kai mobilioji programa naudoja ekraną, procesorių ir „Wi-Fi“ komponentus.



3.23 pav. Realus įrenginio baterijos energijos eikvojimo rezultatai

Kai mobilioji programa veikia 200 s, apkrauna procesorių apie 24 proc. ir siunčia apie 50 MB dydžio failą, tai sueikvoja 19,20 mA baterijos energijos (3.23 pav.).



3.24 pav. Baterijos energijos eikvojimo modelis

Baterijos energijos eikvojimo modelyje galima matyti, kad kai mobilioji programa apkrauna procesorių apie 24 proc. ir siunčia apie 50 MB dydžio failą, tai sueikvoja 480 mAh baterijos energijos (3.24 pav.). Vadinasi, tokia mobilioji programa per 200 s sueikvoja apie 26,67 mA.

Tokiomis pačiomis sąlygomis, per tą patį laiko intervalą baterijos energijos eikvojimo modelyje mobilioji programa sueikvoja apie 26,67 mA baterijos energijos, o su „Samsung Note 4“ mobiliuoju įrenginiu, baterijos energijos eikvojimo rezultatuose galima matyti, kad sueikvojama apie 19,20 mA. Baterijos energijos eikvojimo modelis nuo baterijos energijos eikvojimo „Samsung Note 4“ mobiliajame įrenginyje skiriasi 7,47 mA. Taigi, lyginant modelio baterijos energijos eikvojimą su baterijos energijos eikvojimu „Samsung Note 4“ mobiliajame įrenginyje, rezultatai sutampa 72 proc. Taip yra todėl, kad baterijos energijos eikvojimo modelyje vertinama jog procesorius visą mobiliosios programos aktyvumo laiką veikia maksimaliu dažniu, o realybėje procesoriaus dažnis kinta ir ne visada siekia maksimumą. Kuo didesniu dažniu veikia procesorius, tuo daugiau energijos eikvojama kiekvienam laiko momentui, todėl baterijos energijos eikvojimo modelyje įvertinus dažnio kitimą, gauti rezultatai būtų panašesni.

IŠVADOS

1. Bendrajame komponentų energijos eikvojimo modelyje galima matyti, kad kai „Wi-Fi“ belaidžio ryšio komponentas siūnčia nedidelius duomenų kiekius, baterijos energijos eikvojimas padidėja nežymiai – siunčiant 5 MB duomenų energijos sunaudojimas yra apie 20 mAh didesnis, nei siunčiant 50 KB duomenų, nors šiuo atveju siunčiamų duomenų kiekis padidėja apie 100 kartų. Siunčiant didesnius duomenų kiekius energijos eikvojimo padidėjimas darosi labiau akivaizdus – 50 MB duomenų siuntimui sueikvojama 70 mAh daugiau energijos, nei siunčiant 25 MB duomenų, nors siunčiamų duomenų kiekis skiriasi 2 kartus, taigi kuo didesni duomenų kiekiai, tuo efektyviau standartinę mobiliąją programą pakeisti hibridine.

2. Kuo greičiau serveryje apdorojami duomenys, nei mobiliajame įrenginyje ir kuo mažesnis siunčiamų duomenų kiekio skirtumas tarp standartinės ir hibridinės mobiliųjų programų, tuo mažėja minimali procesoriaus apkrovimo riba dėl efektyvaus hibridinės mobiliosios programos panaudojimo. Tačiau reikia atsižvelgti ne tik į ribą, nuo kurios hibridinė mobilioji programa sueikvoja mažiau energijos nei standartinė, bet ir į energijų skirtumą tarp jų, nes esant nedideliems energijų skirtumams gali būti neefektyvu keisti standartinę programą į hibridinę atsižvelgiant į kitus kriterijus.

3. Baterijos energijos eikvojimas, lyginant modelio rezultatus su mobiliojo įrenginio rezultatais, sutampa 72 proc, nes baterijos energijos eikvojimo modelyje vertinama jog procesorius visą mobiliosios programos aktyvumo laiką veikia maksimaliu dažniu, o realybėje procesoriaus dažnis kinta ir ne visada siekia maksimumą. Kuo didesniu dažniu veikia procesorius, tuo daugiau energijos eikvojama kiekvienam laiko momentui, todėl baterijos energijos eikvojimo modelyje įvertinus dažnio kitimą, gauti rezultatai būtų panašesni.

NAUDOTA LITERATŪRA

1. *Beyond the client-server architectures: A survey of mobile cloud techniques.* **Kovachev D., Klamma R.** Beijing : IEEE, 2012. 978-1-4673-2996-8.
2. *CloneCloud: Elastic Execution between Mobile Device and Cloud.* **Chun B.G., Ihm S., Maniatis P., Naik M., Patti A.** Salzburg : ASSOC COMPUTING MACHINERY, 1515 BROADWAY, NEW YORK, NY 10036-9998 USA, 2011. 978-1-4503-0634-8.
3. *The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing.* **Satyanarayanan M., Bahl P., Caceres R., Davies N.** 4, s.l. : IEEE, 2009 m., T. 8. 1536-1268.
4. *Calling the Cloud: Enabling Mobile Phones as Interfaces to Cloud Applications.* **Giurgiu I., Riva O., Julic D., Krivulev I., Alonso G.** Urbana : SPRINGER-VERLAG BERLIN, HEIDELBERGER PLATZ 3, D-14197 BERLIN, GERMANY, 2009. 978-3-642-10444-2.
5. *MAUI: Making Smartphones Last Longer with Code Offload.* **Cuervo E., Balasubramanian A., Cho D., Wolman A., Saroiu S., Chandra R., Bahl P.** San Francisco : MobiSys, 2010. 978-1-60558-985-5.
6. *Mobile Application and Device Power Usage Measurements.* **Murmuria R., Medsger J., Stavrou A., Voas J. M.** Gaithersburg : IEEE, 2012. 978-1-4673-2067-2.
7. *Accurate CPU Power Modeling for Multicore Smartphones.* **Zhang Y., Liu Y., Zhuang L., Liu X., Zhao F., Li Q.** s.l. : Microsoft Research, 2015. MSR-TR-2015-9.
8. Advanced Configuration and Power Interface Specification. *ACPI Specification.* [Tinkle] 2013 m. 11 13 d. [Cituota: 2015 m. 5 20 d.] http://acpi.info/DOWNLOADS/ACPI_5_Errata%20A.pdf.
9. *Energy Efficiency on Location Based Applications in Mobile Cloud Computing: A Survey.* **Ma X., Cui Y., Stojmenovic I.** Niagara Falls : ELSEVIER SCIENCE BV, SARA BURGERHARTSTRAAT 25, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, 2012 m., T. 10. 1877-0509.
10. *Energy efficiency of mobile clients in cloud computing.* **Miettinen A. P., Nurminen J. K.** CA : USENIX Association Berkeley, 2010.
11. *To Cloud or Not to Cloud: A Mobile Device Perspective on Energy Consumption of Applications.* **Namboodiri V., Ghose T.** San Francisco : IEEE, 2012. 978-1-4673-1237-0.
12. *A perspective approach on Energy efficiency and Cloud Faster of mobile in cloud computing.* **Devi V., Kumar V., Poojary M., Nagalakshmi V., Challa N.** s.l. : International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture, 2012 m.