

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра _____ програмної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)

_____ Дослідження методів прискорення роботи процесорів та їх вплив
на продуктивність та енергоефективність _____
(тема)

Виконав:

здобувач _____ 2 _____ року навчання
групи _____ ІПЗм-23-3

_____ Вадим Омельченко

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність _____ 121 – Інженерія програмного
забезпечення _____

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____

освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Інженерія програмного забезпечення

(повна назва освітньої програми)

Керівни
к _____

проф. Кирило СМЕЛЯКОВ

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____

_____ Кирило СМЕЛЯКОВ

(підпис)

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерних наук _____
 Кафедра _____ програмної інженерії _____
 Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
 Спеціальність _____ 121 – Інженерія програмного забезпечення _____
 (код і повна назва)
 Тип програми _____ освітньо-наукова програма _____
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)
 Освітня програма _____ Інженерія програмного забезпечення _____
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Омельченко Вадим Едуардович _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження методів прискорення роботи процесорів та їх вплив на продуктивність та енергоефективність»

затверджена наказом університету від 15 квітня 2025 р. № 290Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 23 червня 2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи Програма по обчисленню продуктивності процесору, який пришивидишили

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі Що таке розгон? Чи всі комп'ютери можна пришивидшувати? Які методи пришивидшення компонентів? Чи різні види архітектур процесорів мають однаковий алгоритм розгону?

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	16.04.2025	<i>виконано</i>
2	Аналіз предметної галузі і постановка задачі	17.04.2025	<i>виконано</i>
3	Огляд існуючих моделей	19.04.2025	<i>виконано</i>
4	Теоретичне дослідження	28.04.2025	<i>виконано</i>
5	Підготовка до апробації результатів дослідження. Публікація матеріалів	01.05.2025	<i>виконано</i>
6	Практичне дослідження	08.05.2025	<i>виконано</i>
7	Підготовка пояснювальної записки	20.05.2025	<i>виконано</i>
8	Підготовка презентації та доповіді	25.05.2025	<i>виконано</i>
9	Перевірка на плагіат	18.06.2025	<i>виконано</i>
10	Нормоконтроль	21.06.2025	<i>виконано</i>
11	Рецензування	21.06.2025	<i>виконано</i>
12	Попередній захист	23.06.2025	<i>виконано</i>
13	Занесення диплома в електронний архів	23.06.2025	<i>виконано</i>
14	Допуск до захисту у зав. кафедри	23.06.2025	<i>виконано</i>

Дата видачі завдання 16 квітня 2025р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ **проф.Кирило СМЕЛЯКОВ**
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка містить: 69 с., 71 рис., 0 табл., 10 джерел.

РОЗГІН, ВОЛЬТАЖ, ЧАСТОТИ, ОВЕРКЛОКІНГ, БІННІНГ, СИЛІКОНОВА ЛОТЕРЕЯ, БІОС, ОПЕРАТИВНА ПАМ'ЯТЬ, ТЕСТУВАННЯ.

Об'єктом дослідження є сучасні процесори, методи їх розгону, а також вплив прискорення на продуктивність і енергоефективність. Метою роботи є аналіз впливу методів розгону процесорів на їх продуктивність і стабільність роботи, а також дослідження найефективніших підходів до підвищення частоти та оптимізації параметрів живлення. Методами розробки є емпіричні дослідження, побудова математичних моделей, тестування за допомогою спеціалізованих бенчмарків, а також використання розроблених скриптів для оцінки стабільності розгону. У результаті роботи було проведено порівняння різних процесорів, виявлено вплив зміни напруги живлення та частоти ядра на енергоефективність, створено графіки залежності продуктивності від частоти та вольтажу, а також розроблено рекомендації для досягнення оптимального співвідношення стабільності та продуктивності.

OVERCLOCKING, VOLTAGE, FREQUENCY, BINNING, SILICON LOTTERY, BIOS, RAM, TESTING.

The object of research is modern processors, overclocking methods, and the impact of acceleration on performance and energy efficiency. The purpose of the work is to analyze the impact of processor overclocking methods on their performance and stability, as well as to study the most efficient approaches to increasing clock speed and optimizing power parameters. The development methods include empirical research, mathematical modeling, testing

using specialized benchmarks, and utilizing custom scripts for evaluating overclocking stability.

As a result of the work, various processors were compared, the impact of changing core voltage and frequency on energy efficiency was identified, dependency graphs of performance on frequency and voltage were created, and recommendations were developed for achieving an optimal balance between stability and performance.

ЗАЯВА

щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи та можливості її публікації (та/або публікації анотації кваліфікаційної роботи) в електронному архіві відкритого доступу EIAr KhNURE

Я, Омельченко Вадим Едуардович

(прізвище, ім'я, по батькові)

здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні вищої освіти академічної групи ІІЗМ-23-3

кафедра програмної інженерії,

(повна назва кафедри)

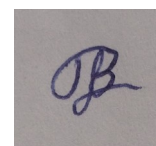
заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему Дослідження методів прискорення роботи процесорів та їх вплив на продуктивність та енергоефективність,

(назва роботи)

що буде представлена в екзаменаційну комісію для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в репозиторії "EIArKhNURE". Погоджуюся з авторським договором, відповідно до Положення про репозиторій ХНУРЕ "EIArKhNURE". Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Я ознайомлений (а) з вимогами академічної доброчесності, згідно з якими виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

Дата 23.06.25

Підпис



ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз предметної галузі і постановка задачі.....	9
1.1 Актуальність і обґрунтування дослідження.....	9
1.2 Постановка задачі.....	9
1.3 Вибір експериментальних методів.....	10
2 Огляд й аналіз літературних, наукових джерел.....	11
2.1 Методи прискорення роботи процесорів.....	11
2.2 Вплив методів прискорення на продуктивність і енергоефективність.....	11
3 Постановка задачі.....	13
3.1 Пункти розробки.....	13
4 Теоретичне дослідження.....	14
4.1 Аналіз методів прискорення процесорів.....	14
4.2 Порівняння методів на прикладі експериментальних даних.....	14
4.3 Результати теоретичних досліджень.....	22
5 опис експериментальних досліджень.....	23
5.1 Підготовка до проведення досліджень.....	23
5.2 Проведення експериментів з відеокартами у Heaven Benchmark 4.....	23
5.3 Проведення експериментів з відеокартами у GeekBench6 OpenCL.....	34
5.4 Проведення експериментів з відеокартами у GeekBench6 Vulkan.....	52
5.5 Проведення експериментів з процесорами у GeekBench6.....	62
Висновки.....	66
Перелік джерел посилання.....	67
Перелік джерел посилання за науковими напрямками керівника та науковців кафедри програмної інженерії.....	69

ВСТУП

Сучасні тенденції у галузі комп'ютерних технологій вимагають постійного підвищення продуктивності та енергоефективності комп'ютерних систем. Зокрема, особлива увага приділяється оптимізації роботи центральних процесорів, які є ключовими компонентами будь-якої обчислювальної системи. В умовах зростаючих обчислювальних навантажень і потреби у зниженні енергоспоживання дослідження методів прискорення роботи процесорів набуває все більшої актуальності. Різноманітні підходи, такі як розгін, адаптивне управління живленням та оптимізація архітектури процесора, дозволяють досягти значних результатів у підвищенні ефективності. Вивчення цих методів та їхнього впливу на продуктивність і енергоефективність дає змогу краще зрозуміти, як створювати високопродуктивні й економічні системи.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Актуальність і обґрунтування дослідження

Сучасні процесори є складними технологічними пристроями, розробленими для обробки великих обсягів даних із максимальною швидкістю та ефективністю. В умовах, коли зростає потреба у високопродуктивних системах для таких областей, як штучний інтелект, обробка великих даних і високопродуктивні обчислення, оптимізація роботи процесорів набуває стратегічного значення.

Методи прискорення процесорів, такі як розгін, оптимізація управління енергоспоживанням [1], покращення архітектурних рішень, дозволяють значно підвищити їх продуктивність. Водночас важливо враховувати енергетичну ефективність, оскільки зростання споживання енергії призводить до збільшення тепловиділення і зменшення довговічності пристроїв.

Актуальність дослідження полягає у визначенні оптимальних підходів до прискорення роботи процесорів, які забезпечують баланс між продуктивністю та енергоспоживанням.

1.2 Постановка задачі

На основі аналізу проблемної області сформулюємо основні задачі для проведення дослідження:

Визначити основні методи прискорення роботи процесорів (розгін, управління частотою та напругою, оптимізація архітектури); розробити критерії оцінки впливу різних методів на продуктивність і енергоефективність;

Провести експериментальні дослідження обраних методів на тестових зразках процесорів;
створити модель порівняння ефективності методів на основі зібраних даних;

Розробити рекомендації щодо практичного застосування методів прискорення в залежності від типу завдань.

1.3 Вибір експериментальних методів

Для проведення експерименту обрано такі методи:

Розгін процесорів шляхом підвищення множника або базової частоти;
оцінка впливу на енергоспоживання за допомогою спеціалізованих інструментів моніторингу (наприклад, HWMonitor або AIDA64);

Тестування стабільності роботи при збільшеній частоті за допомогою програм Prime95, Cinebench тощо;

Порівняння результатів із використанням контрольних тестів продуктивності (PassMark, SPEC CPU).

2 ОГЛЯД Й АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ, НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ

2.1 Методи прискорення роботи процесорів

Методи прискорення роботи процесорів широко висвітлюються у наукових і технічних джерелах [2]. Основними з них є: Розгін процесорів. Цей метод передбачає збільшення робочої частоти центрального процесора шляхом підвищення множника або базової частоти (BCLK). Його основними перевагами є швидке зростання продуктивності без значних витрат, проте він вимагає ретельного налаштування параметрів живлення та охолодження для забезпечення стабільності роботи. Оптимізація енергоспоживання. Включає зменшення напруги (undervolting) і управління частотами в залежності від навантаження. Це сприяє зниженню тепловиділення і підвищенню енергоефективності. Використання спеціалізованих алгоритмів і архітектурних рішень. Наприклад, технології багатоядерності та багатопоточності дозволяють збільшити обчислювальну потужність процесорів, розподіляючи завдання між ядрами. Крім того, у багатьох джерелах [3] розглядається вплив використання спеціалізованих програмних рішень для моніторингу та налаштування процесорів. Наприклад, програми MSI Afterburner, Intel Extreme Tuning Utility (XTU), Ryzen Master тощо.

2.2 Вплив методів прискорення на продуктивність і енергоефективність

Під час аналізу наукових статей та технічної документації було встановлено, що методи прискорення мають різний вплив на продуктивність і енергоефективність:

Розгін процесорів значно збільшує швидкодію, особливо у завданнях, де використовується однаковий набір інструкцій, таких як рендеринг чи ігри. Однак,

підвищення частоти роботи процесора може значно збільшувати енергоспоживання, що вимагає покращених систем охолодження.

Оптимізація напруги дозволяє знизити тепловиділення при збереженні стабільності роботи. Дослідження показали, що undervolting забезпечує до 20% економії енергії без суттєвого зниження продуктивності.

Багатоядерні процесори демонструють значну ефективність при багатозадачності, проте вимагають оптимізації програмного забезпечення для ефективного розподілу навантаження між ядрами.

Зібрані дані підтверджують важливість правильного вибору методу [4] залежно від поставлених цілей: максимальної продуктивності чи мінімального енергоспоживання.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

3.1 Пункти розробки

Для дослідження методів прискорення роботи процесорів та їх впливу на продуктивність і енергоефективність сформульовано наступні задачі:

Провести аналіз та обрати основні методи прискорення, які включають розгін процесорів, оптимізацію енергоспоживання, використання багатоядерності та інші підходи.

Розробити програму для автоматизованого тестування процесорів, яка забезпечить:

- перевірку початкових характеристик процесорів (частота, температура, напруга тощо);
- підтримку виконання сценаріїв розгону; збирання даних для оцінки продуктивності за допомогою бенчмарків;
- оцінку стабільності роботи через стрес-тести.

Провести експериментальні дослідження, використовуючи розроблену програму, для оцінки приросту продуктивності в задачах різного типу (ігрових, обчислювальних, графічних); змін енергоефективності при застосуванні різних методів оптимізації.

Розробити графіки, які відобразатимуть співвідношення між продуктивністю та енергоефективністю для різних режимів роботи процесорів.

На основі отриманих результатів сформулювати рекомендації щодо вибору оптимального процесора та способу його налаштування для різних сценаріїв використання.

Реалізація цих задач дозволить оцінити доцільність застосування тих чи інших методів прискорення в реальних умовах, а також знайти баланс між продуктивністю та енергоспоживанням.

4 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Аналіз методів прискорення процесорів

Кожен метод прискорення роботи процесорів має свої особливості, які впливають на ефективність, стабільність та енергоефективність системи в цілому. Основними методами прискорення є:

Розгін (оверклокінг): збільшення частоти процесора понад заводські налаштування. Це дозволяє підвищити продуктивність, але може спричинити зростання температури і зменшення терміну служби процесора.

Оптимізація напруги [5] (Undervolting): зниження робочої напруги для зменшення тепловиділення та енергоспоживання.

Багатоядерна оптимізація: використання всіх ядер процесора для виконання завдань, що дозволяє ефективніше розподіляти навантаження.

Профільювання та адаптивне налаштування: налаштування роботи процесора залежно від типу задачі, наприклад, зменшення енергоспоживання для простих задач або максимальна продуктивність для інтенсивних.

Кожен із цих методів може використовуватися окремо або в комбінації для досягнення найкращого балансу між продуктивністю та енергоспоживанням.

4.2 Порівняння методів на прикладі експериментальних даних

Розглянемо експериментальні дані, отримані для процесора AMD Ryzen 7 4800H при використанні різних методів прискорення на рисунку 4.1 та 4.2, які були виконано самостійно, як і всі інші рисунки окрім тих, що взяті із джерел.

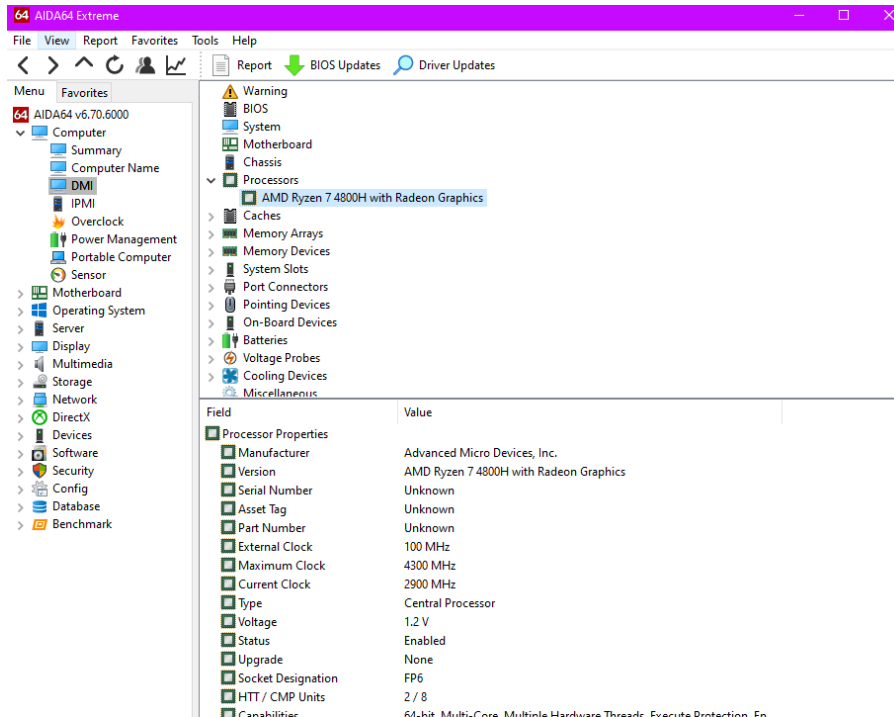


Рисунок 4.1 — Дані про процесор у AIDA64

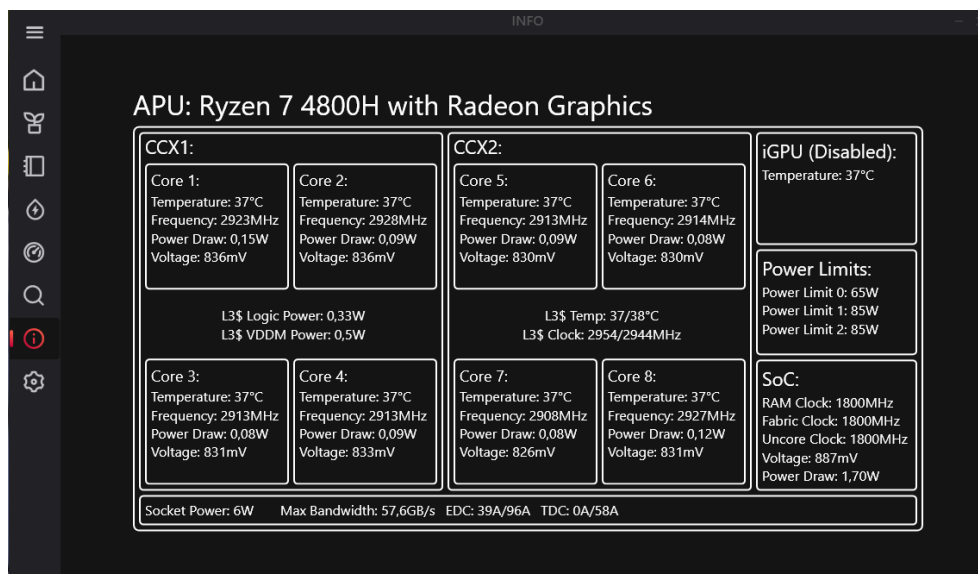


Рисунок 4.2 — Дані про вольтаж, енергоспоживання та частоти

Для порівняння використано три сценарії: стандартні заводські налаштування, розгін із збільшенням напруги, а також оптимізація з використанням Undervolting. Для цього застосуємо мій застосунок.

```

C:\Users\vedios\Desktop\net7.0\OpenTKTest.exe
Starting Benchmark Tests...
Running Single-Core Test...
Single-Core Test Score: 152108200,65
Running Multi-Core Test...
Run 1/20 - Score: 1222260791,34
Run 2/20 - Score: 1508180749,43
Run 3/20 - Score: 1573868742,49
Run 4/20 - Score: 1867772886,29
Run 5/20 - Score: 1900019095,19
Run 6/20 - Score: 1897148017,39
Run 7/20 - Score: 1884747679,4
Run 8/20 - Score: 1751747587,19
Run 9/20 - Score: 1896646065,93
Run 10/20 - Score: 1904424549,56
Run 11/20 - Score: 1890786292,93
Run 12/20 - Score: 1896710818,93
Run 13/20 - Score: 1895238781,13
Run 14/20 - Score: 1880361969,68
Run 15/20 - Score: 1899102579,08
Run 16/20 - Score: 1829995269,46
Run 17/20 - Score: 1896822348,36
Run 18/20 - Score: 1687349351,34
Run 19/20 - Score: 1896649663,2
Run 20/20 - Score: 1887551034,66
Highest Multi-Core Score: 1904424549,56
Multi-Core Test Score: 1904424549,56
Multi-Core Ratio: 12,520196422164434
Benchmark Tests Complete.

```

Рисунок 4.3 – Вплив різних методів прискорення на продуктивність і енергоспоживання. Частота 2.9ГГц

```

C:\Users\vedios\Desktop\net7.0\OpenTKTest.exe
Starting Benchmark Tests...
Running Single-Core Test...
Single-Core Test Score: 225091868,43
Running Multi-Core Test...
Run 1/20 - Score: 1896572324,84
Run 2/20 - Score: 2093475787,38
Run 3/20 - Score: 1908007334,38
Run 4/20 - Score: 2697551836,83
Run 5/20 - Score: 2680113690,42
Run 6/20 - Score: 2683238346,7
Run 7/20 - Score: 2685648832,62
Run 8/20 - Score: 2675001972,81
Run 9/20 - Score: 2424262993,75
Run 10/20 - Score: 2703630705,67
Run 11/20 - Score: 2680975928,86
Run 12/20 - Score: 2709043328,44
Run 13/20 - Score: 2596684293,83
Run 14/20 - Score: 2681684097,61
Run 15/20 - Score: 2704482544,59
Run 16/20 - Score: 2702019894,97
Run 17/20 - Score: 2699587233,11
Run 18/20 - Score: 2645954137,68
Run 19/20 - Score: 2679176635,44
Run 20/20 - Score: 2702940123,12
Highest Multi-Core Score: 2709043328,44
Multi-Core Test Score: 2709043328,44
Multi-Core Ratio: 12,035278516880185
Benchmark Tests Complete.

```

Рисунок 4.4 – Вплив різних методів прискорення на продуктивність і енергоспоживання. Частота 4.1ГГц

```

C:\Users\vedios\Desktop\net7.0\OpenTKTest.exe
Starting Benchmark Tests...
Running Single-Core Test...
Single-Core Test Score: 225152126,85
Running Multi-Core Test...
Run 1/20 - Score: 1817438320,69
Run 2/20 - Score: 2143448122,13
Run 3/20 - Score: 2108350226,49
Run 4/20 - Score: 2097328632,52
Run 5/20 - Score: 2693606321,36
Run 6/20 - Score: 2505970474,66
Run 7/20 - Score: 2695490444,49
Run 8/20 - Score: 2735970626,62
Run 9/20 - Score: 2724762230,44
Run 10/20 - Score: 2705715553,54
Run 11/20 - Score: 2747460316,37
Run 12/20 - Score: 2751387387,09
Run 13/20 - Score: 2741006415,33
Run 14/20 - Score: 2695316079,72
Run 15/20 - Score: 2727898904,07
Run 16/20 - Score: 2736625767,79
Run 17/20 - Score: 2722488572,35
Run 18/20 - Score: 2734653806,5
Run 19/20 - Score: 2568000657,41
Run 20/20 - Score: 2689914702,8
Highest Multi-Core Score: 2751387387,09
Multi-Core Test Score: 2751387387,09
Multi-Core Ratio: 12,22012612353877
Benchmark Tests Complete.

```

Рисунок 4.5 – Вплив різних методів прискорення на продуктивність і енергоспоживання. Частота 4.2ГГц

З рисунків видно, що розгін процесора забезпечує максимальну продуктивність [6], 48% пришвидшення у порівнянні результатів №1 та №2 але призводить до значного зростання енергоспоживання та температури. На рисунку 5 застосований Undervolting, але його порівняння з №2 усього 2% у многоточному тесті та 0% у однопоточному. Оптимізація напруги дозволяє значно зменшити енергоспоживання з мінімальними втратами продуктивності, або у нашому випадку застосувати заощадженну напругу на пришвидшення частот.

CPU (Multi Core)	Details
1. 32C/64T @ 3 GHz, AMD Ryzen Threadripper 2990WX 32-C	30054
2. 24C/48T @ 2.7 GHz, Intel Xeon W-3265M CPU	24243
3. 16C/32T @ 3.4 GHz, AMD Ryzen Threadripper 1950X 16-C	16315
4. 8C/16T @ 2.9 GHz, AMD Ryzen 7 4800H with Radeon Grap	11571
5. 8C/16T @ 2.3 GHz, Intel Core i9-9880H CPU	9087
6. 8C/16T @ 3.4 GHz, AMD Ryzen 7 1700X Eight-Core Process	8889
7. 12C/24T @ 2.7 GHz, Intel Xeon CPU E5-2697 v2	8378
8. 12C/24T @ 2.66 GHz, Intel Xeon CPU X5650	6867
9. 4C/8T @ 4.2 GHz, Intel Core i7-7700K CPU	6302
10. 4C/8T @ 2.81 GHz, 11th Gen Intel Core i7-1165G7 @ 28W	4904
11. 4C/8T @ 2.3 GHz, Intel Core i7-4850HQ CPU	3891
12. 4C/8T @ 1.69 GHz, 11th Gen Intel Core i7-1165G7 @15W	3769

Рисунок 4.6 — Мій результат у тесті Cinebench R23

CINEBENCH R23

CPU (Multi Core) 12983 pts

CPU **AMD Ryzen 7 4800H (8C/16T)**
 CPUID: AMD Ryzen 7 4800H with Radeon Graphics
 Max Core Frequency: 4294.32 MHz @ 1.20 V
 Max Effective Clock: 4293.03 MHz
 Max Core Temp: 79 °C
 Bus Frequency: 100.75 MHz
 Max Wattage/Avg Load: 84 W, 45.86%
 Zen FCLK/UCLK: 1700.00/1700.00 MHz

Memory **16 GB DDR4, 14.86 GB active**
 2x
 Frequency: 1712.75 MHz
 Timings: CL18.0-20-20-30 1T - RFC: 438

GPU **AMD Radeon(TM) Graphics**

Motherboard **HP 8787**
 BIOS: F.18, 2 DIMM slots

OS **Windows 11 22H2 (22H2)**
 Build: 10.0.25272, 64 bit
 File Integrity: Version: 23.2, 3/3 valid

System Timers **6,759,642 timer calls**
 HPET: HPET32, 14.32 MHz, 0.001 ms (Precise)
 ACPI PM: 3.58 MHz
 OPC: ITSC, 10 MHz, -0.045 ms (Allowed)
 ITSC (used by OPC): 2.92 GHz by Driver (Reliable)

BenchMate **10.12.2 (Driver: 0.36)**
 Sensor Measurements: 8 in 65.07 s by HWINFO 7.31 (Driver: 10.72)

BENCHMATE

Рисунок 4.7 — Максимальний результат цього процесору в світі (за даними

[7])

Зробивши аналіз інтернет розгону саме мого процесору, я дізнався, що він може бути на 15% завдяки більш розвиненим методам розгону, що не доступні на

моєму ноутбучі. Але щоб показати гарні результати розгону я дістав старий комп'ютер з гарним потенціалом розгону.

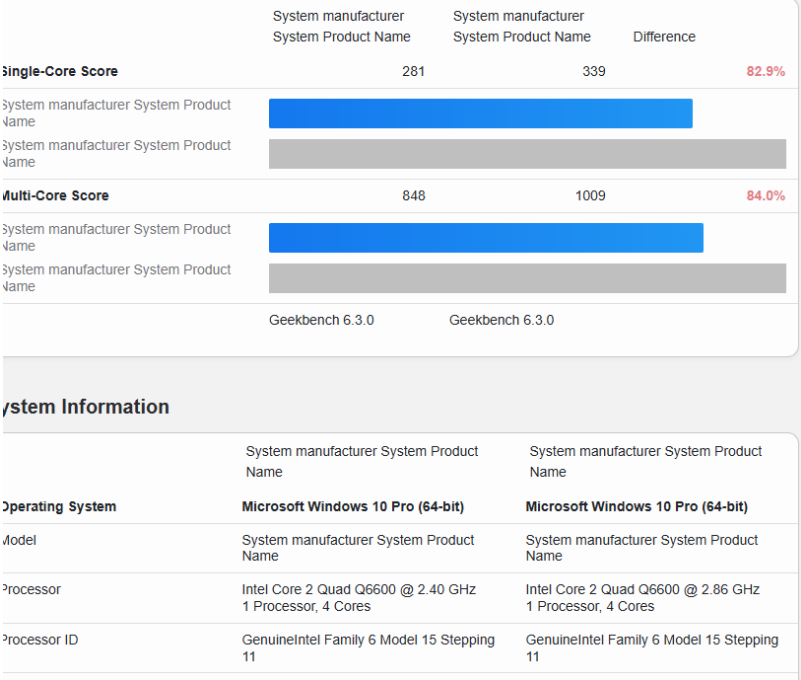


Рисунок 4.8 — Результати розгону старого ПК

Як видно на рисунку 8, наш процесор q6600 має частоту 2.4ГГц, та має 4 ядра, після розгону по шині ми отримали частоту 2.84ГГц, що теж не є максимальним у світі, але теж непоганий результат, що дає різницю у 21% (848<1029), або 16% відставання нашого нерозогнаного результату у порівнянні з розогнаним.

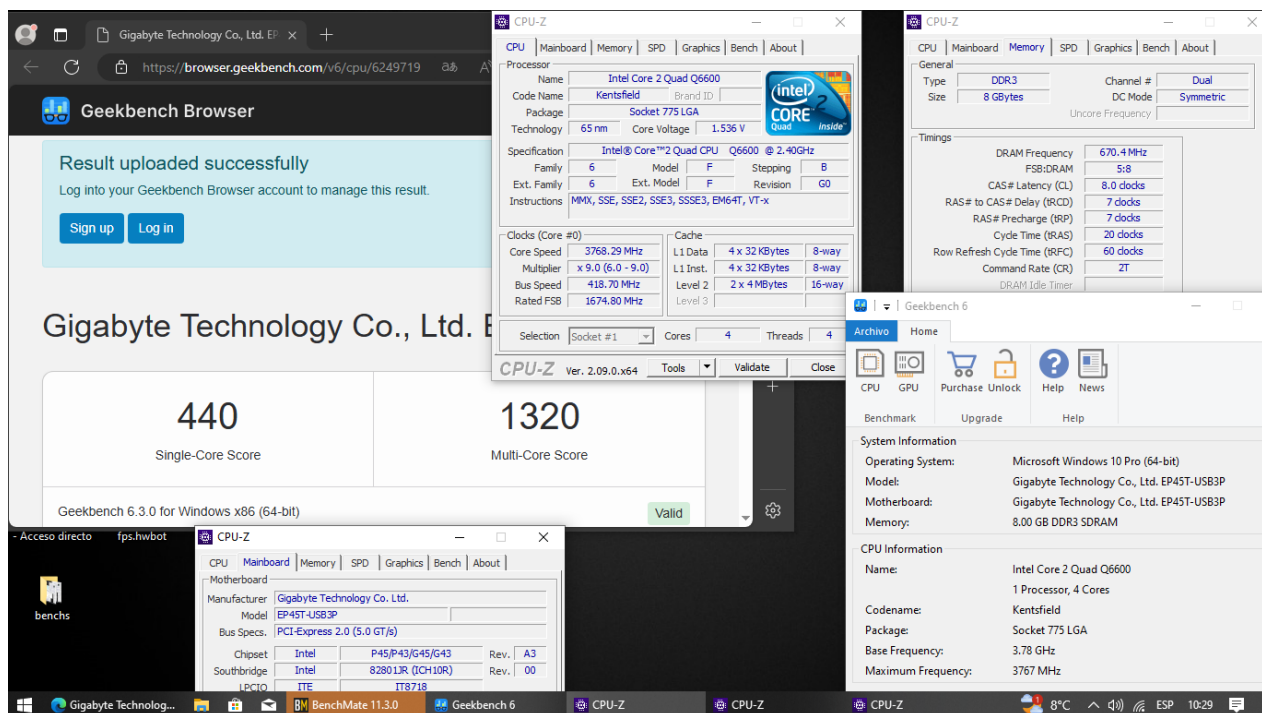


Рисунок 4.9 — Приклад максимального розгону q6600 (за даними [8])

Як видно на малюнку 9, наш базовий результат відстає на 55% (848 проти 1320), та на 28% від нашого не дуже гарного розгону (1029 проти 1320), що доказує необхідність більшої інвестиції в материнську плату та пам'ять задля досягнення 1.536 вольт задля досягнення цих результатів. Але ми можемо радіти тим, що наш розгон був здійснений без великого росту енергоспоживання [9-10].

Ще одним додатковим пунктом розгону є розгон відеокарт. Семантично їх теж називають процесорами, але графічними, та мають більш зручний метод розгону через програми.

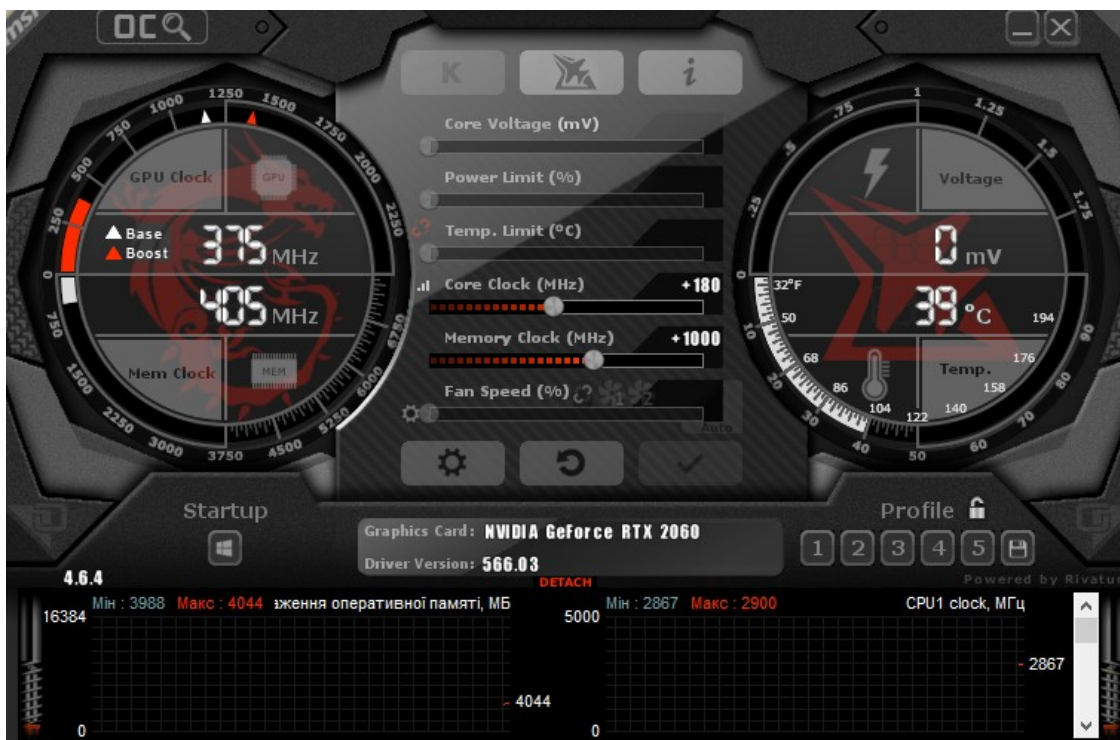


Рисунок 4.10 — Програма розгону відеокарти

Розгон відеокарт полягає у підвищенні частот пам'яті та ядра, все інше тільки існує задля стабілізації більших частот або зменшення температур та енергоспоживання. Я буду показувати тільки підвищення частот у наступних даних.

	System manufacturer System Product Name	System manufacturer System Product Name	Difference
OpenCL Score	2125	1570	135.4%
System manufacturer System Product Name	[Redacted]		
System manufacturer System Product Name	[Redacted]		
	Geekbench 6.3.0	Geekbench 6.3.0	

Рисунок 4.11 — Результати розгону дискретної відеокарти.

OpenCL Information		
Platform Vendor	Advanced Micro Devices, Inc.	Advanced Micro Devices, Inc.
Platform Name	AMD Accelerated Parallel Processing	AMD Accelerated Parallel Processing
Device Vendor	Advanced Micro Devices, Inc.	Advanced Micro Devices, Inc.
Device Name	Turks	Turks
Board Name	AMD Radeon HD 6570	AMD Radeon HD 6570
Compute Units	6	6
Maximum Frequency	880 MHz	650 MHz
Device Memory	1.00 GB	1.00 GB

Рисунок 4.12 — Інформація про відеокарту

Як видно, цей компонент комп'ютера є одним із найкращих розгонів підготовлених мною для демонстрації, hd6570. Ми отримали 35.4%! Без втрати енергоефективності, бо обидва результати мають однаковий вольтаж компонентів. Такий результат дуже гарний, навіть неповторний у сучасному світі поганих розгонів новітніх ПК. Але це не є причиною покинути розгон, бо завжди будуть існувати компоненти, які з заводу мають занижені специфікації, або мають перемогу у Лотереї Силікону та можуть мати великий приріст при розгоні.

4.3 Результати теоретичних досліджень

Проведений аналіз показав, що вибір методу прискорення залежить від потреб користувача та типу задач. Для ігрових систем доцільно використовувати розгін з активним охолодженням. Для серверів та робочих станцій оптимальним є Undervolting, що дозволяє економити енергію. Для задач з багатопотоковим навантаженням важливо забезпечити ефективне використання багатоядерності. Подальші експериментальні дослідження допоможуть уточнити ці висновки та перевірити їх у реальних умовах.

5 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Підготовка до проведення досліджень

Всі тести проводились з справжніми відеокартами, процесорами та пам'яті довгий період часу.

Для створення цього масштабного експерименту застосовувався власний застосунок для знаходження стабільних частот процесору, для відеокарт застосовувався Unigine Heaven Benchmark 4.0, який також застосовувався на початковій стадії створення інформаційного списку впливу на частоти між різними типами, поколіннями та вольтажу відеокарт, процесорів та оперативної пам'яті.

Для оцінки ефективності розгону застосовуються Heaven Benchmark 4 для відеокарт, які не підтримують OpenCL, але підтримують DirectX 9c. Для усіх інших використовується GeekBench6 який дозволяє порівняти вплив розгону між різними задачами продуктивності з OpenCL та Vulkan. Vulkan більш сучасний API який краще застосовує можливості відеокарти та покаже найчистіший результат розгону. Результати не можна порівнювати між собою, бо тести проводились на різних налаштуваннях та з різними системами для максимального навантаження відеокарти. Також результати завантажуються онлайн у вільному доступі.

Для порівняння процесорів застосовується GeekBench6 функція оцінки процесору яка поділяється на цілих 16 різних типів продуктивних задач між одноядерним та багатоядерним режимом.

Для оцінки прискорення оперативної пам'яті було застосовано функцію вимірювання швидкості пам'яті у AIDA64. Цей тест показує багатогранність оперативної пам'яті та сегментований вплив налаштувань розгону, що буде впливати на продуктивність по різному.

Тестування проводилось на різних конфігураціях. Як Core 2 Duo E8400, I5-3470, R7-3800X, R7-4800H.

5.2 Проведення експериментів з відеокартами у Heaven Benchmark 4

Першою відеокартою результати розгону якої буде продемонстровано буде RX 570 4GB, для неї був застосований помірно підвищення вольтажу на 100mV, що дозволило отримати частоту ядра 1480Mhz. Також було розігнано частоту пам'яті до 2160Mhz. Це дозволило отримати краще результат у тесті. 1648 проти 1431, що є покращенням у 15.1%. Гарний початок

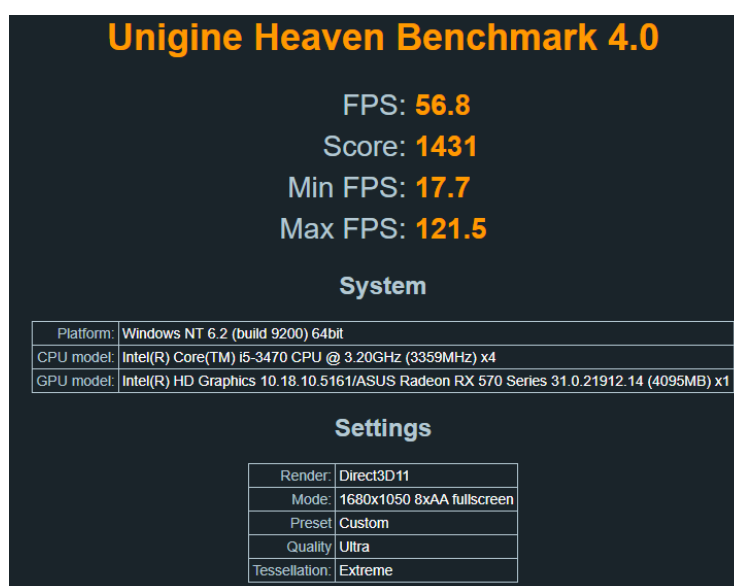


Рисунок 5.1 — Результат отриманий до розгону RX 570 4GB

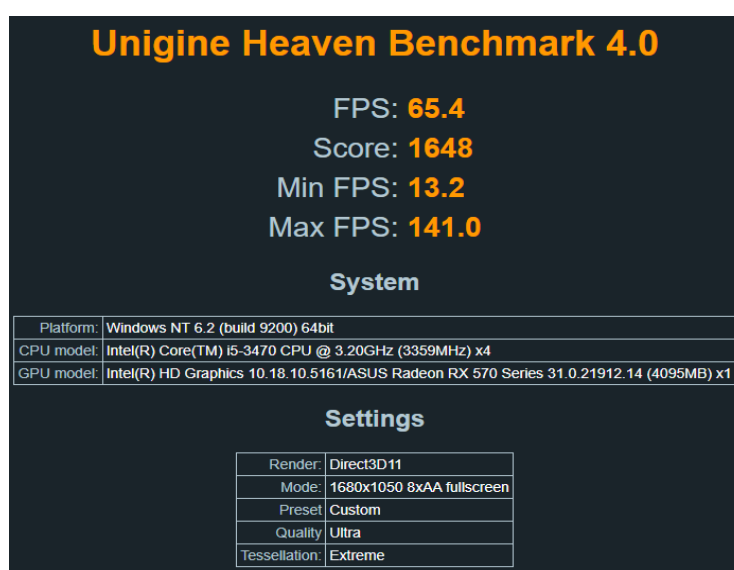


Рисунок 5.2 — Результат отриманий після розгону RX 570 4GB

Наступна відеокарта є RX 580 8GB, на відміну від RX 570 вона була розігнана без додаткового вольтажу, частота ядра 1470, частота пам'яті 2275. У підсумку 1680 проти 1482, приріст від розгону 13.3%

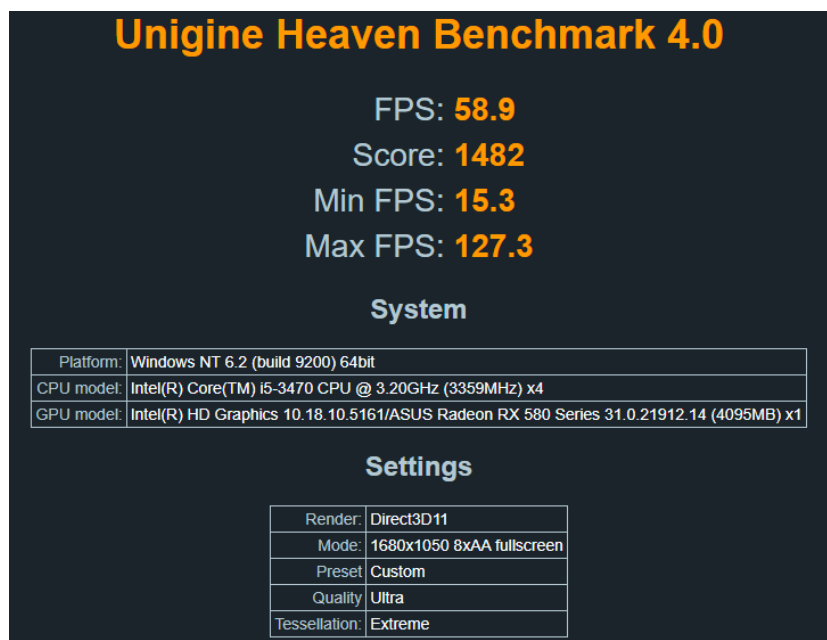


Рисунок 5.3 — Результат отриманий до розгону RX 580 8GB

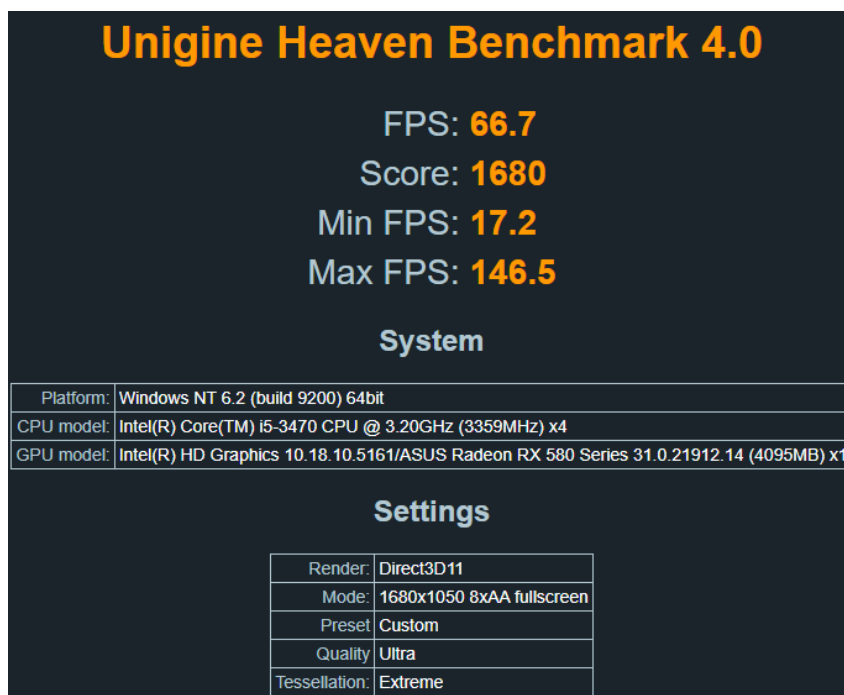


Рисунок 5.4 — Результат отриманий після розгону RX 580 8GB

Далі йде відеоадаптер HD 5450 1GB DDR2. Вона має жахливий відеобуфер з дуже повільною пам'яттю, але розгон це виправить, частота ядра 840, пам'яті 460. 834 проти 566 балів, приріст у цілих 47.3%! Неймовірний показник розгону.

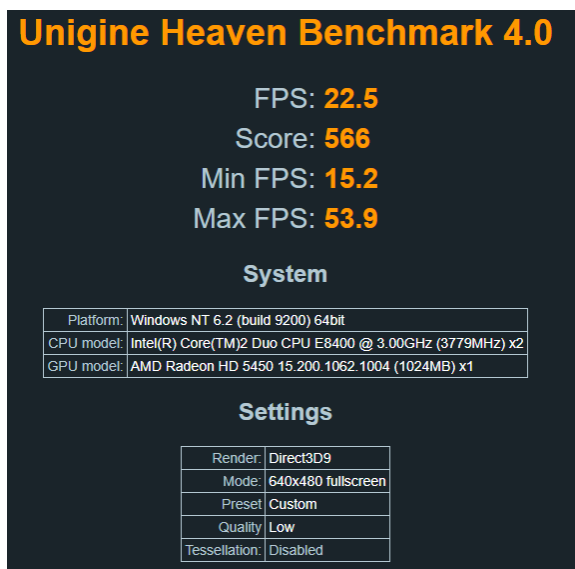


Рисунок 5.5 — Результат отриманий до розгону HD 5450 1GB DDR2

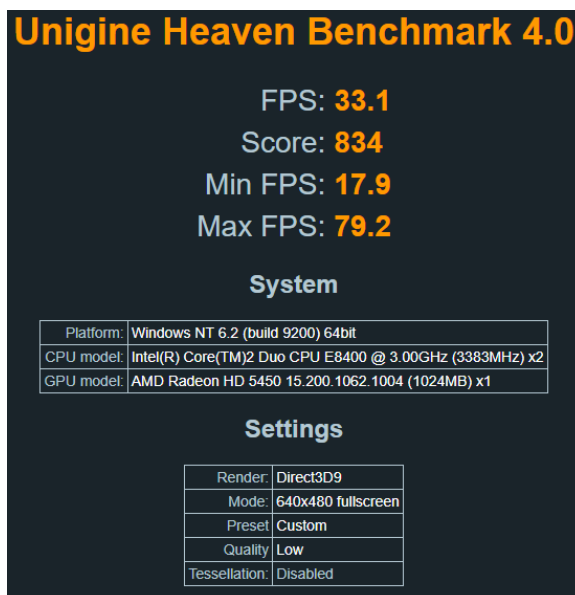


Рисунок 5.6 — Результат отриманий після розгону HD 5450 1GB DDR2

Далі йде відеоадаптер з більш правильною конфігурацією пам'яті HD 6570 1GB. Частота розгону ядра 870, пам'яті 1260. 2591 проти 1762 бали, приріст у 47%.

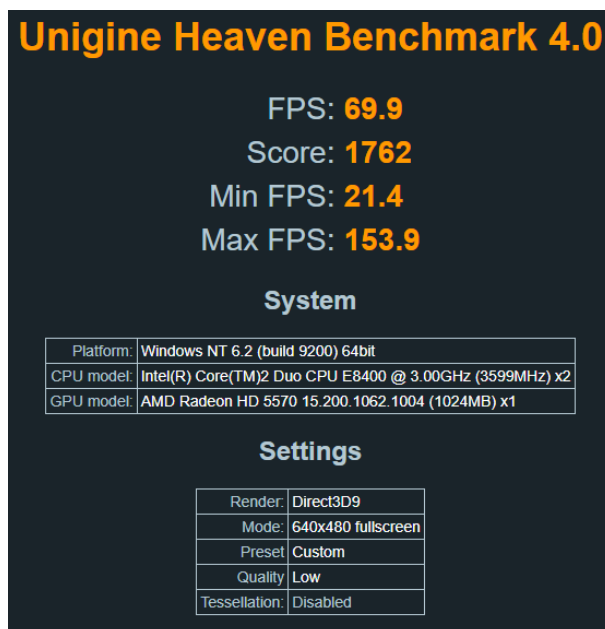


Рисунок 5.7 — Результат отриманий до розгону HD 6570 1GB

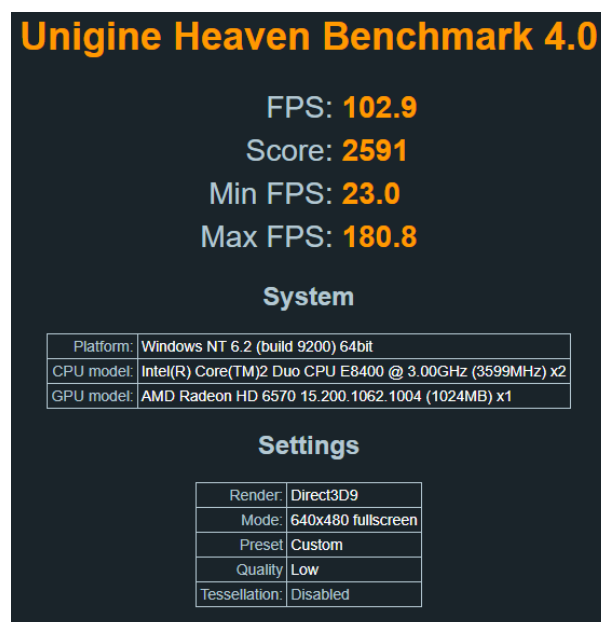


Рисунок 5.8 — Результат отриманий після розгону HD 6570 1GB

Тепер більш ігрова відеокарта, HD 6670 1GB. Розгон частоти ядра та пам'яті невідомий. 770 проти 704 бали, приріст у 9.3%, непоганий, але не зірковий показник.

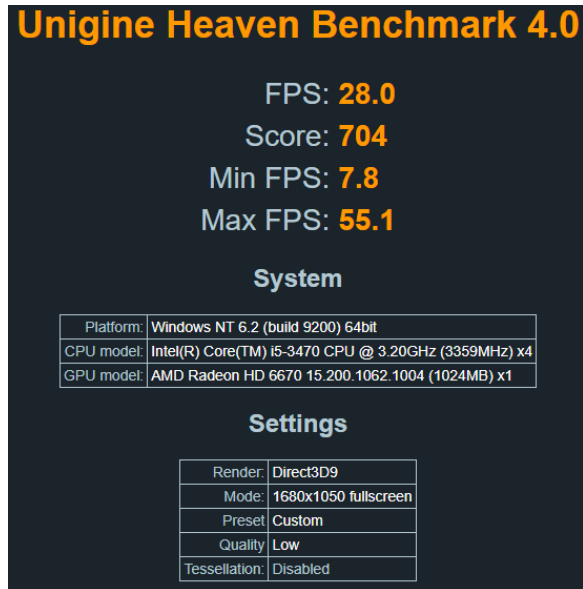


Рисунок 5.9 — Результат отриманий до розгону HD 6670 1GB

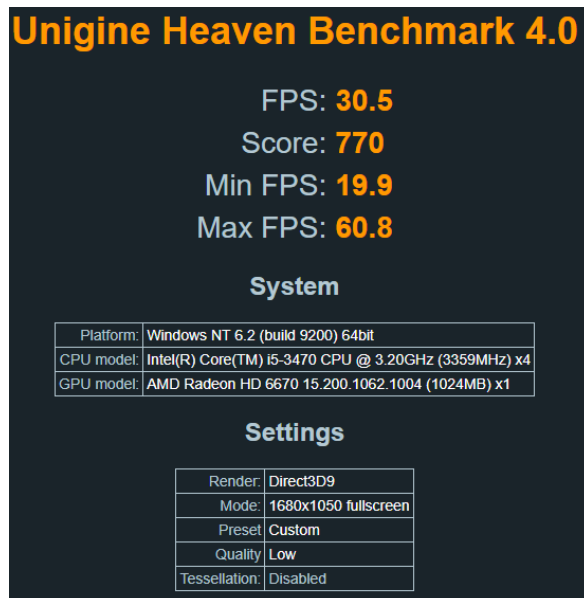


Рисунок 5.10 — Результат отриманий після розгону HD 6670 1GB

Перейдемо до першої відеокарти від NVIDIA у цьому списку, 9500 GT DDR2 1GB. Ця відеокарта має додаткову частоту shader, вплив якої я так і не знайшов, але теж розігнав до 1450, ядро до 600 та пам'ять до 450. 337 проти 273 бали, 23.4% приросту.

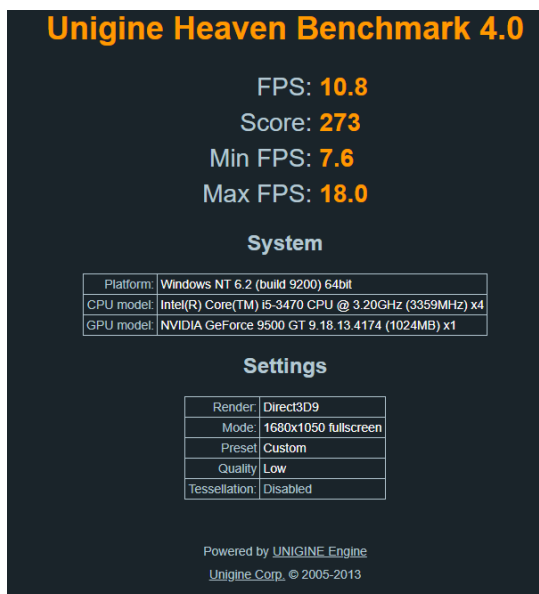


Рисунок 5.11 — Результат отриманий до розгону 9500 GT DDR2 1GB

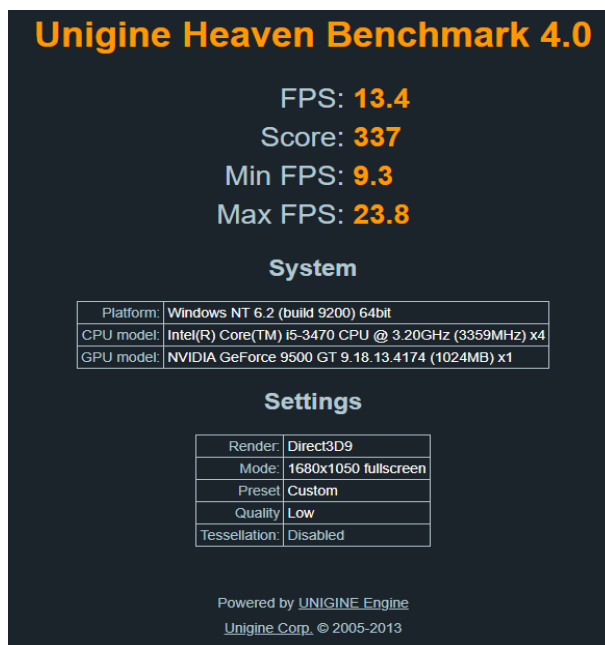


Рисунок 5.12 — Результат отриманий після розгону 9500 GT DDR2 1GB

Ще одна відеокарта, але краще за попередню. 9800 GT 512MB. Розгон шейдеру доступний, але проігнорований. Частота ядра 730, частота пам'яті 1160. 1132 проти 956 бали, приріст 18.4%.

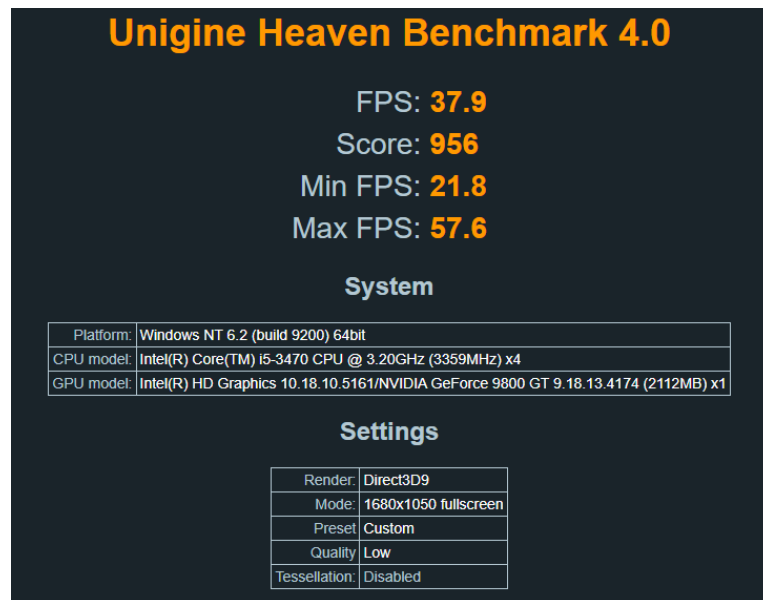


Рисунок 5.13 — Результат отриманий до розгону 9800 GT 512MB

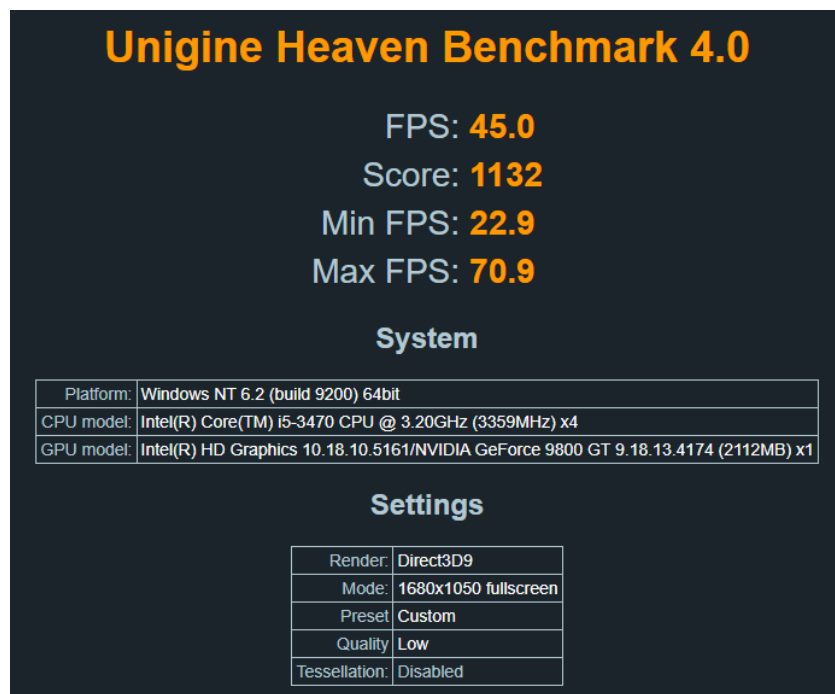


Рисунок 5.14 — Результат отриманий після розгону 9800 GT 512MB

Наступний відеоадаптер, GT 240 1GB DDR3. В цієї пам'ять вже краще, але зовсім не швидкої, розгонимо її! Частота ядра 600, пам'яті 900. 629 проти 414 бали, 51.9% приросту. Бачимо тренд того, що DDR пам'ять повільна, але піддається розгону з великим впливом на продуктивність.

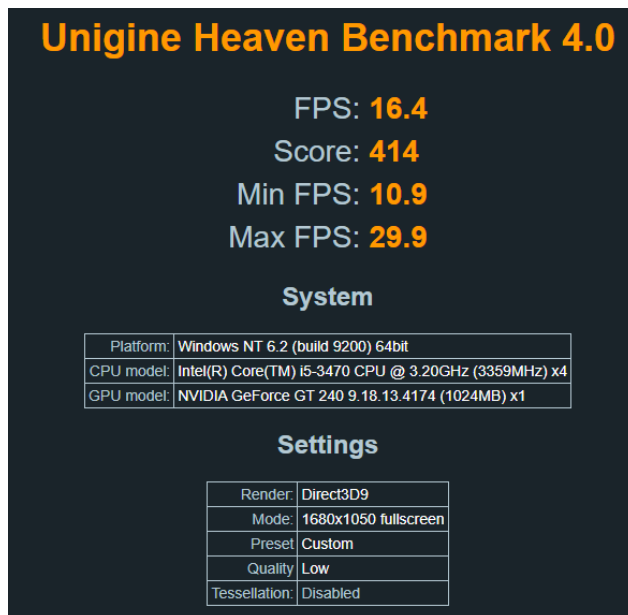


Рисунок 5.15 — Результат отриманий до розгону GT 240 1GB DDR3

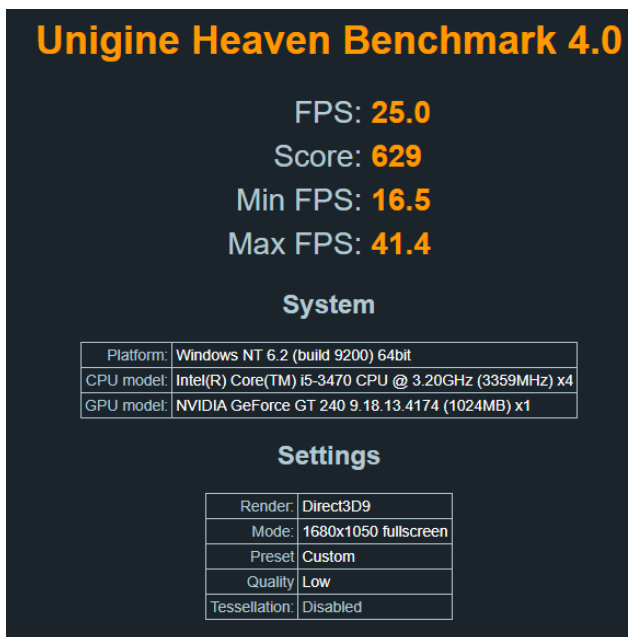


Рисунок 5.16 — Результат отриманий після розгону GT 240 1GB DDR3

Ця відеокарта повинна була бути протестована у GeekBench6, але результати для того тесту були втрачені. GTX 760 4GB. Частоти розгону невідомі. 974 проти 862 бали, приріст 13%.

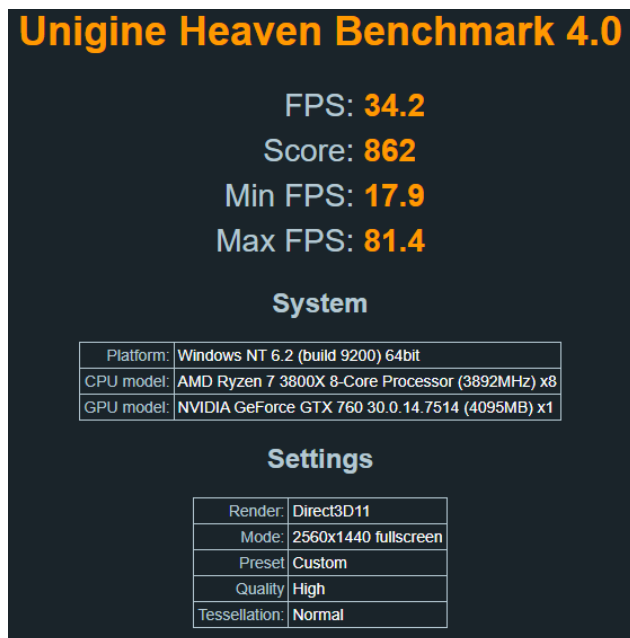


Рисунок 5.17 — Результат отриманий до розгону GTX 760 4GB

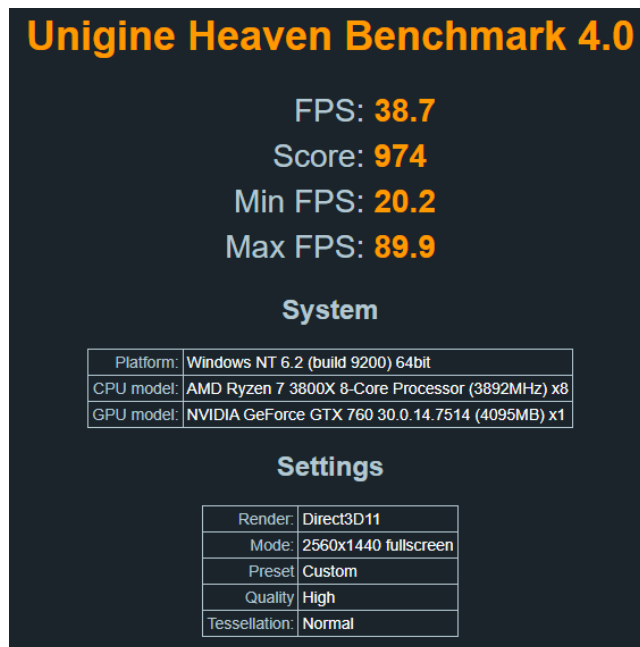


Рисунок 5.18 — Результат отриманий після розгону GTX 760 4GB

Незвична новинка у списку та останній у ньому, Intel HD Graphics 2500. Відеокарта вбудована у процесор, при збільшенні вольтажу було досягнуто частоту відеоядра у 1550, та трохи розігнано оперативну пам'ять яку вона застосовує замість вбудованої до 840. 368 проти 262 бали, 40.4% прискорення від розгону.

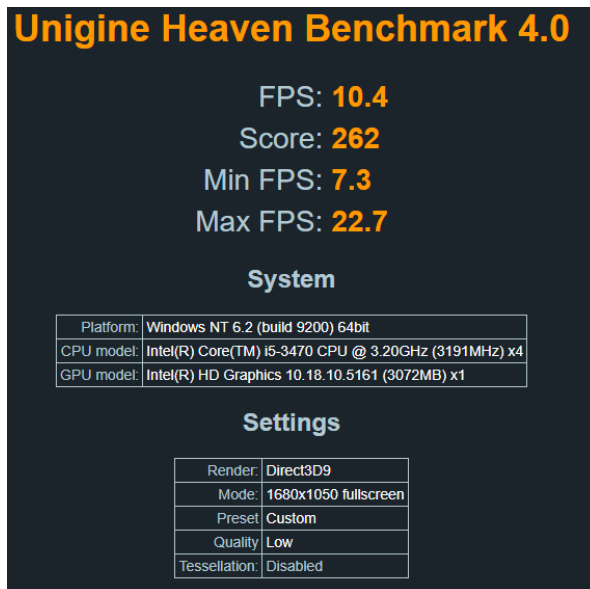


Рисунок 5.19 — Результат отриманий до розгону Intel HD Graphics 2500

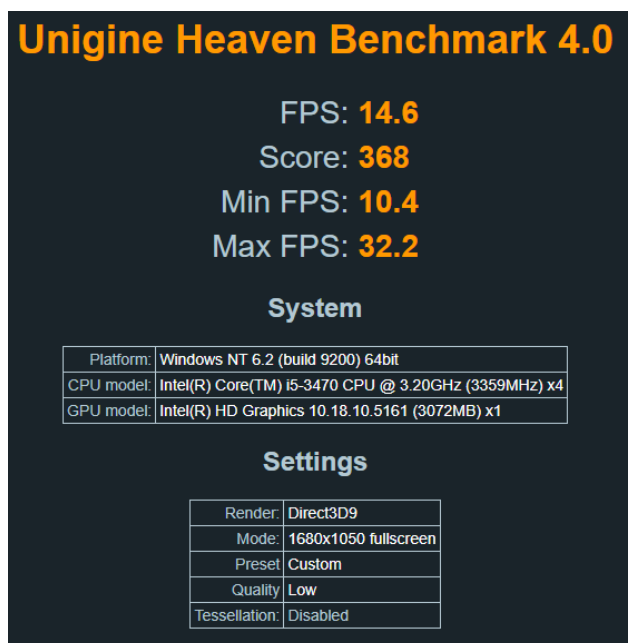


Рисунок 5.20 — Результат отриманий після розгону Intel HD Graphics 2500

5.3 Проведення експериментів з відеокартами у GeekBench6 OpenCL

Цей тест полягає у проходженні 8 навантажень та порівнянні результатів між відеокартою без розгону та з розгоном.

Перша у списку, RTX 3070 TI 8GB, ця відеокарта може досить гарно рендерити промені, але задля рівного та менш фрагментованого навантаження вона буде проходити навантаження OpenCL. Після дуже детального розгону який я описував у своїй публікації, ми отримали +135Mhz на вершині частотно вольтажної кривої де зазвичай знаходяться навантаження GeekBench6 та +1500Mhz по частоті пам'яті. Приріст від розгону 11.1%.



Рисунок 5.21 — Результат отриманий після розгону RTX 3070 TI 8GB

Наступна по швидкості звичайна RTX 2060 6GB, частоти розгону невідомі. Розгон дав 6.3% приросту у цьому тесті без додаткового енергоспоживання. Також видно незначну помилку замірів, але розгон не може зменшувати продуктивність.



Рисунок 5.22 — Результат отриманий після розгону RTX 2060 6GB

RTX 2060 розігнана з додатковим вольтажем. 13.1% приросту.

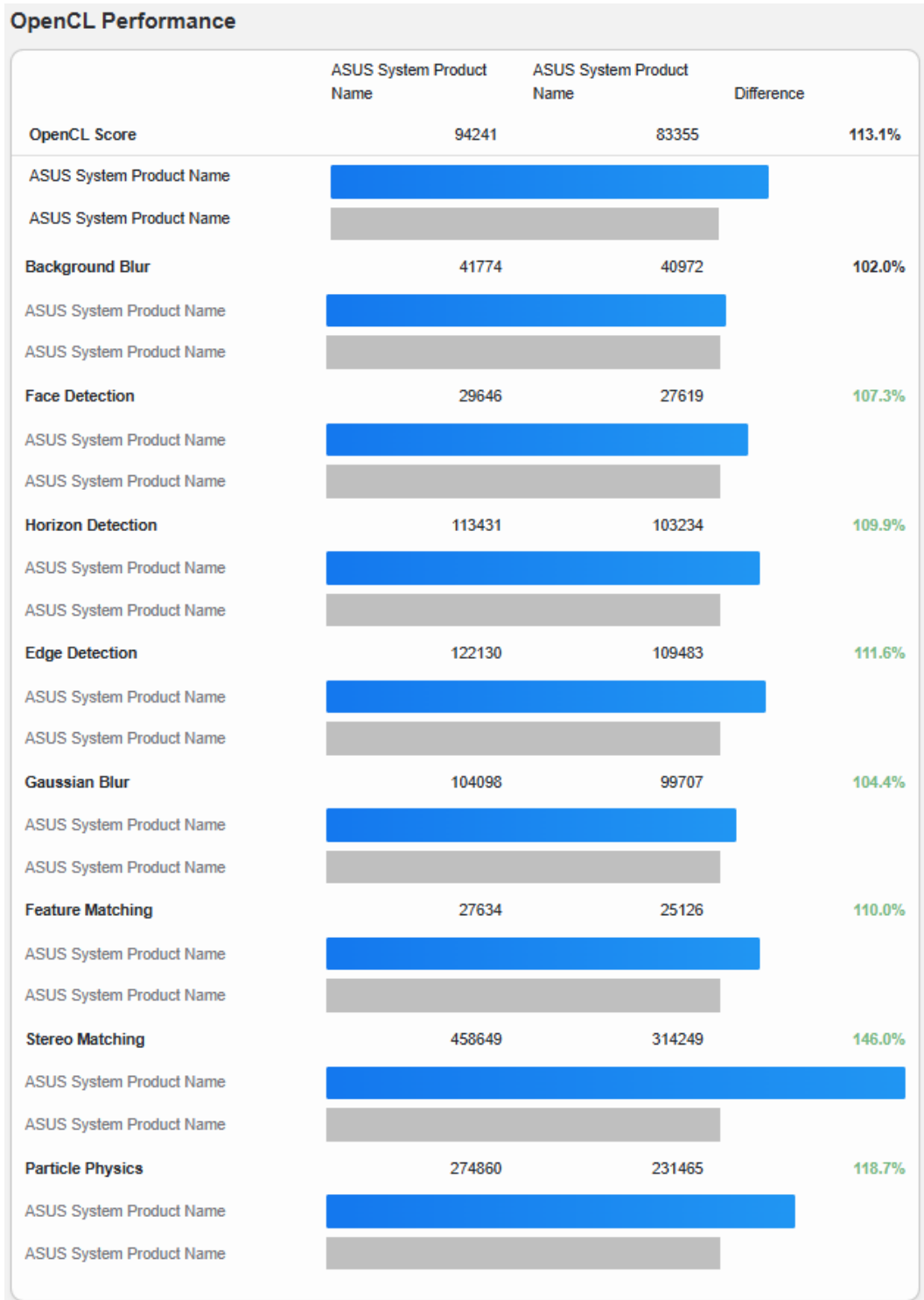


Рисунок 5.23 — Результат отриманий після розгону RTX 2060 з додатковою напругою

Ця відеокарта теж RTX 2060 6GB, але мобільна, що означає зменшені частоти та енергоспоживання. Розгон приносить більше результатів саме при таких умовах. Тому бачимо приріст у 12% при частотах +150 по ядру та +1220 по пам'яті.



Рисунок 5.24 — Результат отриманий після розгону RTX 2060 6GB

Наступна відеокарта це GTX 1070 8GB, яка вже не може показувати промені, але все ще може показати розгон. В результаті отримуємо 8.6%, не дуже багато, але безкоштовно.



Рисунок 5.25 — Результат отриманий після розгону GTX 1070 8GB

Наступна відеокарта. GTX 1070 8GB? Так, це інша модель що я розганяв, в якій вже вийшли набагато кращі частоти та приріст у 11.7%. Що доказує правило силіконової лотереї, хоч і кількість однакових відеокарт у списку тільки 2, це легко побачити.



Рисунок 5.26 — Результат отриманий після розгону GTX 1070 8GB

Далі вже йде відеокарта від AMD, дуже гаряча R9 390X. Найгірша відеокарта для того, щоб розганяти. Їй вже треба undervolt, або правильно зменшений вольтаж, що неодмінно зменшить енергоспоживання за незначне зменшення продуктивності. Але тут тільки розгон і ми отримуємо 5.7% пришвидшення.

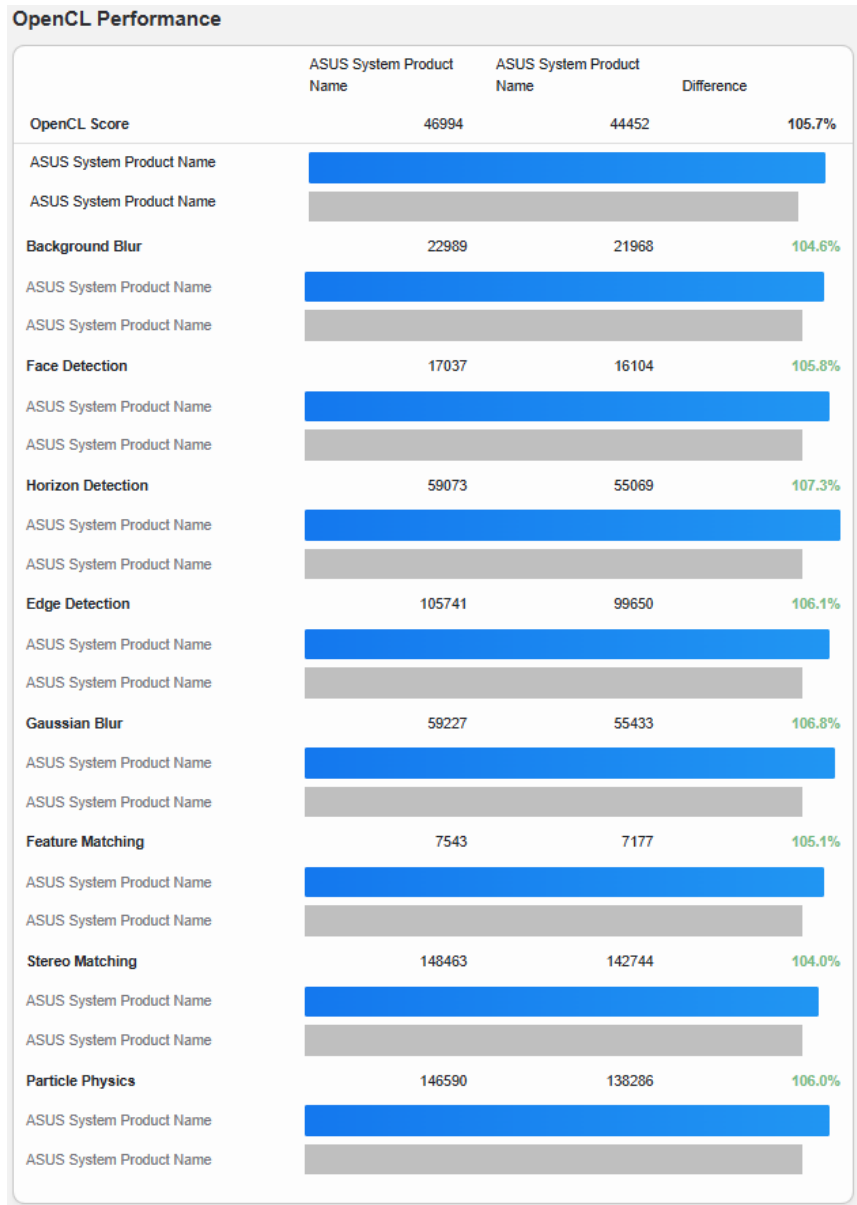


Рисунок 5.27 — Результат отриманий після розгону R9 390X

Тепер більш холодна відеокарта, RX 580 2048sp 8GB. Ця назва ховає за собою чип від менш продуктивної RX 570 під новою оболонкою трохи вищих частот та енергоспоживання. Незважаючи на назву, розгін дає результати у цілих 11.8% прискорення.

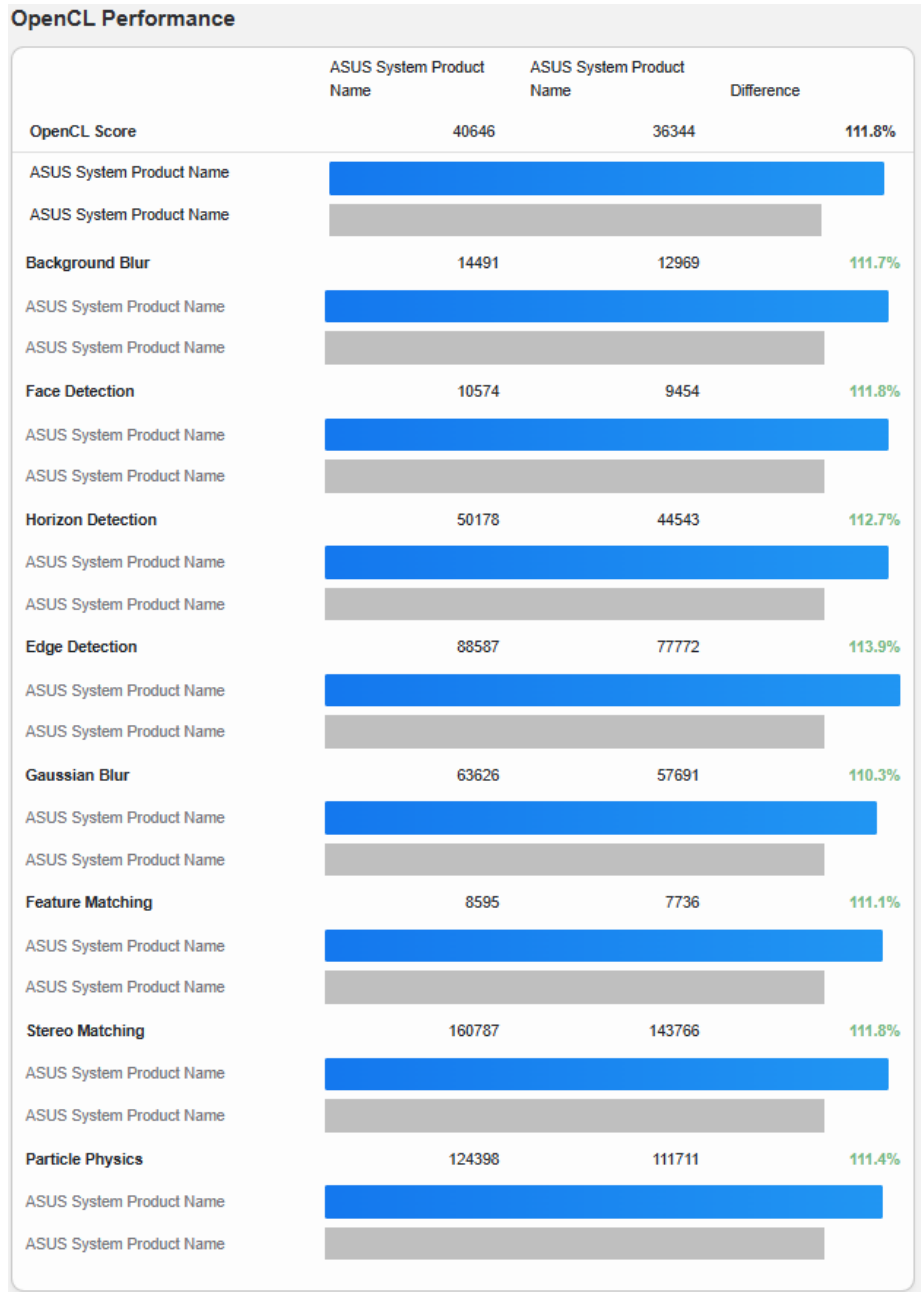


Рисунок 5.28 — Результат отриманий після розгону RX 580 2048sp 8GB

Стара, але не мертва GTX 680 2GB. Відеокарта яка врятувала NVIDIA від архітектури Fermi, що мала дуже гарячі відеокарти. І як факт ефективного енергоспоживання ми можемо розігнати її на +135 по ядру та +550 по пам'яті, що дає приріст у 13.2%. Дуже гарно.

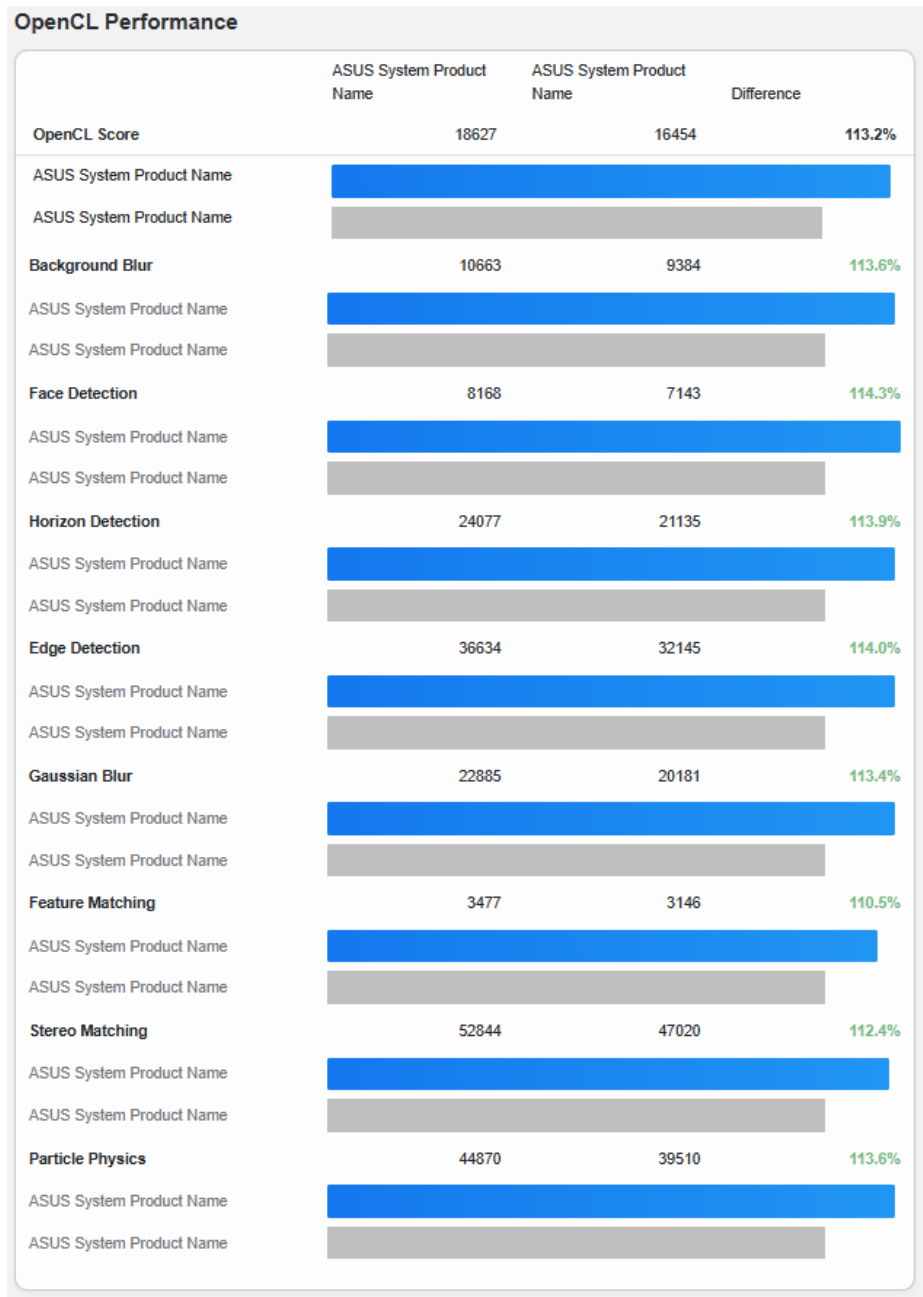


Рисунок 5.29 — Результат отриманий після розгону GTX 680 2GB

Несподівано GTX 670 2 GB. Відеокарта яка хоче бути як 680, але не може досягти такого ж розгону як і 680, +75 по ядру та +750 по пам'яті, що дає приріст у 6.2% без застосування додаткової електроенергії.



Рисунок 5.30 — Результат отриманий після розгону GTX 670 2 GB

Вітайте GTX 750 1GB, або відеокарту про яку усі забули окрім NVIDIA, що й дотепер створює оновлені драйвери для цієї мало спроможної відеокарти. Це через те, що це насправді новіша по архітектурі відеокарта ніж усі інші з 700 серії. Хоч би як, я тут тільки заради розгону, і вона показує приріст у 11.5% продуктивності.

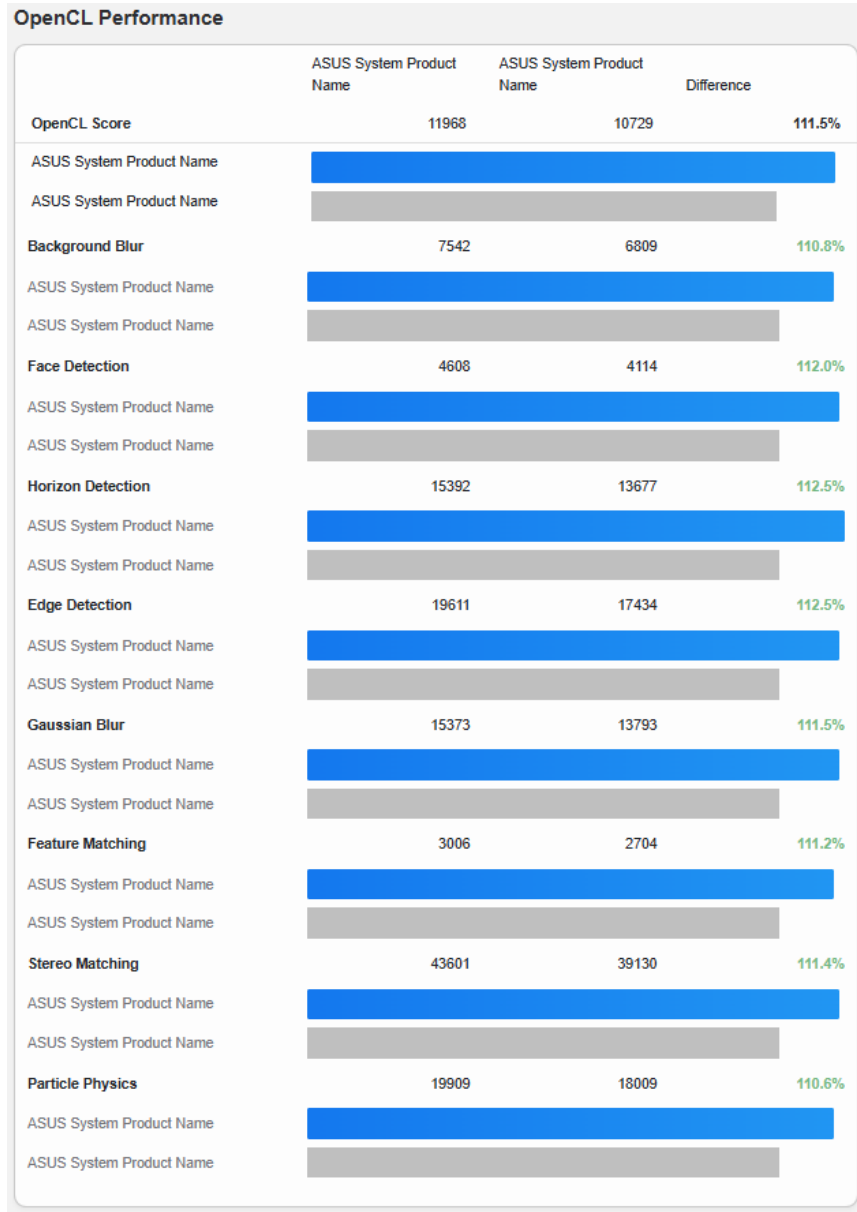


Рисунок 5.31 — Результат отриманий після розгону GTX 750 1GB

Від однієї проблеми до іншої, GTX 570 1.25GB. По характеристикам дуже схожа на gtx 480, що може насторожити, бо та відеокарта була дуже гарячою. Але ця оминула проблеми Fermi, бо вона на архітектурі Fermi 2.0, оновлена на кращу енергоефективність. Ну що ж, побачимо у розгоні. Частота ядра 800, частота пам'яті 2250. 9.1% приросту без зміни вольтажу. Оминули пекельне лихо.



Рисунок 5.32 — Результат отриманий після розгону GTX 570 1.25GB

І знову зустрічайте, GTX 570 1.25GB. Але з більшим вольтажем у 0.95V, що дозволило підняти частоту ядра до 920. Ми не оминули пекло, це дуже гаряча та гучна конфігурація, але задля швидкості це необхідно. 28.8% приросту, дуже гарно для гарячої відеокарти, дуже, але це пекельне лихо.

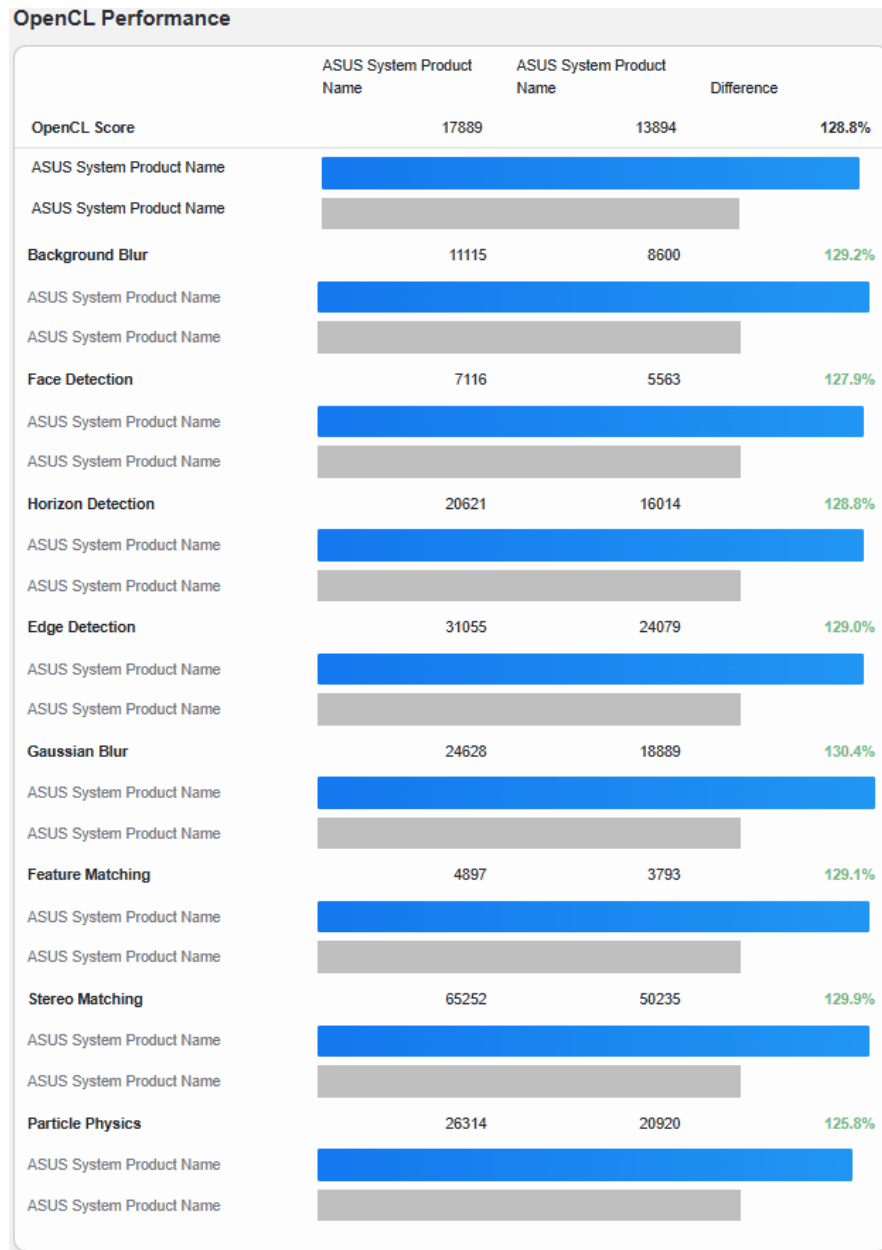


Рисунок 5.33 — Результат отриманий після розгону GTX 570 1.25GB з додатковим енергоспоживанням

Перейдемо до достатньо унікального розгону HD 5870 1GB. Ця відеокарта майже ніяк не розіграла пам'ять, усього 1275Mhz, але гарно розіграла ядро до 950, що дозволяє побачити як тільки частота ядра впливає на тести, а саме дуже рівний приріст між навантаженнями. В середньому приріст у 8.2%, непогано для флагманської гарячої відеокарти.



Рисунок 5.34 — Результат отриманий після розгону HD 5870 1GB

Далі йде HD 5770 1GB, яка по специфікаціям є половиною попередньої відеокарти. В мене була можливість розігнати цю відеокарту в CrossFire разом з іншою відеокартою HD 5750. Я не рекомендую цього робити і результатів подвійної графіки не покажу. Але я покажу результати розгону індивідуальних відеокарт. Наприклад ця відеокарта змогла отримати розігнані частоти ядра 910 та пам'яті 1300, що забезпечило приріст у 7.1%.



Рисунок 5.35 — Результат отриманий після розгону HD 5770 1GB

Далі, HD 5770 1GB, була розігнана з більшим вольтажем піднятим до 1.3V, що додало частоти ядра до 1000, що забезпечило приріст продуктивності на 17.4%.



Рисунок 5.36 — Результат отриманий після розгону HD 5770 1GB з додатковим енергоспоживанням

Далі йде майже 5770, HD 5750 1GB, яка має менші стандартні частоти ніж 5770, але за допомогою розгону їх можна досягти без додаткової електроенергії, завдяки тому, що вони мають однаковий чіп. Ядро 860, пам'ять 1300, що забезпечило гарний приріст у 22.8%



Рисунок 5.37 — Результат отриманий після розгону HD 5750 1GB

Остання відеокарта у списку OpenCL, HD 6570 1GB. Вона вже фігурувала у тестах Heaven Benchmark 4, але тут розгон ядра на 880 та пам'яті на 1240 має прискорення у 33.8%, що є менше ніж у тому тесті. Це показує вплив виду тесту на результати, різниця між графічним та синтетичним навантаженням. Але обидва підтверджують що розгон має позитивний ефект у більшості тестів відеокарт.

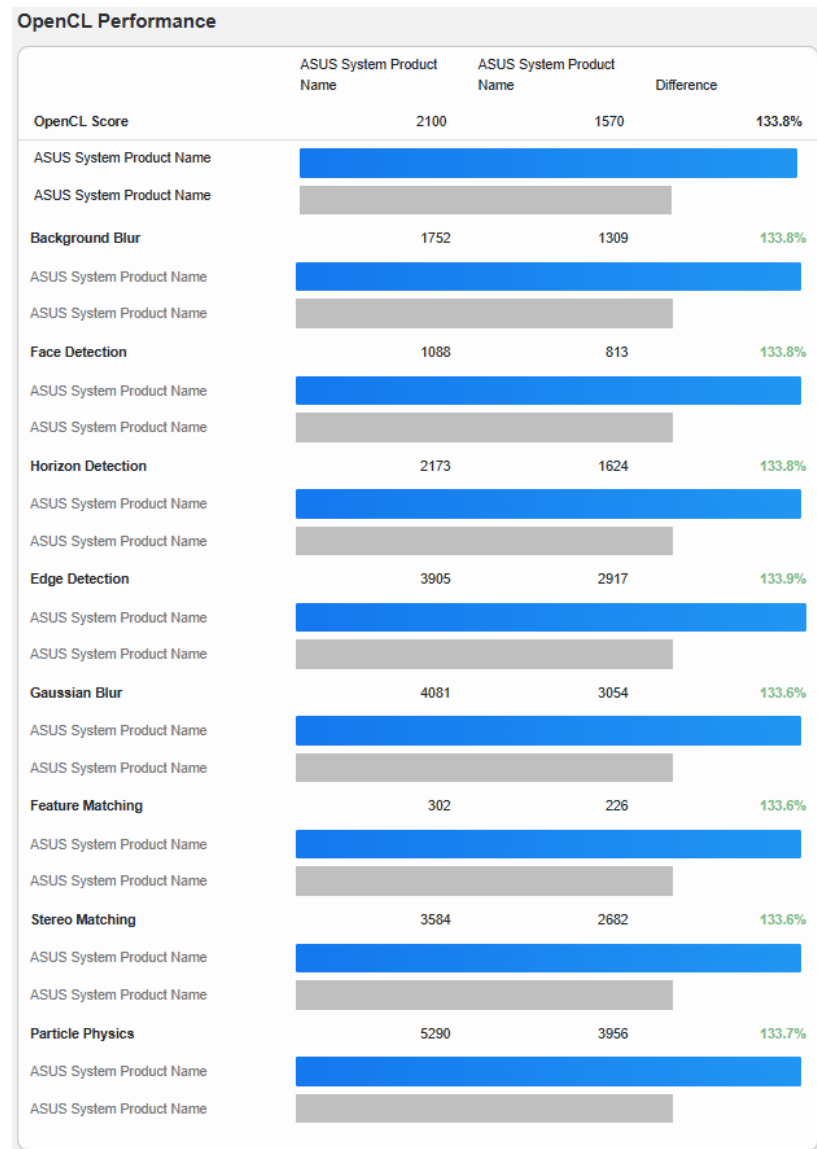


Рисунок 5.38 — Результат отриманий після розгону HD 6570 1GB

5.4 Проведення експериментів з відеокартами у GeekBench6 Vulkan

Теж саме, але у Vulkan, результати трохи відрізняються, кількість відеокарт менша через потребу підтримки Vulkan API. Але цей тест краще показує приріст розгону.

3070 TI приріст 15%.

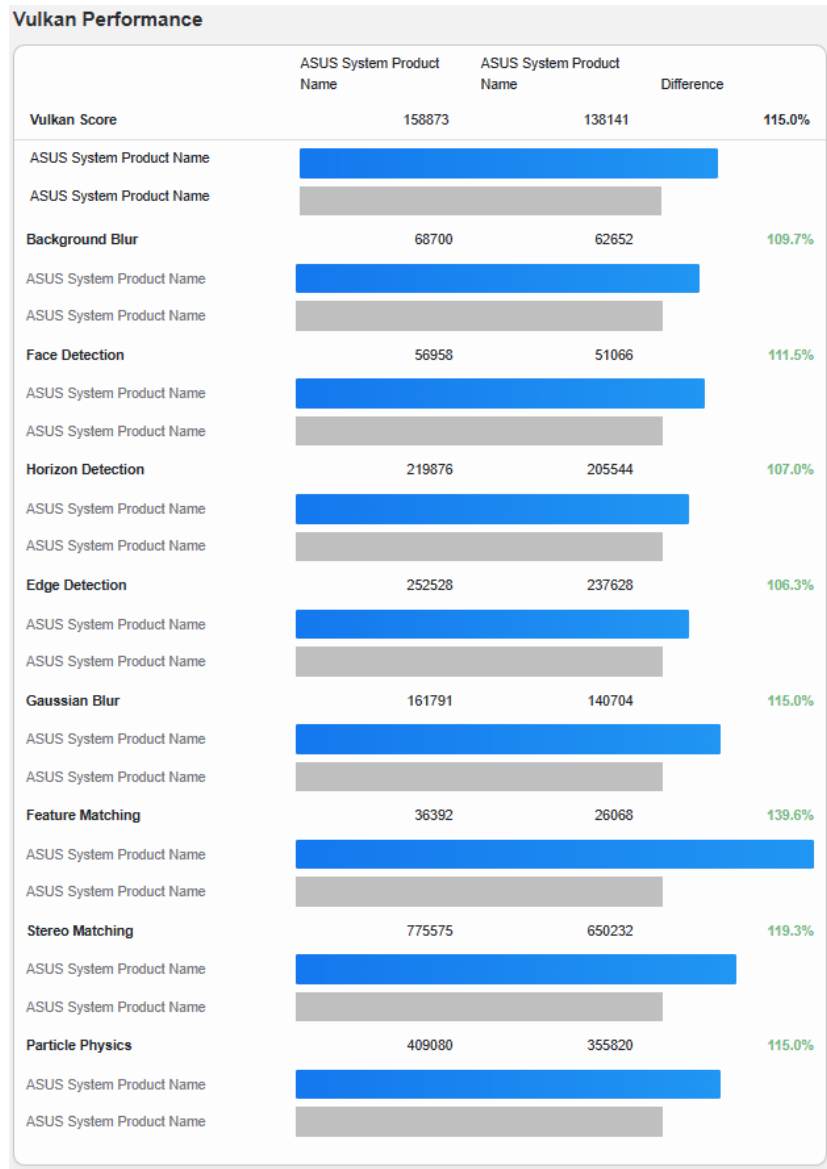


Рисунок 5.39 — Результат отриманий після розгону 3070 TI

RTX 2060 Vulkan, приріст 6% без вольтажу.

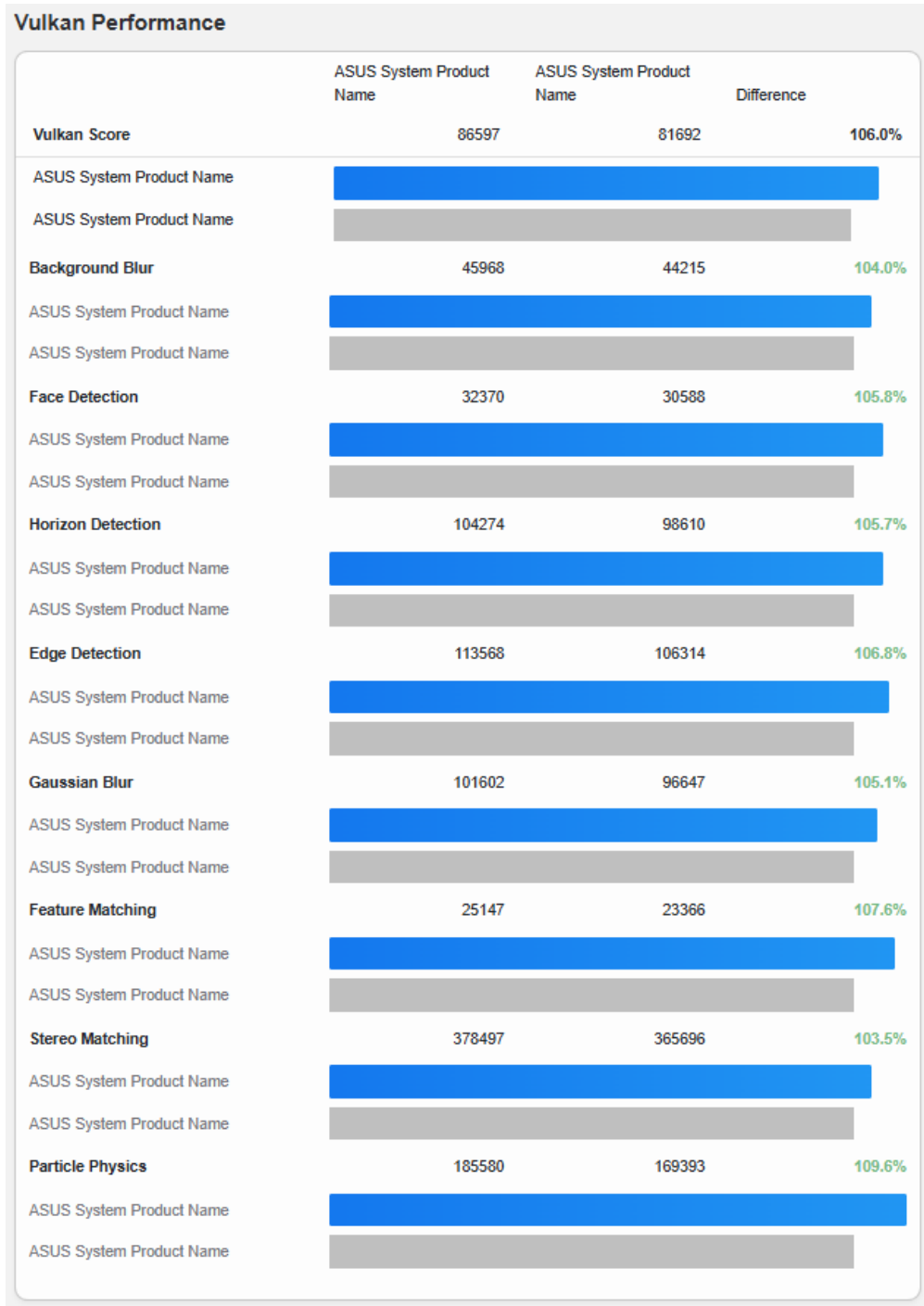


Рисунок 5.40 — Результат отриманий після розгону RTX 2060

RTX 2060m, приріст від розгону 10.4%. Видно невелику аномалію у тесті 7 та 8.

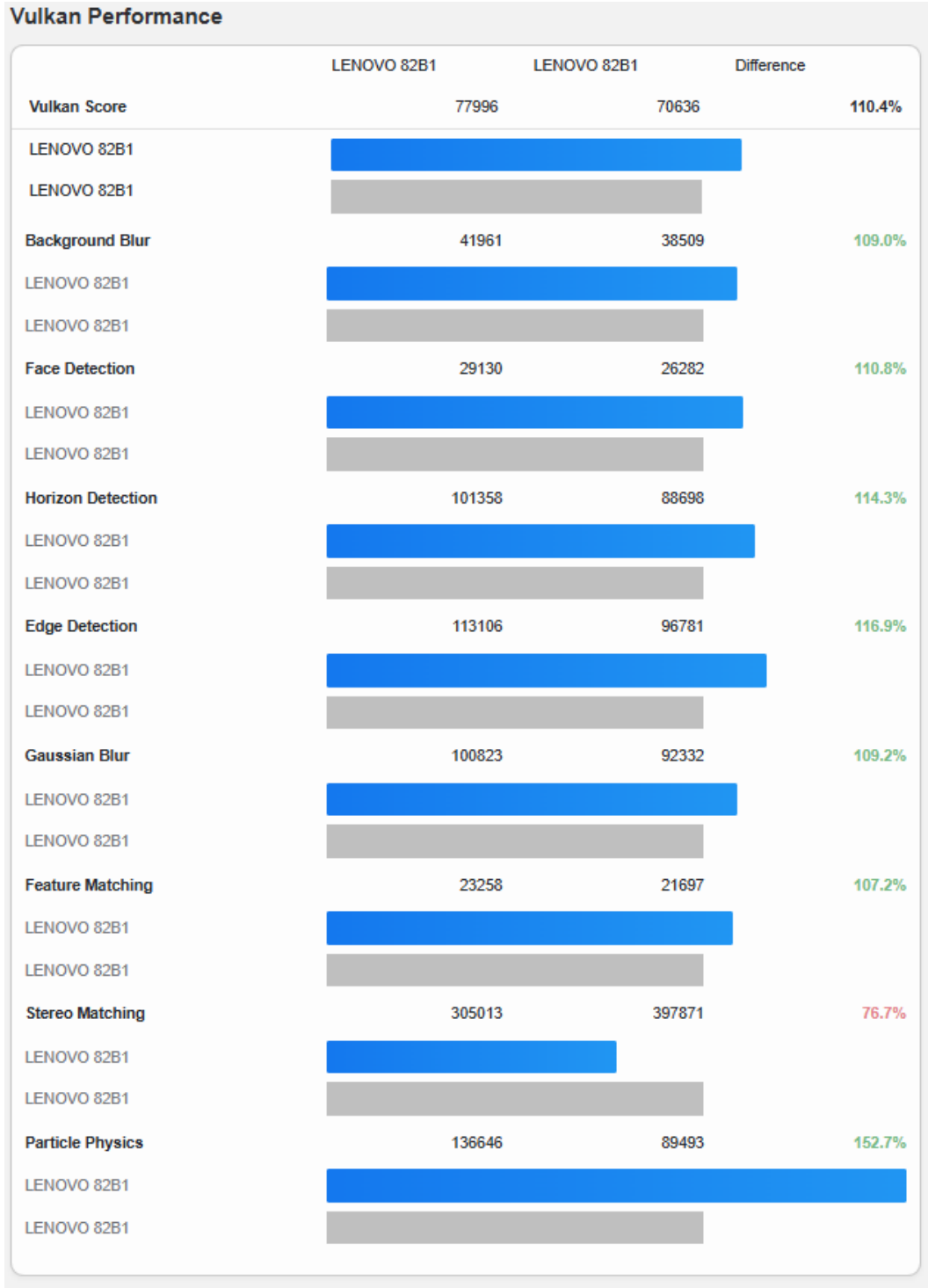


Рисунок 5.41 — Результат отриманий після розгону RTX 2060m

GTX 1070, приріст від розгону 10.7%.

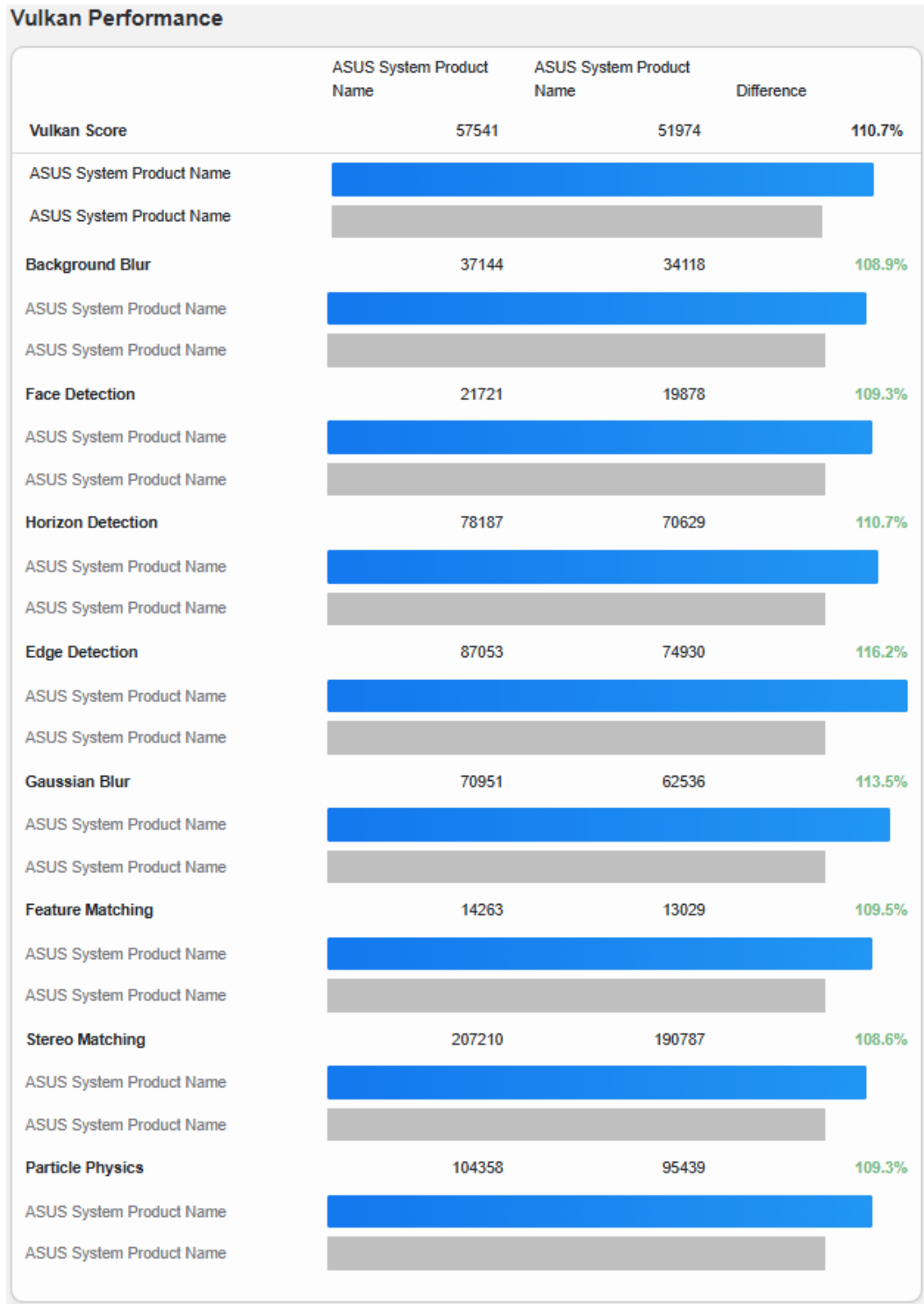


Рисунок 5.42 — Результат отриманий після розгону GTX 1070

GTX 1070, приріст від розгону 11.7%. Це показує що різниця все ж не дуже велика, і що тести у OpenCL показали більше різницю між цими відеокартами в розгоні.



Рисунок 5.43 — Результат отриманий після розгону GTX 1070

R9 390X, приріст від розгону 5.9%.

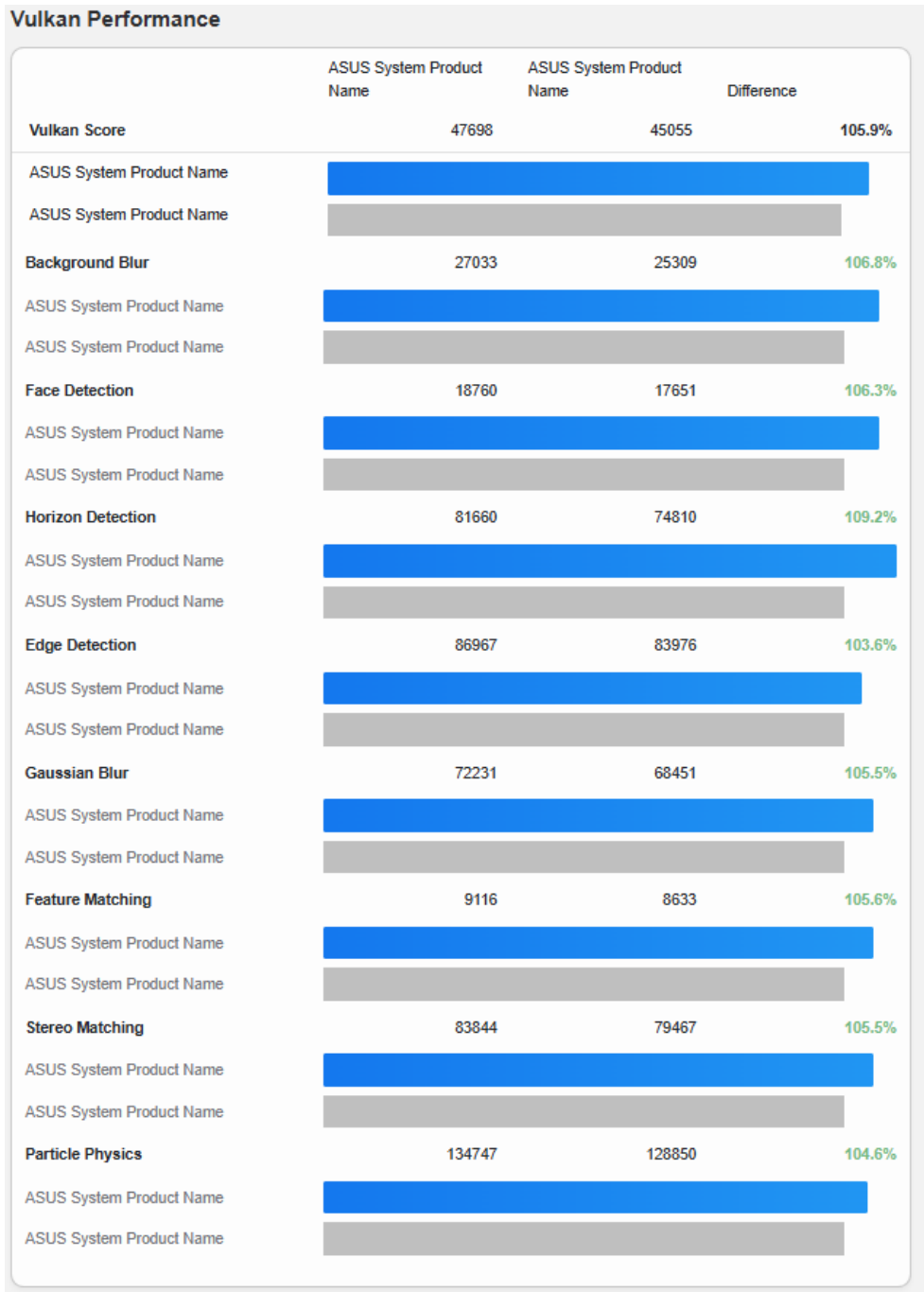


Рисунок 5.44 — Результат отриманий після розгону R9 390X

RX 580 2048SP, приріст від розгону 12.3%.

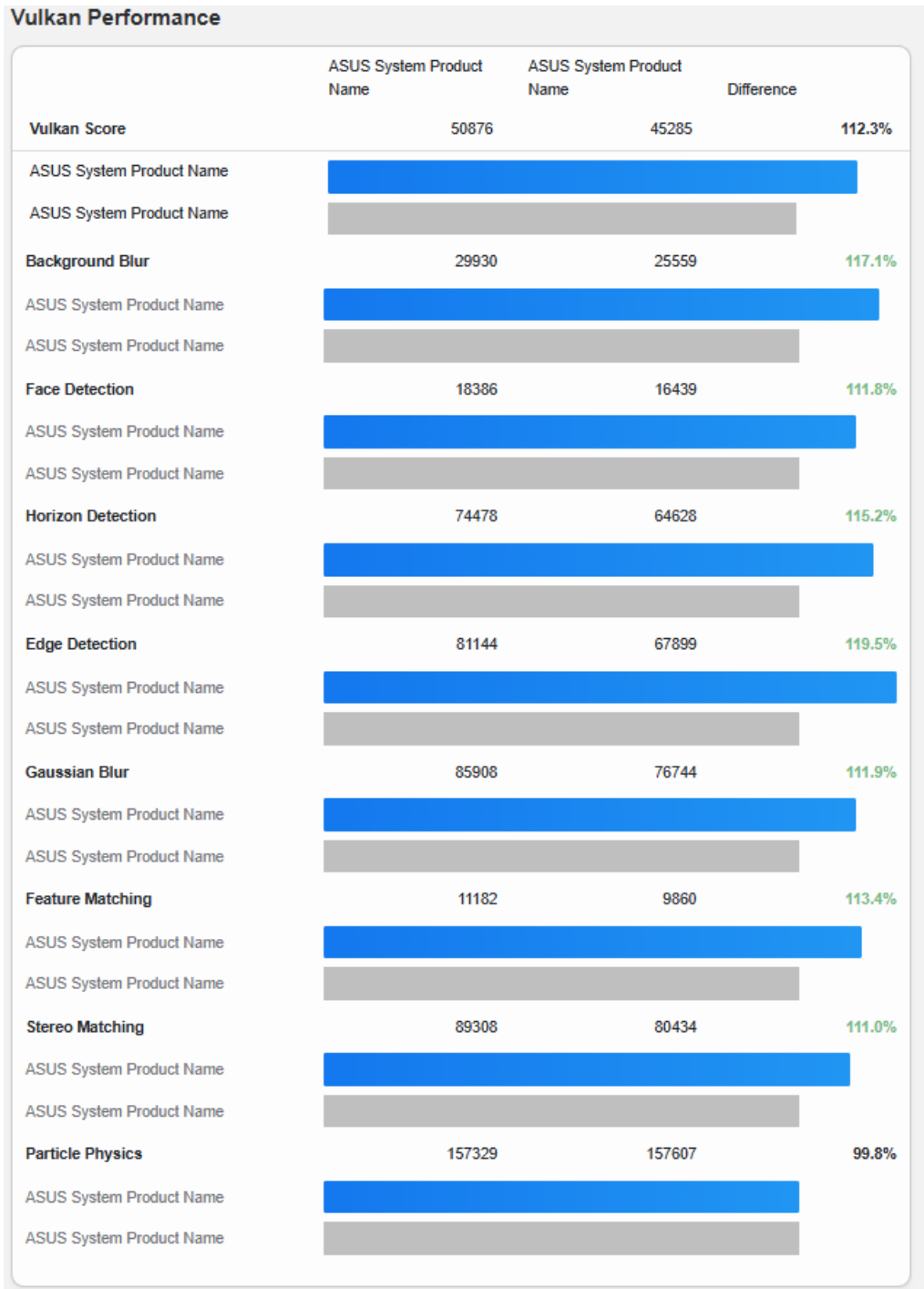


Рисунок 5.45 — Результат отриманий після розгону RX 580 2048SP

GTX 680 результат після розгону 13.2%.

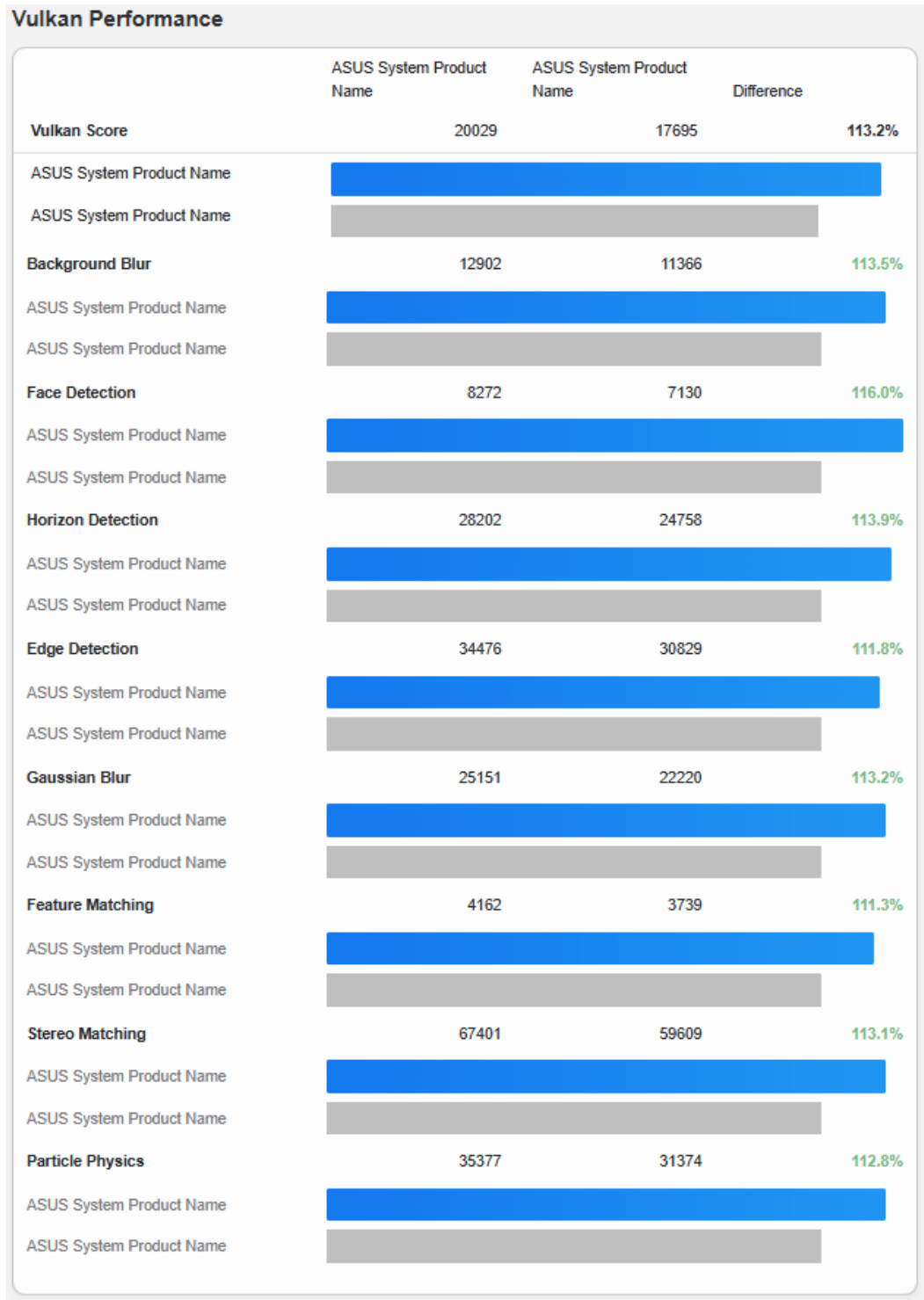


Рисунок 5.46 — Результат отриманий після розгону GTX 680

GTX 670 результат після розгону 5.7%.



Рисунок 5.47 — Результат отриманий після розгону GTX 670

GTX 750 результат після розгону 10.8%.

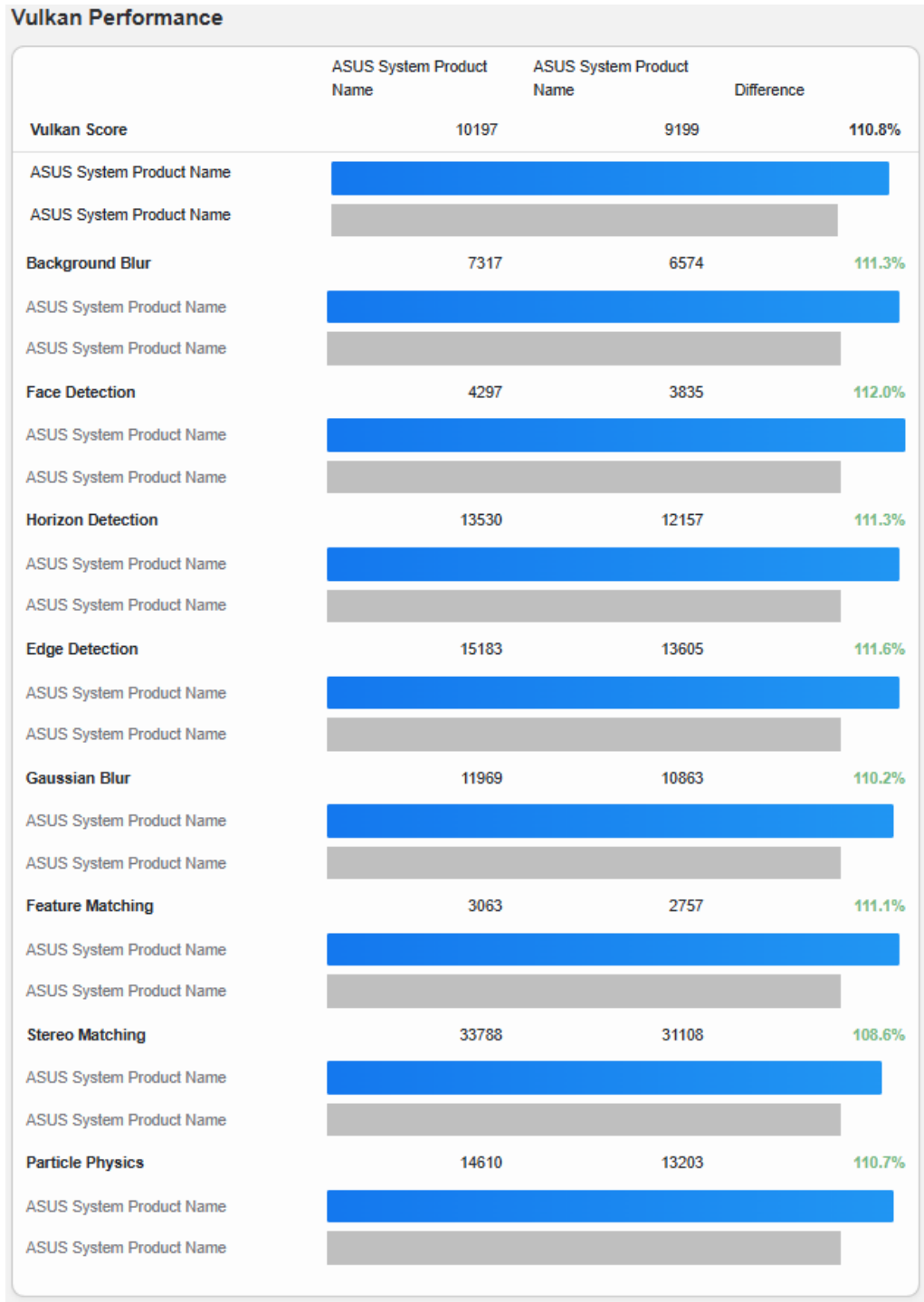


Рисунок 5.48 — Результат отриманий після розгону GTX 750

5.5 Проведення експериментів з процесорами у GeekBench6

Нарешті перейдемо після значного списку з відеокартами до процесорів. Не буду детально пояснювати чому тестувати їх важче, як і розганяти, але скажу що з цим мінімальним набором видно, що сучасні процесори мають менше розгон у порівнянні з більш старими.

Pentium Dual Core E2160 це бюджетний процесор, абсолютно середній і має всього 2 ядра, але зміг отримати 37.9% пришвидшення у одно поточному тесті та 36.8% у багато поточному після розгону, що є гарним результатом.

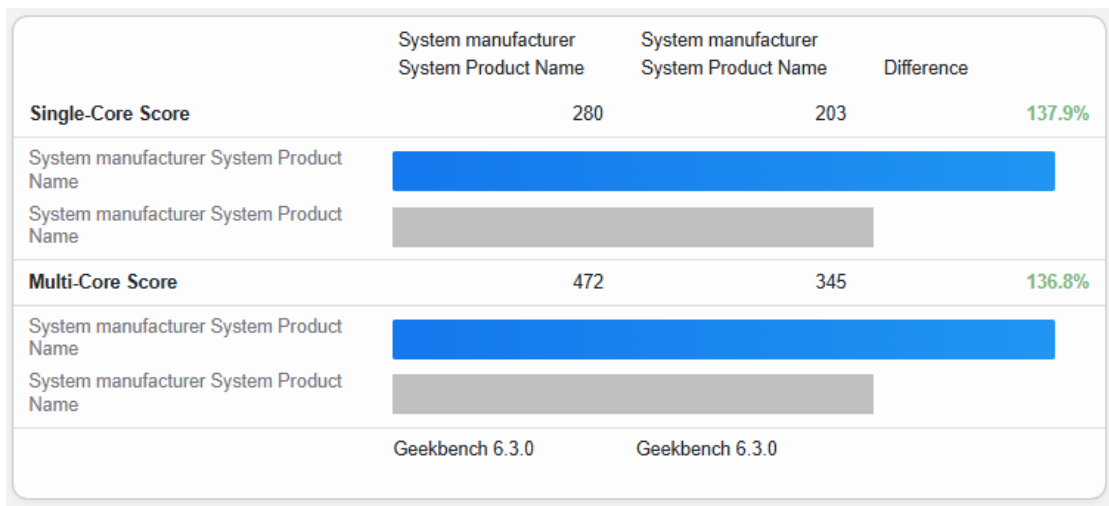


Рисунок 5.49 — Результат отриманий після розгону Pentium Dual Core E2160

Перейдемо до біль багато поточного Core 2 Quad Q6600 який вже має 4 ядра. Їх вже важче розганяти по старій методології статичної частоти. Отримуємо 20.6% приросту у одно поточному тестуванні та 19% у багато поточному тестуванні.

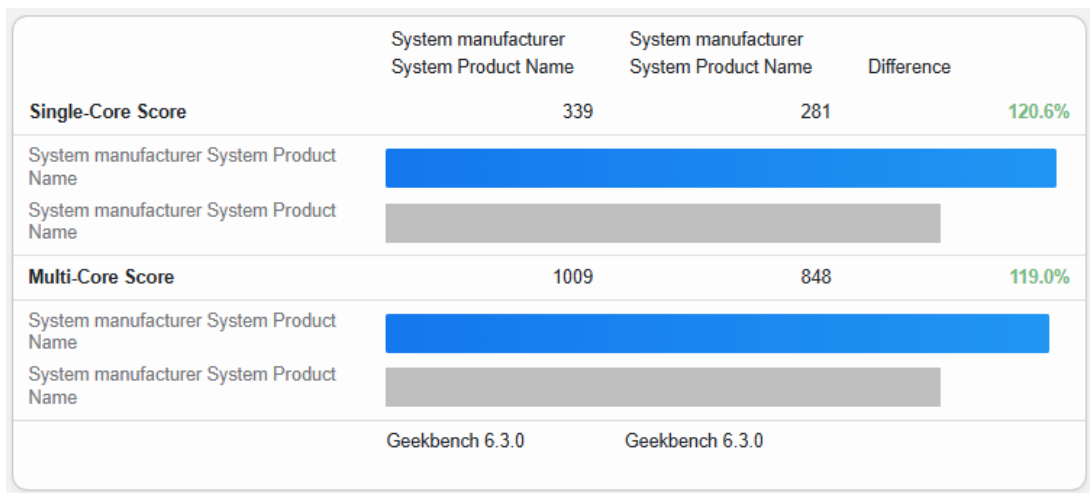


Рисунок 5.50 — Результат отриманий після розгону Core 2 Quad Q6600

Наступний, Pentium D 945, два ядра поєднаних чіпсетом, дуже нагадує Ryzen 9 у якому цей чіпсет вбудований поряд чиплетами ядер. Розгон дав нам приріст у 24.6% у одно поточному тестуванні та 24.9% у багато поточному тестуванні.

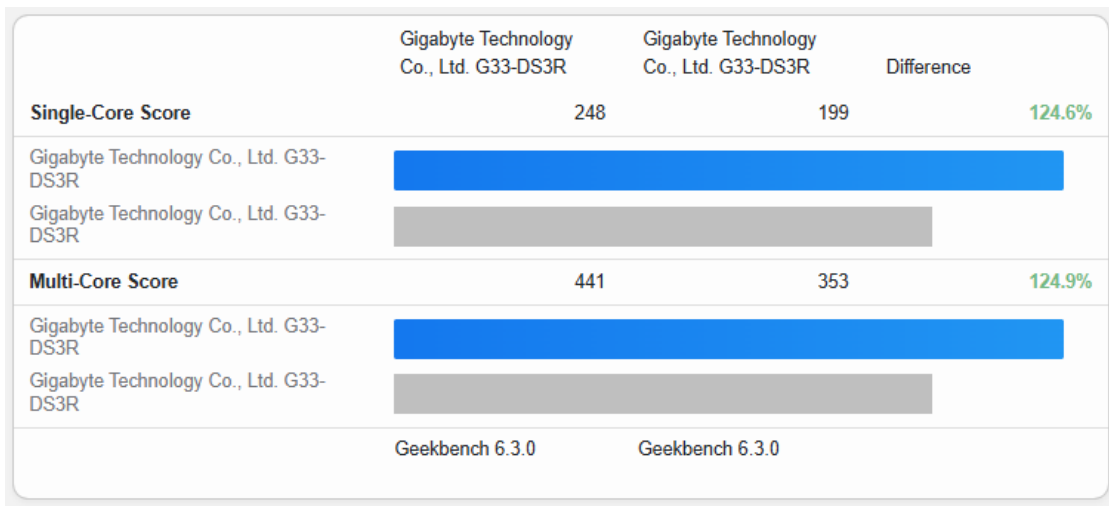


Рисунок 5.51 — Результат отриманий після розгону Pentium D 945

Наступний процесор це мій Ryzen 7 3800X, який я зараз використовую для написання цих слів. Він має 8 ядер та вже не може бути розігнаним за допомогою

старого методу статичних частот. Тому було використано PBO та undervolt для пришвидшення. Більше про це у моїй публікації.

Одно поточні тести був виконаний на 1.7% швидше, та багато поточні тести були виконані на 16.7% швидше.


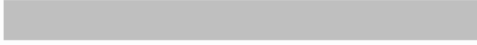


	ASUS System Product Name	ASUS System Product Name	Difference
Single-Core Score	1876	1844	101.7%
ASUS System Product Name			
ASUS System Product Name			
Multi-Core Score	10359	8879	116.7%
ASUS System Product Name			
ASUS System Product Name			
	Geekbench 6.3.0	Geekbench 6.3.0	

Рисунок 5.52 — Результат отриманий після розгону Ryzen 7 3800X

Наступний, Ryzen 5 5500, унікальний тим, що я мав усього день на те щоб отримати цей результат. І він не здивував мене. Одно поточні тести зайняли всього на 4.4% швидше, та багато поточні на 3.8% швидше. Можливо з більшим часом цей результат міг бути покращений, але я і так дав +200Mhz по ядрам через AutoOverclock Feature та CO -30 на всі ядра. Якщо це все, то це тільки означає гірше результат бо треба більше часу.

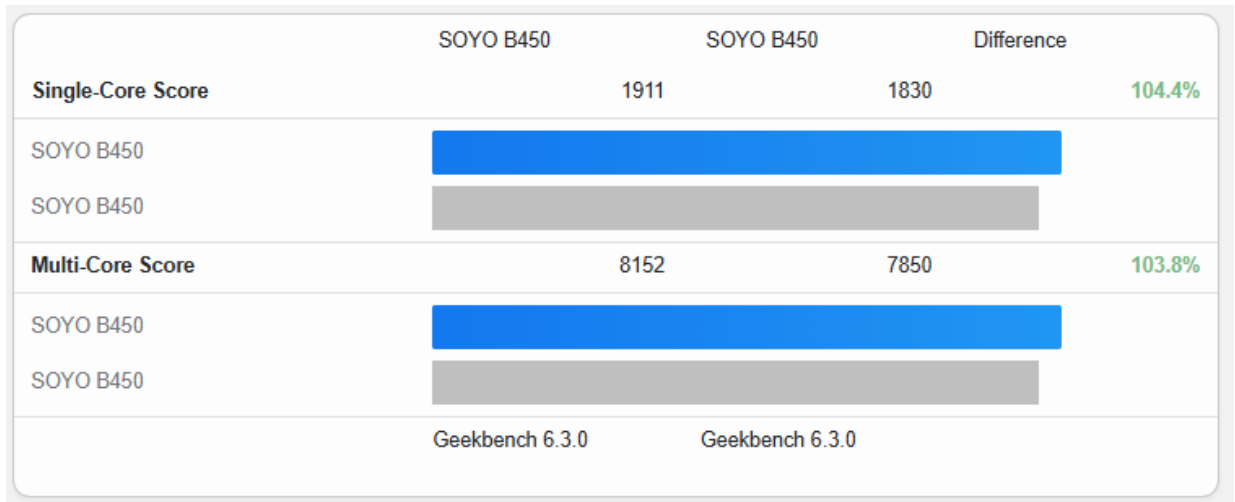


Рисунок 5.53 — Результат отриманий після розгону Ryzen 5 5500

5.6 Аналіз.

Безперечно розгон має позитивний вплив на продуктивність, навіть без додаткового енергоспоживання. Видно, що мінімальний розгон відеокарти приносить 5% продуктивності, та в середньому приносить 10% від додаткового енергоспоживання.

ВИСНОВКИ

У даній роботі проведено дослідження методів прискорення роботи процесорів та їх впливу на продуктивність і енергоефективність. В результаті виконано такі завдання як:

Проведено огляд літературних джерел, що висвітлюють сучасні методи розгону та оптимізації роботи процесорів.

Розроблено власну програму для автоматизованої перевірки стабільності процесорів після застосування різних методів прискорення.

Встановлено та описано основні впливи методів розгону (оверклокінгу) та оптимізації напруги (Undervolting) на продуктивність, температуру та енергоспоживання системи.

Виконано експериментальне дослідження, яке показало:

Розгін забезпечує підвищення продуктивності, але супроводжується збільшенням енергоспоживання та нагріванням.

Оптимізація напруги дозволяє знизити енергоспоживання, зберігаючи стабільність роботи процесора.

Розроблено рекомендації щодо вибору методів прискорення для різних сценаріїв використання процесорів.

Результати роботи можуть бути використані для подальших досліджень у сфері оптимізації енергоспоживання комп'ютерних систем, а також для практичного застосування в побудові високоефективних робочих станцій та серверів.

Завдяки виконаній роботі зроблено висновок, що збалансований підхід до прискорення процесорів дозволяє досягти оптимальних результатів як у продуктивності, так і в енергоефективності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Chen, T., Luo, Z., Yu, X., & Zhang, T. (2020). Dynamic Voltage Scaling for Performance Optimization in Multi-core Processors. *Journal of Computer Science and Technology*, 35(4), 847–860.
2. Patterson, D. A., & Hennessy, J. L. (2021). *Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface*. Morgan Kaufmann Publishers.
3. Науменко, І. В., & Кравченко, О. М. (2023). Методи енергоефективного оверклокінгу сучасних процесорів. *Наукові записки Національного університету радіоелектроніки*, 45(3), 123–128.
4. Koomey, J. G. (2021). *Turning Numbers into Knowledge: Mastering the Art of Problem Solving*. Analytics Press.
5. Байрак, І. М., & Колесніков, А. О. (2022). Моделювання впливу динамічного регулювання напруги живлення на стабільність роботи процесорів. *Журнал прикладної інформатики*, 34(2), 45–52.
6. Etemad, K., Niksefat, S., & Dehkordi, M. H. (2021). Impact of CPU Overclocking on Machine Learning Workloads. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6), 203–211.
7. CPU Frequency Submission 5173054, HWBOT. URL: https://hwbot.org/benchmarks/cinebench_-_r23_multi_core_with_benchmate/submissions/5173054. Accessed: 2025-03-22.
8. CPU Frequency Submission 5566629, HWBOT. URL: https://hwbot.org/benchmarks/geekbench6_-_multi_core/submissions/5566629. Accessed: 2025-03-22.
9. Mazurova, O., Naboka, A., & Shirokopetleva, M. (2021). Research of ACID Transaction Implementation Methods for Distributed Databases Using Replication Technology. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2(16), 45–57. <https://doi.org/10.30837/itssi.2021.16.019>.

10. Kuzochkina, A., Shirokopetleva, M., & Dudar, Z. (2018). Analyzing and Comparison of NoSQL DBMS. In 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) (pp. 452–457). IEEE. <https://doi.org/10.1109/infocommst.2018.8632133>.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ЗА НАУКОВИМИ НАПРЯМАМИ
КЕРІВНИКА ТА НАУКОВЦІВ КАФЕДРИ ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

9. Mazurova, O., Naboka, A., & Shirokopetleva, M. (2021). Research of ACID Transaction Implementation Methods for Distributed Databases Using Replication Technology. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2(16), 45–57. <https://doi.org/10.30837/itssi.2021.16.019>.

10. Kuzochkina, A., Shirokopetleva, M., & Dudar, Z. (2018). Analyzing and Comparison of NoSQL DBMS. In *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)* (pp. 452–457). IEEE. <https://doi.org/10.1109/infocommst.2018.8632133>.