

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»
Кафедра мультимедійних систем факультету інформатики

**РОЗРОБКА ГЕНЕРАТОРА КОЛІРНОЇ ПАЛІТРИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З
ВАДАМИ ЗОРУ**

**Текстова частина до кваліфікаційної роботи
за спеціальністю «Інженерія програмного забезпечення»**

Виконала студентка 4 курсу
БП «Інженерія програмного забезпечення»
Гуза М.-В. М.

Керівник курсової роботи
канд. фіз-мат. наук, доцент
Афонін А.О.

Київ – 2023

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ»
Кафедра мультимедійних систем факультету інформатики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри мультимедійних
систем, доцент, канд. ф.-м. наук

_____ О. П. Жежерун

« ____ » _____ 2023 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

студентки 4-го курсу, факультету інформатики,

Гузи Марії-Валерії Михайлівни

ТЕМА: Розробка генератора колірної палітри для людей з вадами зору

Зміст ТЧ до кваліфікаційної роботи:

Індивідуальне завдання

Календарний план

Зміст

Анотація

Перелік термінів та умовних позначень

Вступ

1. Дослідження предметної області

2. Представлення кольору та симуляція колірної сліпоты

3. Реалізація колірного генератора

Висновки

Список літератури

Додатки

Дата видачі « ____ » _____ 2023 р. Керівник _____

(підпис)

Завдання отримав _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Тема: Розробка генератора колірної палітри

Календарний план виконання роботи:

№ п/п	Назва етапу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапу	Примітка
1.	Отримання завдання на курсову роботу	1.06.2022	
2.	Початок дослідження предметної області	1.02.2023	
3.	Дослідження симуляції вад зору	1.03.2023 – 1.04.2023	
4.	Розробка практичної частини роботи	1.04.2023 – 15.04.2023	
5.	Написання текстової частини роботи	15.04.2023 – 8.05.2023	
6.	Створення презентації	8.05.2023 – 9.05.2023	
6.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	10.05.2023	
7.	Здача роботи для перевірки на плагіат	24.05.2023	
8.	Захист кваліфікаційної роботи	31.05.2023	

Студентка Гуза М.-В. Михайлівна

Керівник Афонін А.О.

«__» _____

ЗМІСТ

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	2
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	3
АНОТАЦІЯ	6
ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
Розділ 1. Дослідження предметної області.....	10
1.1 Актуальність впровадження кольорової доступності	10
1.2 Основи теорії кольору	11
1.2.1 Фізика та означення кольору	11
1.2.2 Колірний круг.....	14
1.2.3 Гармонійні сполучення кольорів	17
1.3 Дослідження вад зору.....	21
1.3.1 Сприйняття кольору людиною	21
1.3.2 Типи колірної сліпоти	22
1.4 Вплив вад зору на розробку доступного дизайну.....	26
1.5 Аналіз існуючих колірних генераторів.....	28
Розділ 2. Представлення кольору та симуляція колірної сліпоти.....	32
2.1 Цифрове представлення кольору.....	32
2.1.1 Колірна модель Манселла	33
2.1.2 RGB.....	34
2.1.3 CMYK.....	35
2.1.4 HSV/HSL	36
2.1.5 Колірний простір LMS.....	37
2.2 Математичні перетворення кольору	38
2.2.1 RGB в HEX та навпаки	38
2.2.2 RGB в HSL та навпаки.....	38
2.2.3 RGB в LMS та навпаки	41
2.3 Створення палітри за допомогою колірного круга	41
2.4 Імітація колірної сліпоти	44
2.5 Перевірка контрасту між кольорами.....	46
Розділ 3. Реалізація колірного генератора.....	49
3.1 Загальний опис застосунку.....	49
3.2 Опис обраних технологій	50

3.3 Реалізація основних функцій застосунку	50
3.4 Інтерфейс застосунку та інструкція з користування	52
Висновки	62
Список використаної літератури	64

АНОТАЦІЯ

У даній кваліфікаційній роботі передбачається розробка генератора колірної палітри для людей з певними вадами зору. За допомогою реалізованого вебзастосунку, користувач має змогу згенерувати випадкову палітру кольорів та перевірити колірну доступність обраної палітри, а саме перевірити контрастний коефіцієнт між кольорами палітри та ввімкнути симуляцію різних типів колірної сліпоти. Цей функціонал допоможе користувачу покращити доступність колірної палітри. Вебзастосунок написаний на Node.js з використанням React, Redux, Bootstrap 5.

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Доступний дизайн – це вид дизайну, при розробці якого враховуються потреби людей з обмеженими можливостями.

Колірний круг – це спосіб організації кольорів відповідно до їх розміщення у спектрі.

Колірна палітра – це гармонійно взаємопов’язані відтінки кольору.

Колірна сліпота – це спадкова або набута вада зору, яка полягає в нездатності розрізняти певні кольори в залежності від виду колірної сліпоти.

Колірна модель - це система вимірювання та представлення кольорів, які може сприймати людина та які утворюються за допомогою змішування різних властивостей основних кольорів.

ВСТУП

Колір має дуже важливе значення у всіх сферах життя людини – від одягу та декору до дизайну вебсайтів. Гармонійні колірні комбінації дозволяють привернути увагу клієнта, створити певний настрій та підсилити емоції. Однак, колір може стати значною проблемою для людей з різними вадами зору. Наприклад, людина не зможе прочитати потрібну інформацію або розрізнити важливий елемент в дизайні, що може призвести до неможливості зручного використання даного продукту.

Питання про впровадження доступного дизайну (accessible design) зараз дуже актуальне, тому що важливо забезпечувати зручним та комфортним сервісом всіх людей, незалежно від їх можливостей. Розробка доступного дизайну – це складний процес, який вимагає ретельного аналізу та розуміння потреб кінцевих користувачів, а також постійного тестування отриманого результату.

Створення колірної палітри з урахуванням особливостей людей з різними вадами зору є одним з необхідних заходів для підтримки доступності та запровадження рівноправного користування продуктом всіма людьми.

Мета дослідження: огляд рішень для забезпечення колірної доступності, розробка вебзастосунку з генерацією колірної палітри, перевіркою контрастного коефіцієнта між кольорами та симуляцією різних типів колірної сліпоти, що допоможе дизайнерам та розробникам створювати доступні колірні поєднання для будь-якої людини.

Завдання дослідження: дослідити способи гармонійного поєднання кольорів, дослідити та проаналізувати вимоги до створення дизайну з колірною доступністю, дослідити імітацію різних типів колірної сліпоти та реалізувати генератор колірної палітри з усім необхідним функціоналом для створення доступних колірних поєднань.

Об'єкт дослідження: забезпечення колірної доступності, симуляція кольорів для різних видів колірної сліпоти та впровадження симуляції в колірний генератор, створення генератора колірних поєднань.

Робота складається з трьох основних розділів – дослідження предметної області і необхідного функціоналу для забезпечення колірної доступності та реалізація вебзастосунку на основі отриманих даних.

Розділ 1. Дослідження предметної області

1.1 Актуальність впровадження кольорової доступності

Дизайн продукту відіграє одну з провідних ролей у залученні клієнтів. Найважливіше для будь-якого бренду – це справити гарне перше враження на користувача і саме дизайн може це забезпечити. Люди частіше звертають увагу на вигляд продукту, і обирають те, що, на їх думку, виглядає краще, особливо якщо функціональні властивості однакові. Ще за допомогою дизайну можна викликати певні емоції, донести важливу інформацію, створити потрібний настрій.

Для того, щоб задовольнити найбільшу кількість користувачів, перед розробкою інтерфейсу, необхідно подумати про забезпечення доступності або ж інклюзивності його дизайну. В сучасному світі питання про впровадження такого типу дизайну дуже актуальне, тому що саме він надає підтримку людям з обмеженими можливостями, тобто забезпечує рівність між усіма користувачами. Доступний дизайн дозволяє будь-якій людині легко сприймати, розуміти, орієнтуватись та взаємодіяти з продуктом.

Важливим елементом гарного дизайну є вибір відповідної колірної палітри, яка підсилить необхідні емоції та враження від продукту. Можна навіть зустріти такий вислів – «Колір – це мова дизайнера», тому що у дизайнера майже немає інших способів передачі інформації. Наприклад, помаранчевий колір може означати щастя та енергію, а зелені та блакитні кольори можуть викликати спокій або заспокоєння. Саме тому необхідно приділити значну увагу до вибору правильних кольорів, які будуть гармонійно виглядати разом і створювати потрібні емоції. А для забезпечення доступності дизайну потрібно обрати не тільки правильну палітру, але й передбачити її колірну доступність (color accessibility).

За статистикою приблизно 8-10% чоловіків та 1% жінок страждають на колірну сліпоту [1]. Такі люди мають проблему з розрізненням певних

кольорів або можуть зовсім не бачити їх, що може призвести до труднощів у сприйманні продукту. Наприклад, якщо обрати неправильні кольори для тексту та фону, людина з вадами зору може взагалі не побачити текст; або ж якщо дизайн повністю покладається на колір для передачі певних емоцій, то людина з колірною сліпотою просто не зрозуміє подібний дизайн, бо вона буде бачити неправильний колір.

Впровадження колірної доступності є необхідним заходом для розробки зрозумілого та зручного дизайну не тільки для людей з вадами зору, але й для всіх інших, тому що забезпечує вибір контрастних та гармонійних кольорів, які будуть мати гарний вигляд разом.

1.2 Основи теорії кольору

1.2.1 Фізика та означення кольору

Зрозуміти колір та його фізику намагались ще з давніх часів. Питання кольору досліджували різні античні вчені, такі як Птолемей та Аристотель, їх справу продовжували в середньовіччі, а найбільші внески в дослідження кольору були зроблені Ісааком Ньютоном, Томасом Юнгом, Йоганном Гете та іншими.

У 1704 році Ісаак Ньютон вперше опублікував книгу під назвою «Оптика», в якій повністю переосмислив загальноприйняті факти про колір. Вчений провів експеримент з сонячним світлом. За допомогою трикутної скляної призми вчений розклав промінь сонячного світла на спектр кольорів: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, синій та фіолетовий. Сонячне проміння падало через вузьку щілину, проходило через скляну призму і після цього відображалось на екрані у вигляді спектра кольорів. Якщо спробувати зібрати зображення з отриманим спектром за допомогою збіжної лінзи, то знову отримаємо звичайне біле світло. Тобто для того, щоб отримати чистий білий колір необхідно об'єднати всі кольори зі спектра. Саме в цьому полягало найбільше відкриття Ньютона. Отриманий спектр кольорів Ньютон

вирішив замкнути в коло і додав 7 колір між фіолетовим та червоним – пурпурний, поза спектральний колір. Саме Ньютон започаткував традицію використовувати коло для зображення кольорів та зв'язків між ними.

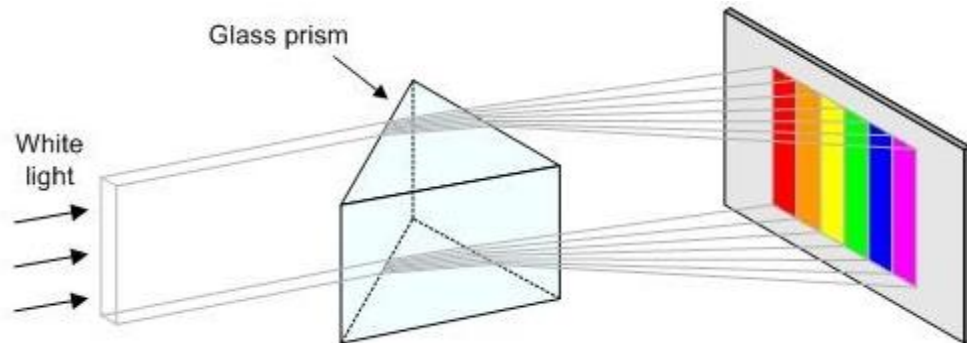


Рисунок 1-1 Експеримент Ньютона

Колір – це досить складне явище, яке залежить від світлової хвилі та людського ока, яке розрізняє ці хвилі в залежності від їх довжин. Тобто, колір можна розглядати як асоціацію або відчуття, яке виникає в мозку людини, коли світлова хвиля впливає на рецептори в людському оці. Сама ж світлова хвиля не має забарвлення, тільки довжину, від якої залежить те, як людина її побачить. Відповідно, кожна людина може бачити один і той самий колір по-різному, тому що її сприйняття будь-якого кольору буде залежати від її фізіологічного та психічного стану. Розпізнавання кольору людиною досить складний процес, який майже неможливо спрогнозувати.

Людське око сприймає світлові хвилі завдовжки від 400 до 700 нанометрів. Від довжини хвилі залежить який колір побачить людина. Червоний колір має довжину хвилі 650-800 нм, помаранчевий – 590-640 нм, жовтий – 550-580 нм, зелений – 490-530 нм, синій – 460-480 нм, індиго – 440-450 нм, фіолетовий – 390-430 нм [2].

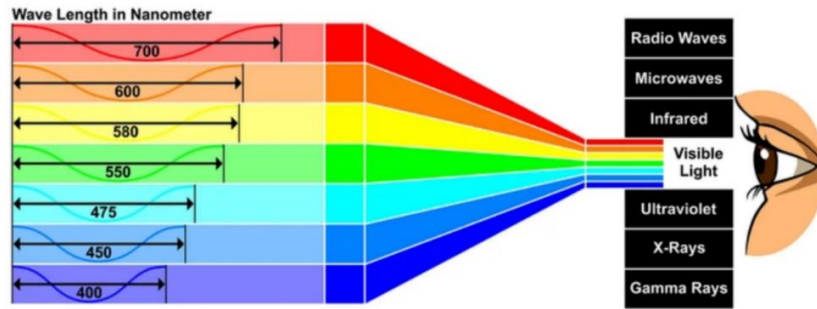


Рисунок 1-2 Довжина світлових хвиль та їх колір

Предмети самі по собі також не мають властивості кольору. Коли ми кажемо, що трава зелена, це означає, що трава поглинає всі світлові хвилі окрім зеленої. Зеленому світлову хвилю вона відбиває. Саме тому ми й сприймаємо траву такого кольору. Відповідно, предмети отримують забарвлення тільки при потраплянні світлових хвиль на них. В темному приміщенні колір предмета роздивитись неможливо, бо майже нема світла, яке буде відбиватись від його поверхні.

В природі існують два типи кольорів:

- Хроматичні (кольорові)
- Ахроматичні (безколірні)

Ахроматичні кольори – це діапазон кольорів від білого до чорного. Сюди також відносяться всі відтінки сірого кольору. Хроматичні кольори – це всі інші кольори: яскраві та забарвлені, з яких складається колірний круг.

Ахроматичні кольори мають тільки одну властивість – яскравість, тобто кількість світлових променів, які можуть відбиватися від поверхні. Якщо відбиваються більша кількість променів, то ця поверхня виглядає світлішою, якщо менше, то темнішою.

Хроматичні кольори складаються не тільки з яскравості, але й з тону (подібність до кольору зі спектра) та насиченості (відмінність хроматичного кольору від ахроматичного з такою ж самою яскравістю). Саме на цих властивостях будується представлення кольорів у вебпросторі.

Колір – це дуже складне явище, яке досліджується з давніх-давен. Те, як людина бачить колір предмета залежить від її рецепторів в оці та довжини світлового променя, який відбивається від поверхні предмета. Розуміння базових принципів кольору та його властивостей допоможе розібратись в його представленні під час розробки програм та зрозуміти принципи гармонійного поєднання кольорів, що необхідно для створення гарного дизайну.

1.2.2 Колірний круг

Колірний круг – це спосіб організації кольорів відповідно до їх розміщення у спектрі. Існують різні види кругів, але всі вони широко використовуються в розробці дизайну для пошуку гармонійних кольорів. Колірне коло буде завжди мати в основі 3 кольори, які зустрічаються в природі і які не можна отримати в результаті змішування інших кольорів.

Першим, хто представив кольори у вигляді круга був Ісаак Ньютон. Після того, як він розклав світловий промінь на спектр кольорів, він вирішив замкнути цей спектр в коло. Ньютон вирішив використати саме коло, бо за його допомогою можна було передбачити результат при змішуванні двох кольорів, які розміщуються поряд. Цікаво, що свій колірний круг Ньютон будував за аналогом музичної октави, тому відстань між кольорами асиметрична.

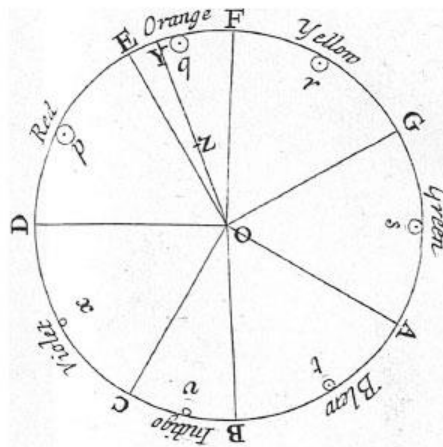


Рисунок 1-3 Колірний круг Ісаака Ньютона

Далі осмисленням колірнього кола займався вчений Йоганн Гете у своїй праці «Теорія кольору», яка вийшла у 1810 році. У ній він пише про природу кольору та його сприйняття. Саме Гете створює колірний круг з шести кольорів, де зображені три основних кольори – червоний, жовтий та синій (Гетте вірив, що саме з цих трьох кольорів можна утворити всі інші) та три додаткові кольори, які отримуються під час змішання основних – помаранчевий, зелений та фіолетовий.

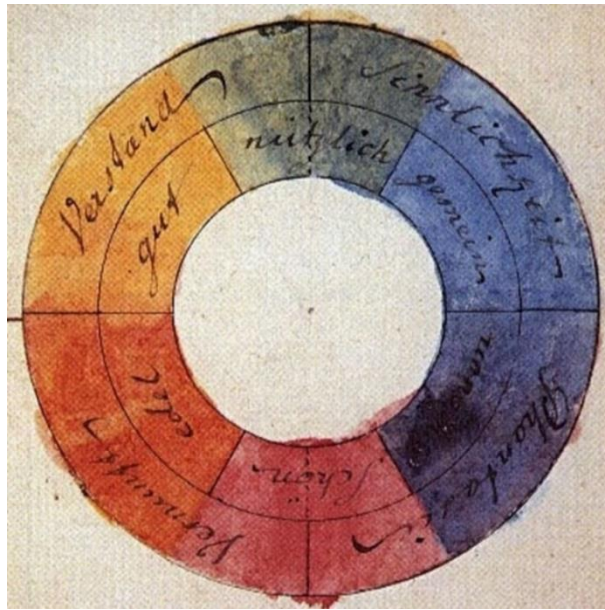


Рисунок 1-3 Колірний круг Йоганна Гете

На розвиток колірнього круга вплинув Тобіас Маєр, який вперше почав розглядати колір в тривимірному просторі і створив колірний трикутник. Він пофарбував кути трикутника трьома основними кольорами – червоним, жовтим та синім і почав з'єднувати кути, змішавши протилежні кольори. Далі він створив декілька варіацій цього трикутника з різною яскравістю за допомогою чого він зміг отримати тривимірну модель кольору. Але його модель не точно передає перехід між яскравістю кольору.

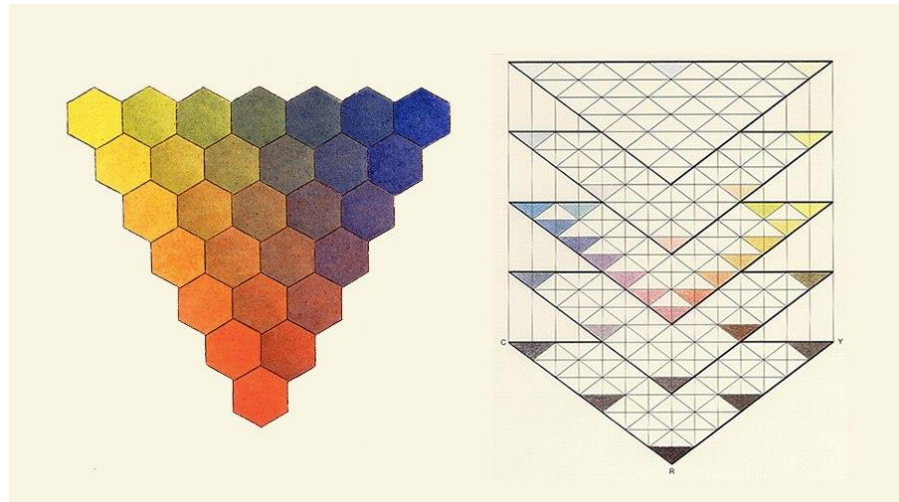


Рисунок 1-4 Трикутник Тобіаса Маєра

Подібний до Маєра підхід для створення своєї колірної сфери використовував художник Отто Рунге. Він намалював сферу з білим та чорним полюсами й смугами з кольорами між ними. Він додавав насиченість кольорам, створюючи певний перехід від білого полюса до чорного.

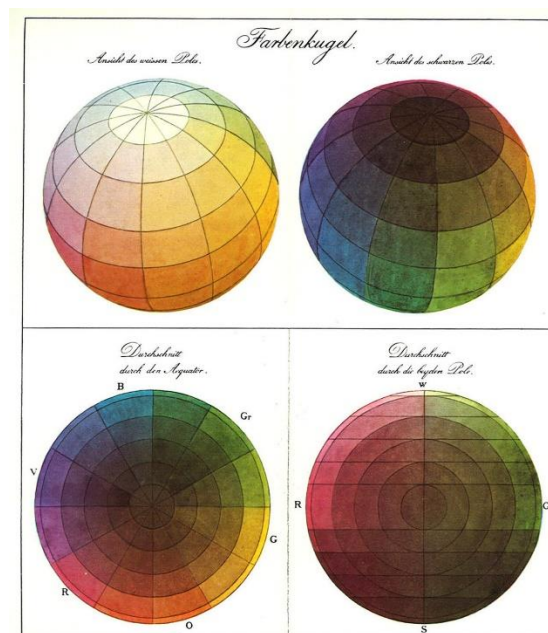


Рисунок 1-5 Сфера Отто Рунге

Зараз найбільш розповсюдженим є колірний круг Йоганнеса Іттена. Іттен – це швейцарський художник та теоретик в галузі мистецтва, найбільш знаменитий завдяки своїм дослідженням теорії кольору.

Колірний круг Іттена складається з 12 кольорів, які поділяються на три групи: основні, вторинні та третинні кольори. В центрі круга знаходяться три основні кольори – жовтий, синій та червоний. Далі йдуть вторинні, які є результатом змішування основних кольорів. А третинні відповідно є результатом змішування основних та вторинних кольорів.



Рисунок 1-6 Колірний круг Йоганнеса Іттена

Знання та використання колірної палітри дуже важливі під час вибору колірної палітри для дизайну або ж для живопису. За допомогою колірної палітри можна зрозуміти взаємозв'язок між кольорами, що є необхідним для обрання гармонійних відтінків, які будуть добре поєднуватись між собою.

1.2.3 Гармонійні сполучення кольорів

Найбільш важливим аспектом створення привабливого дизайну – є використання гармонійних кольорів, комбінація яких буде візуально гарною для людського ока. Усі дизайнери прагнуть обрати найбільш вдалу палітру з метою покращення вигляду продукту, забезпечення його цілісності та збалансованості, а також, щоб викликати правильні емоції у користувача. Нестача гармонійності в колірній палітрі може призвести до нудного та хаотичного дизайну.

У своїх дослідженнях про колір, а саме у праці «Мистецтво кольору» Йоганнес Іттен стверджує: «Два чи більше кольорів взаємно гармонійні, якщо

їх суміш дає нейтральний сірий колір» [2]. Він базує свою теорію на дослідженнях німецького фізіолога Евальда Герінга про те, що людське око не знаходить гармонії без сірого кольору. Саме нейтральний сірий колір забезпечує, що затрата зусилля на зорове сприйняття буде рівнятися відновленню після цього зусилля. Якщо сірий колір відсутній, то наш мозок незадоволений. Іттен наводить приклад експерименту, який може це підтвердити, а саме – якщо людина довго дивиться на білий квадрат на чорному фоні, а потім відводить погляд, то його післяобразом буде чорний квадрат, тому що суміш білого та чорного дає необхідний сірий колір. Таким чином око намагається врівноважити отриману напругу через відсутність колірної гармонії.

Гармонійні кольори найчастіше визначаються за допомогою колірного круга. Є декілька різних способів створення колірної палітри за його допомогою. Йоганнес Іттен виділяє такі способи поєднання кольорів на його колірному крузі:

- Комплементарні кольори (complementary) – два кольори, які знаходяться навпроти одне одного. Наприклад, жовтий та фіолетовий. Вони створюють досить контрастні поєднання, які гарно виглядають разом. Ці кольори підсилюють одне одного і їх використовують для привернення уваги.

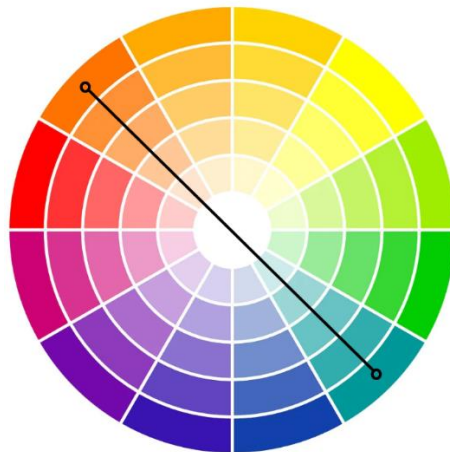


Рисунок 1-7 Комплементарні кольори

- Тріадне поєднання кольорів (triad) – кольори, які знаходяться на кінцях рівнобедреного або рівностороннього трикутника. Цей тип палітр забезпечує збалансоване поєднання кольорів

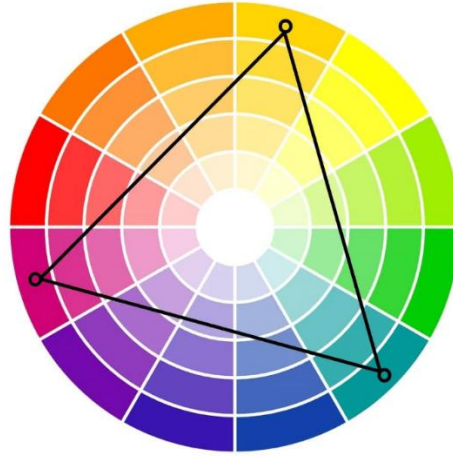


Рисунок 1-8 Тріадні кольори

- Тетрадічне поєднання кольорів (tetraid) – кольори, які знаходяться на кінцях квадрата або ж прямокутника. Точніше, це поєднання двох пар комплементарних кольорів, які забезпечать більш кольоровий дизайн.

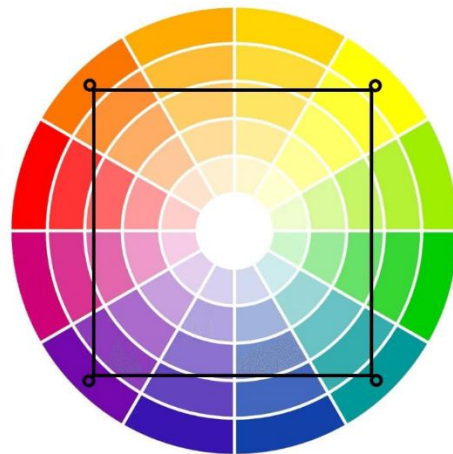


Рисунок 1-9 Тетраїдні кольори

Саме такі поєднання кольорів під час змішування дають сірий колір, що призводить до їх гармонійного вигляду поруч.

Також для створення колірних палітр використовують монохромне та аналогічне поєднання кольорів. Монохромне поєднання – це використання

одного основного кольору, а всі інші створюються за допомогою зміни насиченості початкового відтінку. Такий спосіб поєднання кольорів дуже гармонійно виглядає, якщо обрати правильну різницю насиченості між ними. Аналогічне поєднання кольорів – це вибір трьох кольорів, які знаходяться поруч на колірному крузі. Наприклад, темно-синій, синій та голубий. Такі типи колірних палітр використовуються, коли в дизайні не потрібен контраст для привертання уваги до окремих елементів.

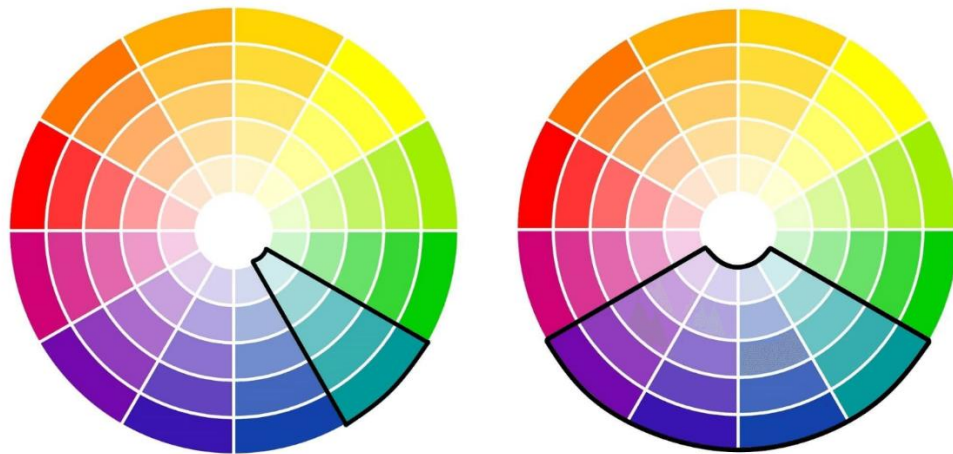


Рисунок 1-10 Монохромне та аналогічне поєднання кольорів

Звісно, поняття гармонійності кольорів доволі суб'єктивне, тому що одна колірна палітра може працювати для однієї людини і повністю не задовольняти іншу. Колірна гармонія базується на виборі кольорів, які повинні гарно поєднуватись між собою і не забезпечує їх однакове сприйняття кожною людиною.

Отже, для того, щоб створити гармонійну колірну палітру можна використовувати підхід Іттена, який базується на виборі певних поєднань кольорів з його колірного круга. Або використовувати монохромне та аналогічне поєднання кольорів, якщо для дизайну не потрібні контрастні елементи.

1.3 Дослідження вад зору

1.3.1 Сприйняття кольору людиною

Людина може розрізняти безліч різних відтінків, але кожен колір вона буде сприймати індивідуально. Тобто один і той же колір кожна людина може бачити по різному. Все ще достовірно невідомо як саме світлова хвиля перетворюється на певний колір в мозку, тому існує багато різних теорій з приводу цього. Найбільш фундаментальною теорією про сприйняття кольору людиною є трихроматична, або теорія Юнга-Гельмгольца.

Після того, як світлова хвиля відбивається від предмета, вона проходить через людське око. Частина ока, яка називається сітківкою, містить спеціальні клітини – конуси або ж колбочки (cones), які відповідають за сприйняття світлової хвилі. Існує три типи конусів і кожен з них має максимальну чутливість до різних інтервалів довжини світлової хвилі. Саме вони забезпечують можливість сприймати різні кольори.

Трихроматична теорія базується на тому, що всі кольори можуть бути отримані за допомогою трьох основних – червоного, зеленого та синього. Відповідно кожен тип конусів сприймає один з цих кольорів. Типи конусів називаються згідно з довжиною хвилі, яку вони можуть сприймати:

- S-конус – відповідає за розпізнання короткої хвилі та синього кольору і його відтінків.
- M-конус – відповідає за розпізнання середньої хвилі та зеленого кольору і його відтінків.
- L-конус – відповідає за розпізнання довгої хвилі та червоного кольору і його відтінків.

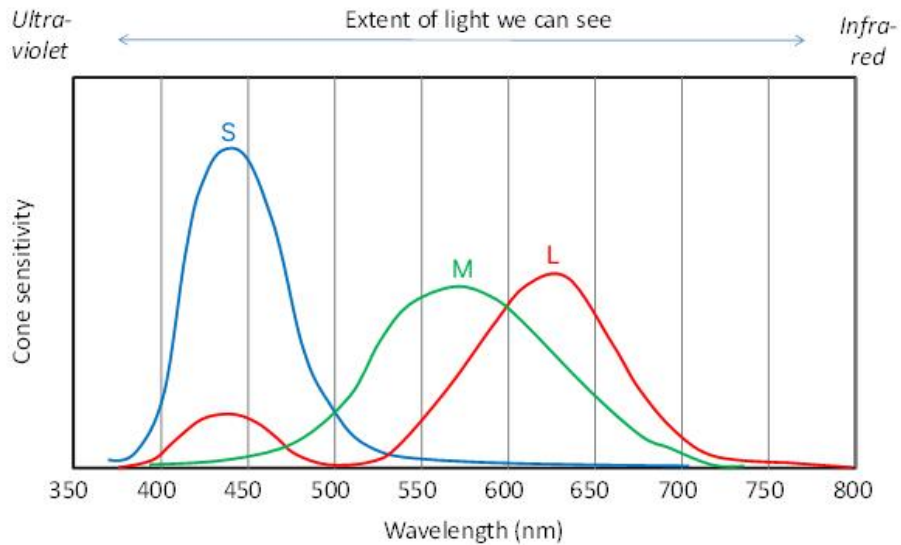


Рисунок 1-11 Хвилі та типи конусів, які відповідають за них

Сприйняття інших кольорів виникає через різну стимуляцію кожного типу конуса. Таким чином, вони забезпечують можливість розрізняти весь спектр кольорів, які створює світлова хвиля.

Розглянемо процес сприйняття зеленого кольору. Спочатку світлова хвиля з довжиною, яка відповідає зеленому кольору потрапляє на сітківку ока. М-конуси відповідають за зелений колір і це означає, що світлова хвиля викличе сильно реакцію М-конусів і слабку реакцію у двох інших типах конусів. Ця реакція буде надіслана в мозок як нервовий сигнал і викличе у людини певні асоціації для зеленого кольору. В залежності від сили стимуляції кожного з конусів, мозок інтерпретує різні кольори.

Отже, основна теорія колірного сприйняття базується на трьох типах конусів в сітківці ока, які розрізняють різні довжини світлової хвилі і забезпечують сприйняття основних кольорів – червоного, зеленого та синього.

1.3.2 Типи колірної сліпоти

Існує багато різних вад зору у людини, які впливають на її сприйняття кольорів. Колірна сліпота – доволі розповсюджене захворювання при якому людина не бачить кольори такими, якими вони є насправді. Це відбувається,

коли конуси в сітківці ока працюють неправильно. Колірна сліпота зазвичай не означає, що людина не бачить кольори взагалі. Більшість людей з цією вадою зору бачать повний спектр кольорів, але певні відтінки вони бачать не такими як інші. Деякі дуже рідкісні типи колірної сліпоти призводять до повної неспроможності бачити кольори.

Приблизно кожен дванадцятий чоловік має колірну сліпоту [1]. Найчастіше це захворювання успадковується від батьків, але також воно може з'явитись через різні хвороби або інші причини.

Існує декілька типів колірної сліпоти. Вони залежать від того, які типи конусів працюють неправильно.

Найчастіше зустрічається дихроматія – це відсутність одного з трьох типів конусів. Найрідше – монохроматія. Під час цього захворювання людина не здатна розрізняти кольори взагалі, тому що два, інколи навіть три типи конусів відсутні або пошкоджені.



Рисунок 1-12 Порівняння сприйняття кольорів при нормальному зору та з монохроматією

Розрізняють такі види дихроматії:

- Протанопія – відсутність L-конусів, які відповідають за червоний колір. Людина з протанопією не розрізняє червоний колір, замість нього вона може бачити сині або жовті відтінки.

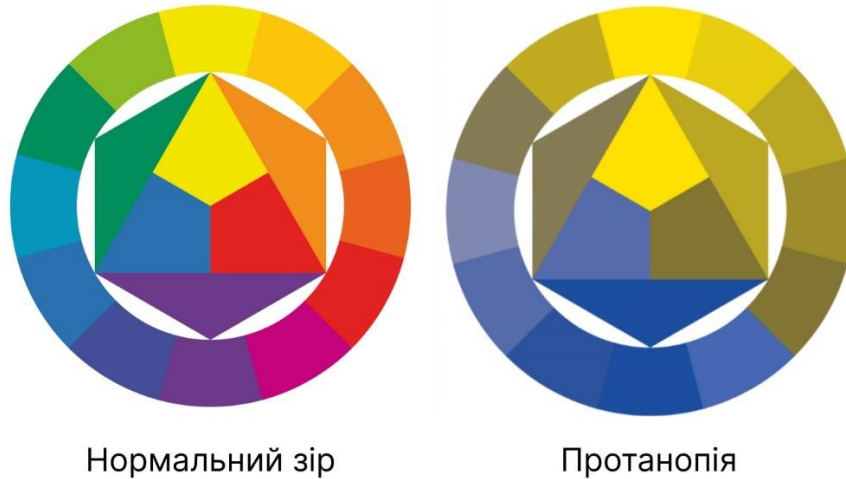


Рисунок 1-13 Порівняння сприйняття кольорів при нормальному зору та з протанопією

- Дейтеранопія – відсутність M-конусів, які відповідають за зелений колір. Люди з такою вадою також замість зеленого бачать майже жовті або сині кольори.



Рисунок 1-14 Порівняння сприйняття кольорів при нормальному зору та з дейтеранопією

- Тританопія – відсутність S-конусів, які відповідають за синій колір. Зустрічається досить рідко. Люди з тританопією бачать в основному червоні та зелені кольори.

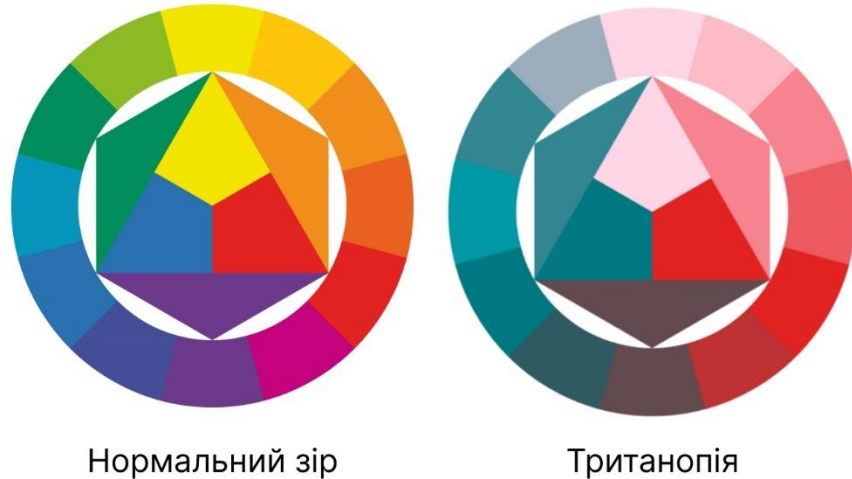


Рисунок 1-15 Порівняння сприйняття кольорів при нормальному зору та з тританопією

Зустрічається також аномальний трихроматизм – присутні всі типи конусів, але деякі з них недостатньо чутливі до світлових хвиль певних довжин. Як результат, людині складно розрізняти ті кольори, за які відповідають пошкоджені конуси.

Існують такі види аномального трихроматизму:

- Протаномалія – присутні всі типи конусів, але L-конуси менш чутливі до червоного кольору ніж вони повинні бути.
- Дейтераномалія – також присутні всі типи конусів, але M-конуси менш чутливі, відповідно людина погано розрізняє зелені кольори.
- Тританомалія – присутні всі типи конусів, але S-конуси менш чутливі до синього кольору.

Якщо людське око не має хоча б одного типу конусів – це призводить до появи колірної сліпоти, тобто така людина не зможе сприймати світлові хвилі з певною довжиною і розрізняти колір, за який відповідає ця хвиля.

Людина з колірною сліпотою може стикатись з труднощами під час розрізнення деяких кольорів. Наприклад, буде складно розрізняти кольори на світлофорі, або ж прочитати текст. Але найчастіше такі люди навіть не розуміють, що мають якісь вади, тому що вони завжди бачили кольори певним чином і не знають як вони мають виглядати насправді.

1.4 Вплив вад зору на розробку доступного дизайну

Неможливість розрізняти деякі кольори може значно вплинути на кінцевий вигляд дизайну. Людина з вадами зору може не побачити текст на кнопці, не розрізнити елементи дизайну, не зрозуміти емоції, які повинен викликати дизайн тільки через те, що така людина бачить кольори інакше. Тому дуже важливо під час розробки доступного дизайну, слідувати рекомендаціям, які прописані в стандарті WCAG 2.1.

WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) - це єдиний стандарт з рекомендаціями по розробці доступного дизайну для людей з обмеженими можливостями, який створений W3C (World Wide Web Consortium), головною організацією з розробки стандартів для Інтернету. Метою WCAG – є створення адаптивного дизайну, яким зможе користуватись більша кількість людей, в тому числі люди з різними вадами, такими як проблеми з зором, слухом тощо. WCAG містить рекомендації щодо розробки вебсайтів з урахуванням потреб людей з обмеженими можливостями. Також дотримання цих рекомендацій покращить досвід користуванням сайтом і для людей без порушень. Перша версія цього стандарту була випущена в 1999 році, а остання актуальна версія 2.1 вийшла у 2018 році.

В цьому стандарті можна знайти необхідні рекомендації для створення доступного дизайну для людей з вадами зору, а особливо колірною сліпотою:

- Не використовувати колір як єдиний візуальний засіб передачі інформації, позначення певної дії, спонукання до відповіді та виділення візуального елемента.

- При використанні двох кольорів (один з яких буде кольором для фонові частини, а інший буде кольором елементу або тексту на цьому фоні) перевірити, що контраст між цими кольорами дорівнює не менше ніж 4.5 : 1. Для тексту великого розміру (24 px або 19px bold) контраст може дорівнювати 3 : 1. Формули за якими вираховують контраст можна знайти в рекомендаціях WCAG, а також існують вебзастосунки та інструменти, де можна швидко перевірити контраст за HEX номерами кольорів.

Важливо зазначити, що багато вебсайтів не відповідають основним вимогам по доступності, які рекомендує WCAG стандарт. WebAIM, некомерційна організація, яка надає рішення для забезпечення доступності у вебзастосунках, провела дослідження під час якого було протестовано близько 1 мільйона сторінок на їх рівень доступності [5]. Результат цього дослідження є дійсно вражаючим, бо майже 90% сторінок не відповідали рекомендаціям зі стандарту WCAG. А найбільш розповсюдженою помилкою було саме використання низькоконтрастних кольорів для тексту та фону. Тобто єдина вимога, яка забезпечує 100% розрізнення двох кольорів, майже не виконується під час розробки дизайну сайтів. Тому створення різних рекомендацій та застосунків для покращення доступності є дійсно необхідним, бо ще не всі почали впроваджувати подібну практику в свої дизайни.

На жаль, повністю передбачити, яким чином людина з колірною сліпотою побачить кольори, використані в дизайні, неможливо, тому що їх сприйняття залежить від різних фізіологічних факторів. Тобто не існує такої універсальної кольорової палітри, яку однаково буде бачити будь-яка людина, але якщо дотримуватись розробленим рекомендаціям для створення палітри, то можна запобігти виникнення проблем пов'язаних з неможливістю сприймати контент через неправильно підібраний спектр кольорів.

Загалом WCAG містить багато різних рекомендацій, таких як використовувати аудіо супровід для текстових частин, прописувати альтернативний текст для всього нетекстового контенту, додати можливість користуватися вебсайтом за допомогою клавіатури, впровадити збільшення тексту, не псуючи вигляд сайту тощо. Даний стандарт складається з чотирьох основних пунктів:

- Сприймання – інформація та елементи користувацького інтерфейсу мають бути представлені у вигляді, який користувач зможе сприймати.
- Керованість – компонентами користувацького інтерфейсу можна зручно управляти різними способами, наприклад за допомогою клавіатури.
- Зрозумілість – контент та способи взаємодії з інтерфейсом повинні бути зрозумілими.
- Надійність – вебзастосунок має бути достатньо надійним для його інтерпретації різними девайсами та технологіями.

Однак необхідно розуміти, що неможливо впровадити всі рекомендації у свій застосунок та зробити його доступним для всіх, але завжди можна забезпечити його зручність для ширшого кола користувачів.

Отже, для забезпечення доступного дизайну людям з колірною сліпотою потрібно правильно підібрати кольори, які дають достатній контраст для того, щоб їх легко можна було розрізнити будь-якій людині, а також не покладатися тільки на кольори, якщо треба донести важливу інформацію.

1.5 Аналіз існуючих колірних генераторів

Існує безліч різних колірних генераторів, якими може користуватись розробник для створення власної колірної палітри, але не всі з них підтримують колірну доступність. Тобто не в кожному можна перевірити,

яким чином обрана колірна палітра буде виглядати для різних типів колірної сліпоти, не завжди можна перевірити рівень контрасту між кольорами і не кожен генератор колірної палітри дозволяє змінити тип генерації колірної палітри.

Найбільш популярним є колірний генератор Coolors.co. Він має майже увесь необхідний функціонал, але більшість можливостей доступна тільки у платній версії даного сайту. Також інколи буває незручно користуватись цим генератором через банери з рекламою.

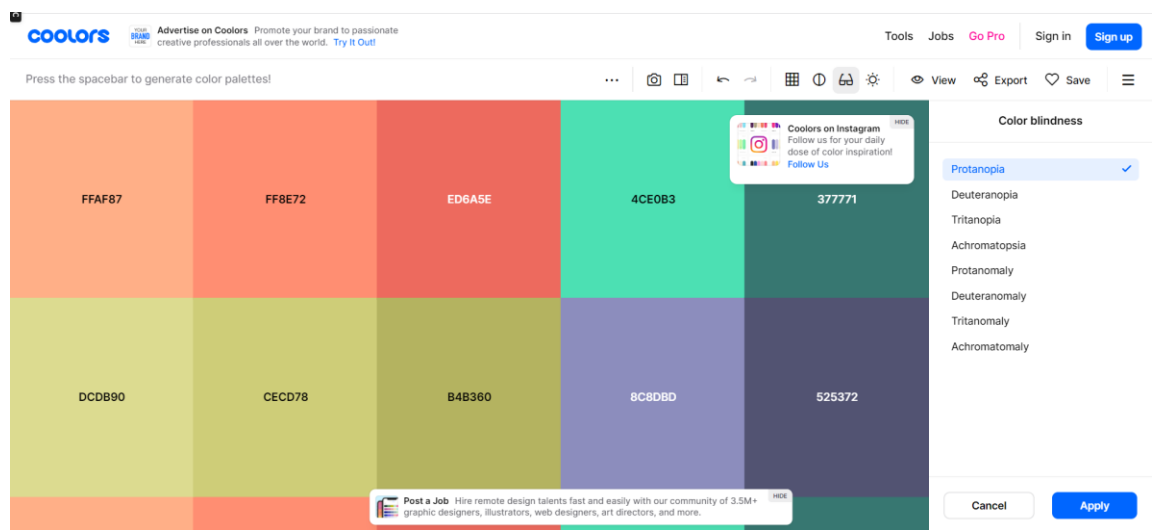


Рисунок 1-16 Інтерфейс сайту coolors.co

В безкоштовній версії даного застосунку можна згенерувати випадкову палітру та увімкнути симулятор для різних колірних палітр. Цікавою та зручною є функція створення колірної палітри з фото. Це корисно, коли дизайнер надихається природніми поєднаннями кольорів і хоче створити колірну палітру на прикладі певної фотографії. Ще функціонал цього сайту дозволяє зареєструватись та зберігати кольорові палітри, які сподобались. В платній версії сайту є багато корисних функцій таких як перевірка контрасту між кольорами, зміна типу генерації колірної палітри, тощо.

Ще зручним аналогом для створення колірної палітри є Adobe Color. За його допомогою можна швидко створити колірну палітру різного типу поєднання, побачити розміщення обраних кольорів прямо на колірному крузі.

Нещодавно цей застосунок додав до свого функціоналу можливість перевіряти доступність обраних кольорів, а саме – перевіряти контраст між кольорами та відображати який колір побачить людина з деякими видами колірної сліпоти.

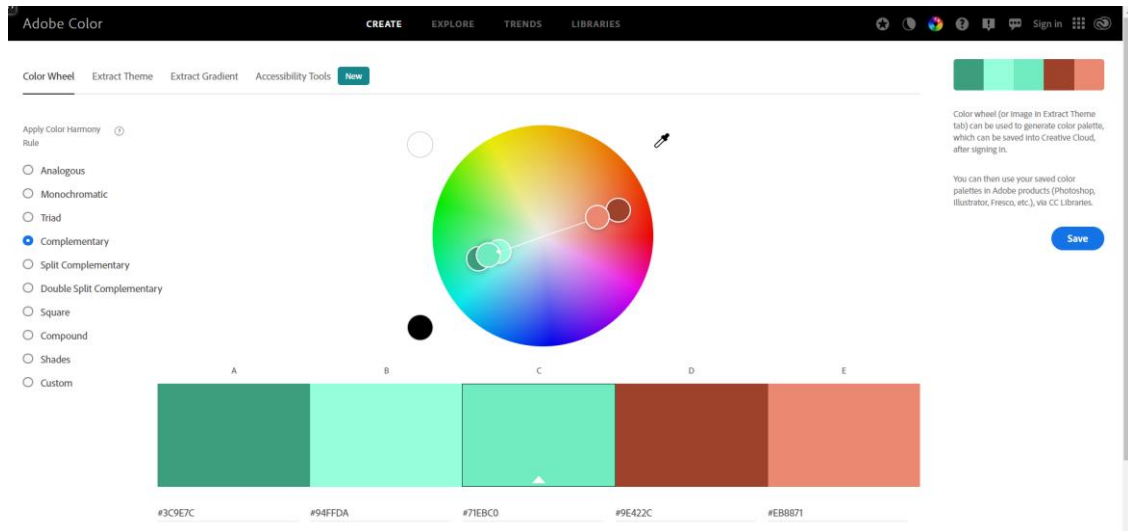


Рисунок 1-17 - Інтерфейс сайту Adobe Color

Інший застосунок для генерації колірної палітри – Muzli colors пропонує створення палітри за одним обраним кольором. Можна ввести значення будь-якого кольору і застосунок згенерує різні варіації колірних палітр – аналогічні, монохромні, тріадні поєднання, тощо. Найзручніший інструмент, який пропонує даний застосунок – це візуалізація обраної палітри на різних елементах дизайну. Це допоможе одразу зрозуміти як приблизно дана палітра буде виглядати у роботі. На жаль, даний вебсайт не пропонує ніяких функцій для перевірки на колірну доступність

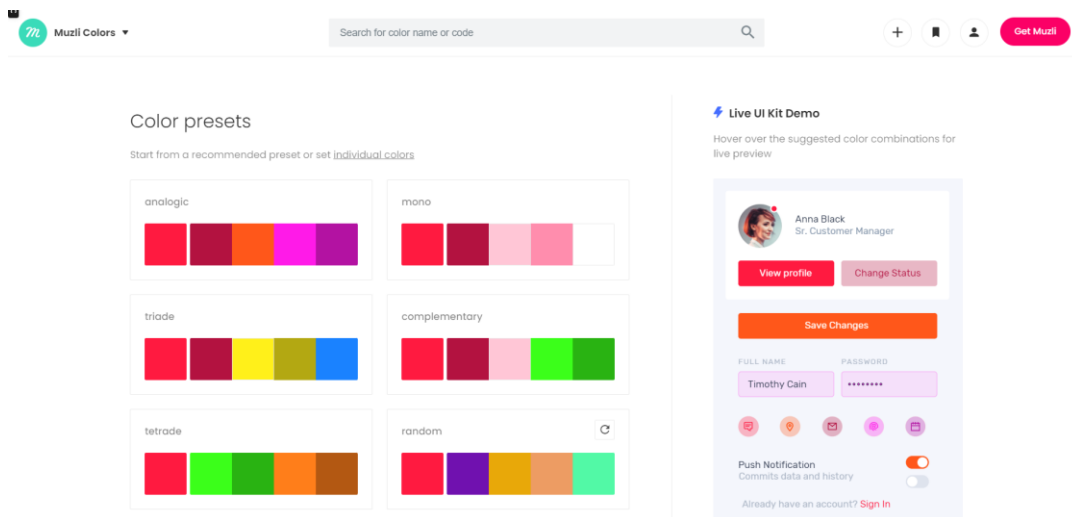


Рисунок 1-18 Muzli colors

Отже, існує багато різних вебзастосунків за допомогою яких можна створити колірну палітру для дизайну. Але не всі з них підтримують можливість перевірки доступності обраних кольорів, що забезпечить їх зрозумілість ширшому колу людей.

Розділ 2. Представлення кольору та симуляція колірної сліпоти

2.1 Цифрове представлення кольору

Протягом всього часу вчені досліджували, яким чином можна візуалізувати колір та перетворити його з абстрактного поняття на те, що можна класифікувати та представити у математичній формі. Для цього винайшли різні колірні моделі, які допомагають репрезентувати та узгодити один і той самий колір на різних пристроях. Колірні моделі використовуються у різних сферах, таких як: обробка зображень, комп'ютерна графіка, поліграфія, фотографія, мови програмування для візуалізації кольору тощо. Всі вони дозволяють зобразити один колір різними способами, зручними для певної сфери.

Колірна модель – це система вимірювання та представлення кольорів, які може сприймати людина та які утворюються за допомогою змішування різних властивостей основних кольорів [9]. Найчастіше колірна модель складається з трьох або чотирьох компонентів, наприклад відтінок, насиченість та яскравість. Існують різні види колірних моделей. Кожна колірна модель використовується для різних цілей, має різний діапазон кольорів (тобто за допомогою неї можна представити різну кількість кольорів) та оптимізована для різних операцій. Наприклад, одні колірні моделі використовуються для представлення кольорів на різних девайсах, інші використовуються під час друку, деякі більш схожі на представлення кольору людським оком. Розуміння різних типів колірних моделей зможе допомогти правильно обрати необхідну модель для своїх потреб, а також зрозуміти яким чином можна представити один і той самий колір різними способами.

Розрізняють такі основні види колірних моделей – RGB, CMYK та HSV/HSL, а також колірна система Манселла, яка є найпершою подібною колірною моделлю.

2.1.1 Колірна модель Манселла

Колірна модель Манселла – це найперша створена колірна модель. Її створив художник Альберт Генрі Манселл на початку 20 століття [9]. Саме він вперше розділив такі поняття як відтінок (hue), яскравість (value) та насиченість (chroma) і розмістив їх у різних вимірах, таким чином створивши тривимірне представлення кольору. Замість того, щоб надавати кольору ім'я, Манселл почав представляти колір математично, а саме вказувати розташування кольору у його розробленому просторі.

Колірна модель Манселла складається з 10 різних кольорів, які відповідають за відтінок, вертикальною віссю позначається яскравість кольору, яка набуває значення від чисто чорного до чисто білого і займає діапазон від [0,10], а горизонтальна вісь відповідає за насиченість кольору.

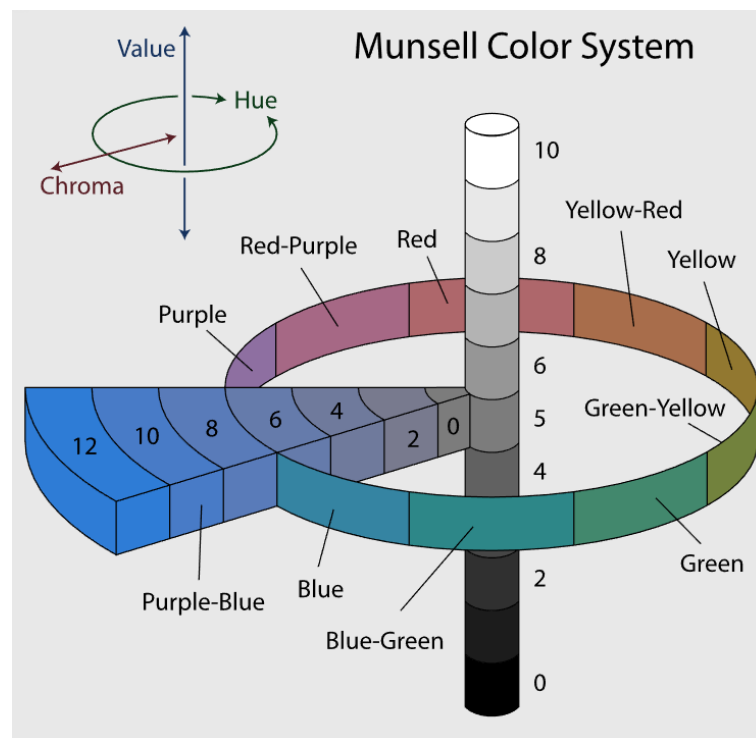


Рисунок 2-1 Колірна модель Манселла

Колірна модель Манселла дуже схожа на сучасні колірні моделі, тому що саме на ній вони базуються. Знання даної колірної моделі допоможе зрозуміти інші моделі та історію їх розвитку.

2.1.2 RGB

RGB – це колірна модель з трьома вимірами, які відповідають трьом кольорам – червоному, зеленому та синьому. Назва RGB походить від перших літер цих кольорів англійською (red, green, blue). Ці кольори змішуються в різних пропорціях і створюють певний колір. RGB складається з трьох значень, які лежать в діапазоні від 0 до 255. Колірний простір даної моделі зображають у вигляді куба.

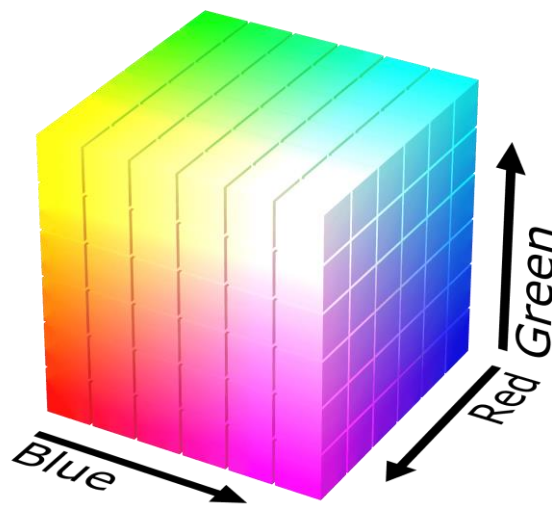


Рисунок 2-2 Колірний простір RGB

За допомогою RGB моделі досить просто представляти первинні і вторинні кольори, які отримуються за допомогою змішання первинних, але представлення інших кольорів складно передбачити. Наприклад, червоний колір у RGB форматі буде виглядати так – (255,0,0), зелений – (0,255,0), синій (0,0,255), жовтий – (255,255,0), пурпуровий – (255,0,255), голубий – (0,255,255), чорний (0,0,0), а максимальне значення кожного параметру дасть в результаті білий колір. Ця модель все ще залишається базовим способом представлення кольору в певних сферах.

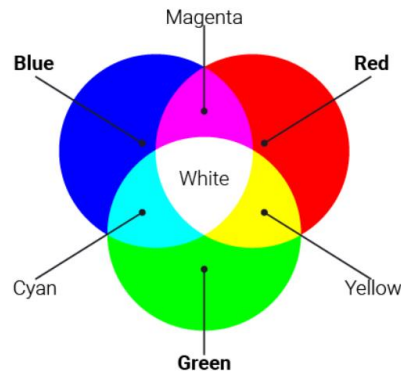


Рисунок 2-3 Змішання кольорів RGB моделі

Ця колірна модель найчастіше використовується для відображення кольорів на електронних екранах (телевізорах, комп'ютерних моніторах, цифрових камерах, телефонах). А також дуже часто колір в мовах програмування задається саме у RGB форматі або HEX, що є шістнадцятковим відображенням значень RGB.

2.1.3 CMYK

Колірна модель CMYK – це субтрактивна модель заснована на вторинних кольорах RGB моделі. Назва даної моделі аналогічно походить від перших літер кольорів, які в ній використовуються, а саме cyan (блакитний), magenta (пурпуровий), yellow (жовтий), а остання літера k (від слова key) – означає ключовий колір чорний, який утворюється під час змішування основних кольорів даної моделі. Дана модель найчастіше використовується в поліграфії для друкування.

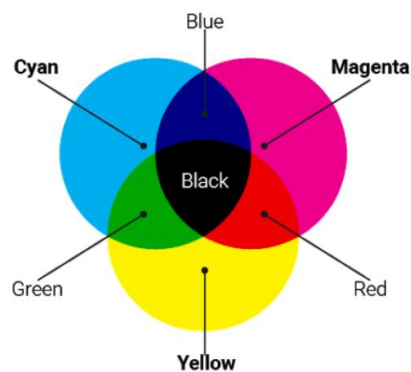


Рисунок 2-4 Змішання кольорів CMYK моделі

2.1.4 HSV/HSL

Колірні моделі HSV та HSL в своїй основі мають людську зорову систему. Це циліндричні колірні моделі, які відображають кольори RGB у більш зрозумілих для людей параметрах.

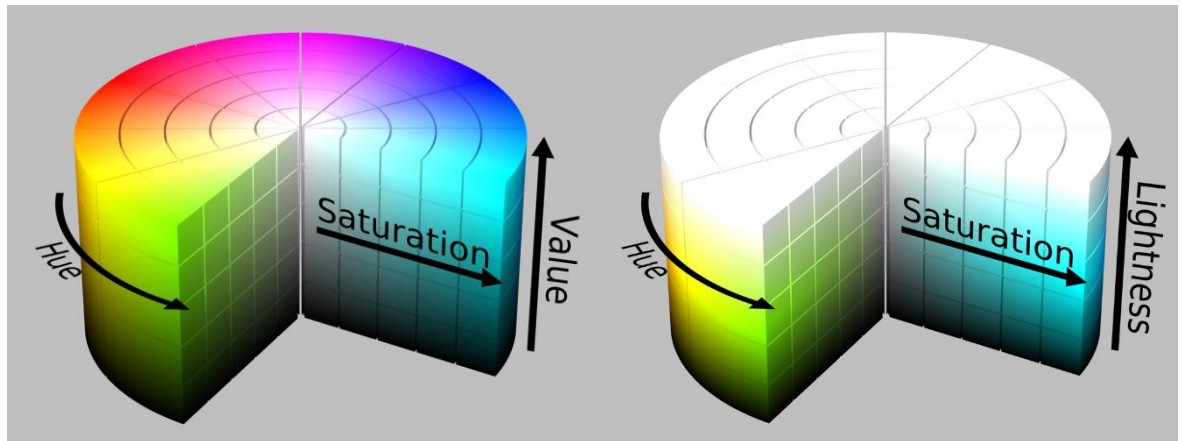


Рисунок 2-5 Колірна модель HSV та HSL

HSV розшифровується як hue, saturation, value, де hue – це тон або відтінок кольору, saturation – це насиченість кольору, а value – це яскравість кольору. Відтінок описує чистий колір, такий як червоний, жовтий, синій тощо. Вимірюється за допомогою колірного круга і має відповідний діапазон від 0 до 360 градусів. Насиченість кольору визначає кількість білого світла в чистому кольорі [10] та має значення від 0% до 100%. Яскравість кольору визначає кількість чорного або білого кольору, вимірюється від 0% до 100%, де 100% яскравість – це повна відсутність чорного кольору, тобто відповідає за чистий відтінок кольору, а 0% - це чистий чорний колір.

HSL розшифровується як hue, saturation, lightness, де перші два елементи збігаються з параметрами HSV моделі, а останній параметр lightness визначає світлоту кольору. Різниця між яскравістю полягає в тому, що колір зі світлотою 0% – це чорний колір, з 50% - це чистий відтінок кольору, а зі 100% світлотою – це білий колір.

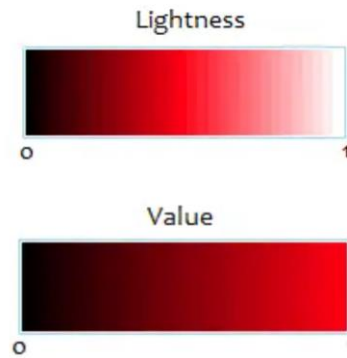


Рисунок 2-6 Різниця між світлотою та яскравістю

Дані колірні моделі не настільки розповсюджені як RGB модель, але вони можуть бути дуже корисні для веброзробки, а саме створення колірних схем та палітр, або ж для регулювання яскравості або насиченості певного зображення.

2.1.5 Колірний простір LMS

Попередні моделі, які були розглянуті, представляють діапазон кольорів, який може бути відображений або імітований різними девайсами – телевізором, принтером, телефоном. Зрозуміло, що кольори для людини відображаються не за допомогою математичних моделей. Раніше вже було розглянуто, яким чином людина сприймає кольори, а саме за участю L-, M-, S-конусів в сітківці ока.

Колірний простір LMS визначає кольори в термінах відносного збудження кожного типу конуса – чутливий до довгих хвиль (L), до середніх хвиль (M) та хвиль короткої довжини (S) [11]. Відповідно, ця система базується на трихроматичній теорії.

Даний колірний простір використовується в дослідженнях пов'язаних з колірним сприйняттям, симуляцією різних типів колірної сліпоти, хроматичними адаптаціями тощо.

2.2 Математичні перетворення кольору

Кожна модель для математичного представлення кольору зручна для різних типів задач. RGB та HEX широко використовуються для задання кольору у вебі, в той час, як за допомогою HSL моделі можна легко визначити гармонійну палітру. Для того, щоб легко оперувати різними моделями одного кольору, необхідно вміти конвертувати одну модель в іншу.

Розглянемо математичні перетворення RGB моделі в інші та навпаки.

2.2.1 RGB в HEX та навпаки

RGB та HEX це одна й та сама модель відображення кольору, але формат запису у них різний. Найчастіше колір у вебзастосунках, під час розробки дизайну або ж просто у мовах програмування задається в цих форматах, або ж повною назвою кольору.

HEX – це шістнадцяткове представлення значень RGB. Кожне з трьох числових компонентів RGB перетворюється в шістнадцяткову систему числення (з цього походить назва) в форматі FF і в результаті HEX складається з 6 символів в діапазоні від 0 до 9 та від A до F.

Для того, щоб перетворити HEX на RGB треба розбити стрічку на 3 частини і кожну з них з шістнадцяткової системи числення перетворити в десяткову. Наприклад, маємо HEX колір зі значенням #0096FF. Перша пара символів 00 відповідає за значення R, друга пара 96 відповідає за значення G, третя пара FF відповідає за значення B. Перетворивши кожну з цих пар з шістнадцяткової системи в десяткову отримуємо еквівалентне значення RGB для кольору – (0,150,255).

2.2.2 RGB в HSL та навпаки

Наведемо алгоритм перетворення RGB моделі в HSL.

- 1) Перетворюємо значення параметрів RGB з діапазону [0,255] в [0,1] – ділимо кожне значення на 255 і далі працюємо з отриманими значеннями – r, g, b.
- 2) Знаходимо мінімальне (max) та максимальне (min) значення серед r, g, b.
- 3) Знаходимо різницю (d) між мінімальним та максимальним значеннями за формулою:

$$d = \max - \min$$

- 4) Знаходимо відтінок кольору (hue) за формулою:

$$h' = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ \frac{g - b}{d} \bmod 6, & \max = r \\ \frac{b - r}{d} + 2, & \max = g \\ \frac{r - g}{d} + 4, & \max = b \end{cases}$$

- 5) Знаходимо відтінок (hue) в діапазоні від [0, 360] :

$$hue = h' \times 60$$

- 6) Знаходимо світлоту (lightness) за формулою:

$$lightness = \frac{\max + \min}{2}$$

- 7) Знаходимо насиченість (saturation) за формулою:

$$saturation = \begin{cases} 0, d = 0 \\ \frac{d}{|1 - |2 \times lightness - 1|} \end{cases}$$

- 8) Отримані значення світлоти та насиченості множимо на 100.

Наведемо зворотній алгоритм перетворення HSL моделі в RGB.

1) Ділимо світлоту та насиченість на 100, щоб їх значення лежали в діапазоні від [0,1]

2) Знаходимо кольоровість (chroma) за формулою:

$$chroma = (1 - |2 \times l - 1|) \times s, \text{ де}$$

l – світлота;

s – насиченість.

3) Вираховуємо h' :

$$h' = \frac{h}{60^\circ}, \text{ де}$$

h – насиченість.

4) Вираховуємо значення x , яке потрібно буде для визначення значень r , g , b :

$$x = chroma \times (1 - |h' \bmod 2 - 1|)$$

5) Знаходимо проміжкові значення r , g , b :

$$(r_1, g_1, b_1) = \begin{cases} (chroma, x, 0), & 0 \leq h' < 1 \\ (x, chroma, 0), & 1 \leq h' < 2 \\ (0, chroma, x), & 2 \leq h' < 3 \\ (0, x, chroma), & 3 \leq h' < 4 \\ (x, 0, chroma), & 4 \leq h' < 5 \\ (chroma, 0, x), & 5 \leq h' \leq 6 \end{cases}$$

6) Знаходимо значення m для корекції світлоти для значень r , g , b :

$$m = lightness - \frac{chroma}{2}$$

7) Фінальні значення r , g , b вираховуємо таким чином:

$$(r, g, b) = (r_1 + m, g_1 + m, b_1 + m) \times 255$$

2.2.3 RGB в LMS та навпаки

Перетворити RGB модель в LMS простір дуже просто, тому ще не потрібно вираховувати значення за певними формулами, а можна просто виконати множення матриці на вектор.

Вирахувати LMS значення можна за допомогою множення RGB моделі на таку перетворювальну матрицю [11]:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 17.8824 & 43.5161 & 4.1194 \\ 3.4557 & 27.1554 & 3.8671 \\ 0.0300 & 0.1843 & 1.4671 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Зворотне перетворення можна виконати також за допомогою множення значень LMS на певну матрицю [11]:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0809 & -0.1305 & 0.1167 \\ -0.0102 & 0.0540 & -0.1136 \\ -0.0004 & -0.0041 & 0.6935 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}$$

Отже, в даному розділі були розглянуті математичні алгоритми для перетворення різних кольірних моделей. Це допоможе бути більш гнучкими при виборі правильної моделі для певних цілей, тому що можна буде швидко конвертувати одну модель в іншу.

2.3 Створення палітри за допомогою кольірного кола

Раніше було розглянуто різні способи гармонійних поєднань кольорів. Всі вони визначаються за допомогою кольірного кола і можуть бути легко вираховані математичним способом.

Представимо наш кольірний круг у полярній системі координат, яка задається двома значеннями radius та theta, де radius – це відстань від середини кола, а theta – це кут від початку горизонтальної лінії і лежить в

діапазоні від 0 до 360 градусів. За допомогою такої візуалізації дуже просто визначити необхідні колірні комбінації для створення колірної палітри.

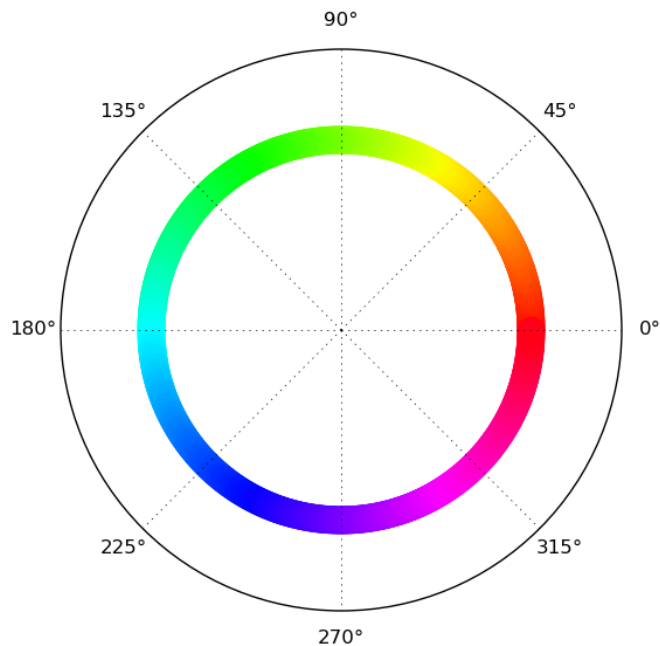


Рисунок 2-7 Колірний круг у полярній системі координат

Найкраще та найпростіше визначати колірні палітри можна використовуючи HSL модель, де тон (H) – це і буде наш кут від горизонтальної лінії. Значення для насиченості та світлоти можна обрати довільне, тому що на створення палітри вони не впливають.

Алгоритм створення колірної палітри виглядає так:

- 1) Перетворити базовий колір для якого необхідно створити палітру в HSL модель.
- 2) Додати або відняти певне значення кута від значення тону для визначення додаткових кольорів.
- 3) Перетворити кольори в початкову колірну модель.

Тобто для знаходження додаткових кольорів, з яких будуть складати колірну палітру, необхідно знати які значення треба додавати або віднімати від базового кольору для певного типу колірного поєднання.

Для визначення комплементарного кольору до основного необхідно до значення тону додати 180 градусів. Саме цей колір буде лежати прямо навпроти основного кольору і вони будуть утворювати комплементарну палітру кольорів.

$$hue_2 = hue_1 + 180$$

Для створення тріадного поєднання кольорів (кольори, які лежать на кінцях рівностороннього трикутника) необхідно до базового кольору додати 120 градусів, щоб отримати перший колір і додати 240 градусів, щоб отримати другий. Це впливає з того, що рівносторонній трикутник має однакові кути, відповідно його кінці лежать на одній відстані один від одного. Значення 120 градусів, яке ми додаємо до відтінку, ми отримуємо під час ділення 360 градусів (повного круга) на 3.

$$hue_2 = hue_1 + 120$$

$$hue_3 = hue_1 + 240$$

Для створення тетрадичного поєднання кольорів необхідно до базового кольору додати 90 градусів, потім 180 градусів, а потім 270 градусів. Таким чином ми отримуємо 4 кольори, які лежать у межах квадрата і разом дають гармонійне поєднання кольорів.

$$hue_2 = hue_1 + 90$$

$$hue_3 = hue_1 + 180$$

$$hue_4 = hue_1 + 270$$

Для отримання кольорів, які мають аналогічне поєднання потрібно вирахувати число, яке буде додаватись до базового кольору. Спираючись на колірний круг Іттена, який складається з 12 кольорів, 360 градусів потрібно поділити на 12. Саме через 30 градусів буде лежати колір з сусідньої секції і поєднання таких кольорів будуть давати аналогічну палітру кольорів. Тобто до тону основного кольору потрібно додати 30 градусів і відняти 30 градусів.

$$hue_2 = hue_1 + 30$$

$$hue_3 = hue_1 - 30$$

Для визначення монохромної палітри кольорів вже не потрібно змінювати його тон. Монохромне поєднання базується на зміні світлоти. Тон кольору залишається таким самим, підбирається тільки різниця між світлотою кольорів. Щоб отримати 6 монохромних кольорів можна обрати крок в 15 для створення гармонійного переходу між кольорами.

2.4 Імітація колірної сліпоти

Існує декілька підходів до імітації колірної сліпоти. Теорія сприйняття кольорів є досить складною, тому ні один з існуючих методів не може зімітувати з 100% точністю, яким чином певний колір побачить людина з колірною сліпотою. Колірна сліпота може бути різної тяжкості. Деякі люди взагалі не будуть чутливі до найдовших світлових хвиль (протанопія), а деякі зможуть трохи їх розрізнити. Відповідно розробляти імітацію для різних рівнів тяжкості досить складно та в результаті виходить багато різних варіантів вигляду кольору, тому більшість досліджень показують способи імітації колірної сліпоти для найбільшого рівня тяжкості.

Однак, майже всі наявні дослідження не гарантують найвищу точність отриманих результатів. Це все приблизні розрахунки, тому що кожна людина сприймає колір по-різному, відповідно люди з колірною сліпотою також бачать кольори не однаково. Але для впровадження симуляції колірної сліпоти для колірного генератора висока точність не потрібна, тому що її першочергова мета полягає в тому, щоб дизайнер міг приблизно оцінити яким чином його колірна палітра буде сприйматись у людей з вадами зору, чи будуть зливатись певні кольори тощо. Перевірка поєднання кольорів на імітації колірної сліпоти допоможе підібрати насиченість та світлоту обраних відтінків, але не допоможе підібрати універсальний колір, який буде однаково зрозумілим для різних людей.

Базовий та найбільш достовірний підхід для моделювання сприйняття кольору людьми з колірною сліпотою описаний в статті «Computerized simulation of color appearance for dichromats», написаній Бреттелем, Віонетом та Моллоном у 1997 році [15]. Стаття містить детальне пояснення базових принципів та математичних розрахунків, які необхідні для імітації дихроматичних хвороб. Виходячи з досліджень в цій статті, алгоритм моделювання колірної сліпоти такий:

- 1) Перетворити RGB кольори в LMS простір, який представляє діапазон кольорів, які розрізняє людина. Для цього необхідно помножити RGB кольори на спеціальну матрицю перетворення для LMS простору.
- 2) Застосувати матрицю для зміни LMS кольорів залежно від типу колірної сліпоти, яку необхідно змоделювати.
- 3) Перетворити LMS кольори назад в RGB.
- 4) Перевірити, що отримані результати RGB кольору лежать в правильному діапазоні від [0,255].

Всі інші дослідження в цій сфері базуються найчастіше саме на цьому методі.

В цій роботі було вирішено скористуватись дослідженнями зі ще однієї статті цих же вчених [11], де запропоновані вже готові матриці для зміни кольорів LMS простору.

Матриця моделювання для протанопії:

$$\begin{pmatrix} 0 & 2.02344 & -2.52581 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матриця моделювання для дейтеранопії:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.494207 & 0 & 1.24827 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Отже, під час моделювання колірної сліпоти неможливо в результаті отримати 100% достовірність імітації кольорів. Тобто можна тільки приблизно зрозуміти, яким чином деякі кольори побачить людина з певними вадами зору. Це зумовлено тим, що кожна людина унікальна і має різну структуру ока та чутливість конусів на сітківці, свій психофізичний досвід, що впливає на те, як саме людина буде сприймати певний колір. Тому симуляція колірної сліпоти допоможе тільки приблизно зрозуміти спектр кольорів, які побачить людина з вадами зору і не може бути єдиним інструментом, на якому можна базуватись під час вибору доступної колірної палітри.

2.5 Перевірка контрасту між кольорами

Перевірка контрасту між кольорами і визначення чи є він доступним – це єдиний спосіб забезпечити гарну читабельність тексту та передбачити, що ці кольори не змішаються та будуть відмінними один від одного для людей з різними вадами зору. Якщо дизайн буде створено з використанням кольорів низького контрасту, то він може бути складним для сприйняття, а текст на фоні з низьким контрастом неможливо буде прочитати не тільки людям з колірними хворобами, але й людині з нормальним зором. Саме перевірка контрасту між кольорами є однією з вимог до колірної доступності у WCAG стандарті.

Для визначення коефіцієнта контрастності необхідно порівняти яскравість (luminance) цих кольорів. Яскравість кольору визначає наскільки багато в ньому чорного або білого кольору. У WCAG стандарті визначенні

певні вимоги до того, яким повинен бути контраст та надається алгоритм для математичного обрахування коефіцієнта.

Вимоги до значення контрасту визначені в таблиці нижче :

	AA	AAA
Основний текст з кеглем < 24px	4.5:1	7:1
Великий текст з кеглем > 24px або товстий великий текст з кеглем > 18px	3:1	4.5:1

AA та AAA – це два рівні доступності в WCAG стандарті. Рівень AA означає мінімальні вимоги до доступності, які обов’язково повинні виконуватись. Рівень AAA – означає максимальний рівень вимог до доступності. Тобто для впровадження мінімальної доступності в дизайн можна виконувати вимоги, які задовольняють рівень AA, а для того, щоб забезпечити максимальний рівень доступності – потрібно виконувати вимоги рівня AAA.



Рисунок 2-8 Приклад тексту з низьким та високим контрастним коефіцієнтом

В стандарті WCAG вказана формула, за допомогою якої можна вирахувати контрастний коефіцієнт для перевірки доступності кольорів:

$$ratio = (L1 + 0.05) / (L2 + 0.05), \text{ де}$$

$L1$ – це відносна яскравість для світлішого кольору;

$L2$ – це відносна яскравість для темнішого з кольорів.

Алгоритм для знаходження відносної яскравості кольору також можна знайти у вимогах WCAG стандарту:

- 1) Розділити значення R, G, B на 255.
- 2) Вирахувати нові значення для R, G, B за формулою:

$$v' = \begin{cases} \frac{v}{12,92} & , v \leq 0,03928 \\ \frac{v+0.055}{1.055} & , \text{де} \end{cases}$$

v – це значення R, G, B

- 3) Далі використовуючи отримані значення для R' , G' , B' знаходимо відносну яскравість кольору:

$$L = 0.2126 \times R' + 0.7152 \times G' + 0.0722 \times B'$$

Отже, перевірка значення контрасту між кольорами дуже важлива для забезпечення кольорової доступності, а також буде відповідати необхідним вимогам WCAG стандарту. Для визначення контрасту між кольорами можна скористатись алгоритмом, який наведений в самому стандарті WCAG.

Розділ 3. Реалізація колірного генератора

3.1 Загальний опис застосунку

Спираючись на проведені дослідження, був розроблений вебзастосунок, який має на меті допомогти дизайнерам обрати колірну палітру, яка буде доступною для людей з різними вадами зору. Через те, що не існує певного діапазону кольорів, який не створить труднощів у їх розпізнаванні, то було вирішено використати комплексний підхід до створення доступної колірної палітри, а саме надати весь необхідний функціонал, який допоможе згенерувати палітру, а потім перевірити її доступність.

Головна можливість колірного генератора – це показувати випадкову колірну палітру обраного типу. Далі користувачу надаються всі необхідні заходи для забезпечення доступності. По-перше, найголовніша вимога до доступних кольорів – це їх висока контрастність, тому користувач зможе перевіряти контрастний коефіцієнт між всіма кольорами палітри одразу. По-друге, користувач зможе протестувати обрану палітру за допомогою симуляції колірної сліпоты, яка приблизно покаже як цю палітру побачать люди з різними вадами зору. Якщо користувачу не будуть подобатись палітри, які генеруються системою, то в нього буде можливість створити свою власну палітру кольорів і протестувати її, або ж перевірити контрастність та зімітувати колірну сліпоту для вже обраної палітри. Також були розроблені рекомендації по створенню доступного дизайну та інструкція по користуванню генератором, які користувач зможе прочитати на сторінці з інформацією для ефективнішого користування застосунком.

Отже, в результаті вдалось створити вебзастосунок з усім рекомендованим функціоналом для забезпечення та перевірки доступності колірної палітри.

3.2 Опис обраних технологій

Для реалізації генератора колірних палітр було вирішено використовувати мову програмування JavaScript, а саме платформу Node.js, бібліотеки React та Redux, а також компоненти Bootstrap 5 для розробки гарного та адаптивного інтерфейсу. Прототипи застосунку створювались за допомогою Figma.

Інтерфейс застосунку реалізований за допомогою популярної бібліотеки React. Переваги React полягають в тому, що за його допомогою можна розбивати інтерфейс на компоненти, які можна буде повторно використовувати. Деякі елементи дизайну були створені за допомогою фреймворку Bootstrap 5, який надає готові компоненти (кнопки, навігаційне меню, поля для вводу, списки, що випадають тощо) та стилі (розміри та кольори елементів, відступи, відображення). Він забезпечує створення адаптивного дизайну та значно пришвидшує його розробку.

Для того, щоб зберігати необхідні дані застосунку і мати можливість їх використовувати в різних частинах (компонентах) програми було використано бібліотеку Redux для керування станами програми. За допомогою Redux створюється єдине сховище застосунку, де зберігаються необхідні стани програми. Функції генерації колірних палітр та симуляції колірної сліпоти, які складаються з математичних обчислень та операцій реалізовані за допомогою JavaScript. Для виконання та запуску програми, а також встановлення необхідних пакетів використовується середовище виконання Node.js.

Обрані технології забезпечують створення надійного та зручного вебзастосунку, який швидко реагує на дії користувача.

3.3 Реалізація основних функцій застосунку

Головна архітектура вебзастосунку будується на основному принципі створення програм на базі бібліотеки React. За допомогою методу

ReactDOM.createRoot(document.getElementById('root')) створюється кореневий елемент програми, де вона буде відображатись. Далі до створеного елементу застосовується метод render(...), який ініціює відображення програми у кореновому елементі, а параметром цього методу є основний компонент програми, який містить всі інші структури та компоненти. У випадку нашого застосунку – це компонент <App/>. Також на цьому етапі передається Redux сховище, в якому будуть зберігатись стани програми.

Генерація колірної палітри повністю реалізує запропонований метод в розділі 2.3. Приклад коду для створення тетрадичного поєднання кольорів наведений нижче :

```
function generateTetradicPalette() {
  let result = [];

  //set random HSL color
  let randomHue = Math.floor(Math.random()*360);
  let randomSaturation = Math.floor(Math.random()*41) + 30;
  let randomLightness = Math.floor(Math.random()*41) + 30;

  //calculate additional colors
  let hsl1 = [randomHue, randomSaturation, randomLightness];
  let hsl2 = [randomHue+90, randomSaturation, randomLightness];
  let hsl3 = [randomHue+180, randomSaturation, randomLightness];
  let hsl4 = [randomHue+270, randomSaturation, randomLightness];

  //transform colors from HSL to RGB and then to HEX
  let rgb1 = hslToRGB(hsl1);
  let hex1 = rgbToHEX(rgb1);

  let rgb2 = hslToRGB(hsl2);
  let hex2 = rgbToHEX(rgb2);

  let rgb3 = hslToRGB(hsl3);
  let hex3 = rgbToHEX(rgb3);

  let rgb4 = hslToRGB(hsl4);
  let hex4 = rgbToHEX(rgb4);

  result.push(hex1);
  result.push(hex2);
  result.push(hex3);
  result.push(hex4);

  return result;
}
```

Те саме відноситься до симуляції колірної сліпоти та вирахування контрастності між кольорами. Для їх реалізації використовувались запропоновані у другому розділі методи.

3.4 Інтерфейс застосунку та інструкція з користування

Було розроблено мінімалістичний та зручний інтерфейс для того, щоб можна було легко та швидко орієнтуватись в його дизайні і цим застосунком міг користуватись будь-хто.

Головна сторінка сайту виглядає наступним чином:

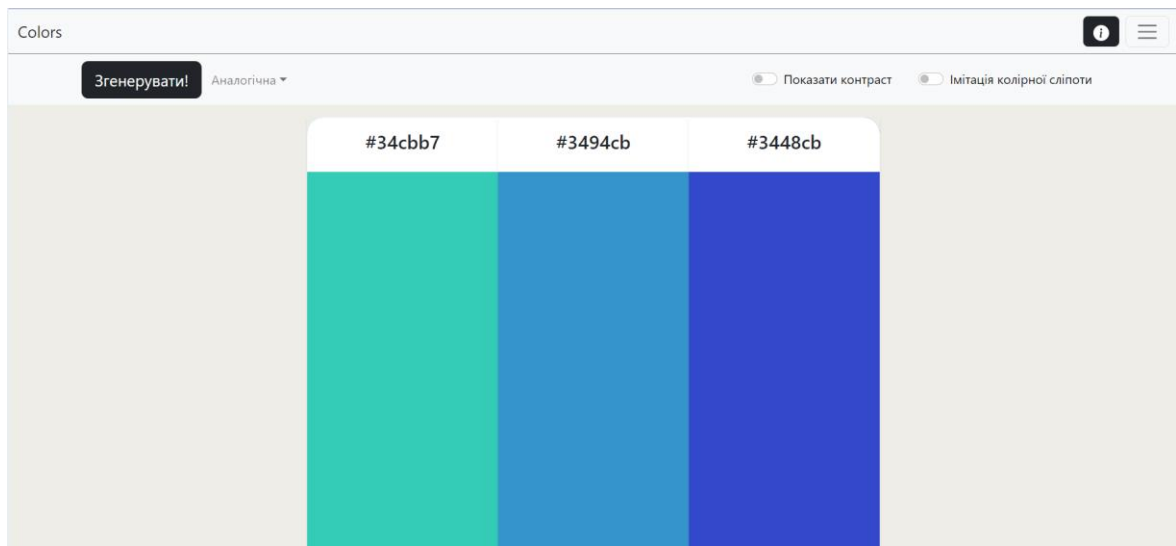


Рисунок 3-1 Головна сторінка

У верхньому навігаційному меню можна побачити дві основні кнопки – кнопка з інформацією, де можна знайти інструкцію з використання даного застосунку та рекомендації по забезпеченню колірної доступності у дизайні, а справа від неї кнопка, яка відкриває бокове меню сайту.

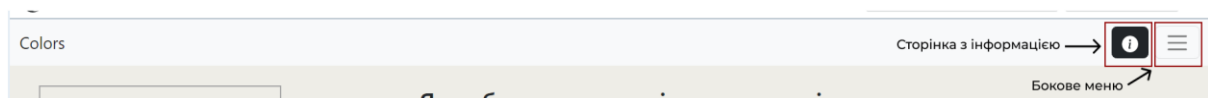


Рисунок 3-2 Головне навігаційне меню

Бокове меню вебзастосунку складається з 4 пунктів:

- Згенерувати палітру

- Створити свою палітру
- Перевірити контраст, якщо створення палітри не потрібне
- Та пункт з інформацією, де знаходяться рекомендації по розробці доступної колірної палітри та інструкція по користуванню застосунком.

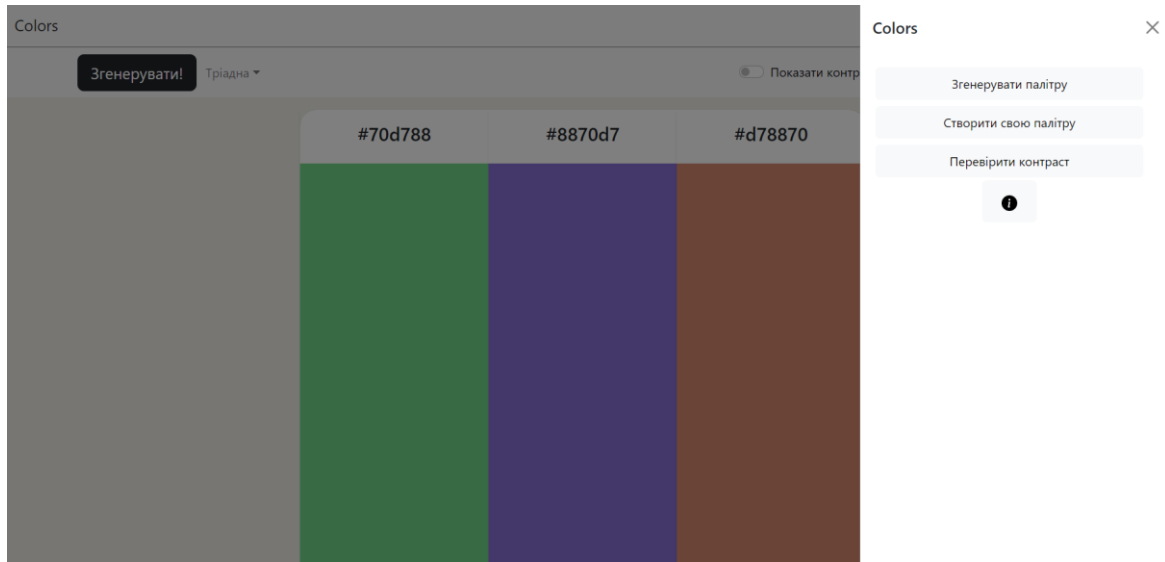


Рисунок 3-3 Бокове навігаційне меню

Для того, щоб рандомно згенерувати палітру різних типів поєднань потрібно перейти на сторінку «Згенерувати палітру» та натиснути кнопку «Згенерувати!». Кожного разу при натисканні на цю кнопку, буде відображатись нова рандомно згенерована палітра обраного типу, який буде показуватись правіше від кнопки.

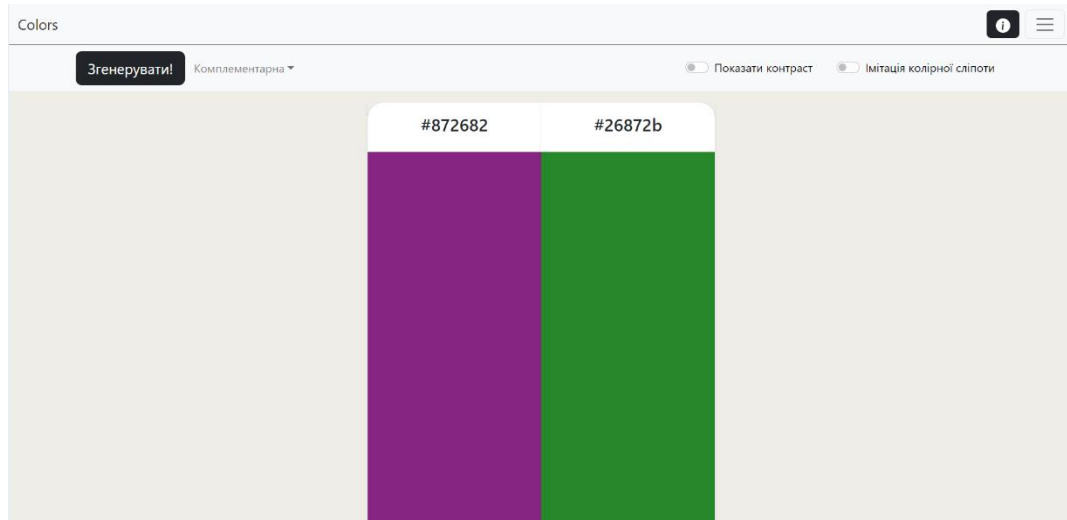


Рисунок 3-4 Генерація рандомної колірної палітри обраного типу

Обрати тип колірної палітри можна у випадваючому списку поряд з кнопкою «Згенерувати!». Є 5 основних колірних поєднань, які можна згенерувати за допомогою даного вебзастосунку – тріадне, комплементарне, монохромне, аналогічне та тетрадичне.

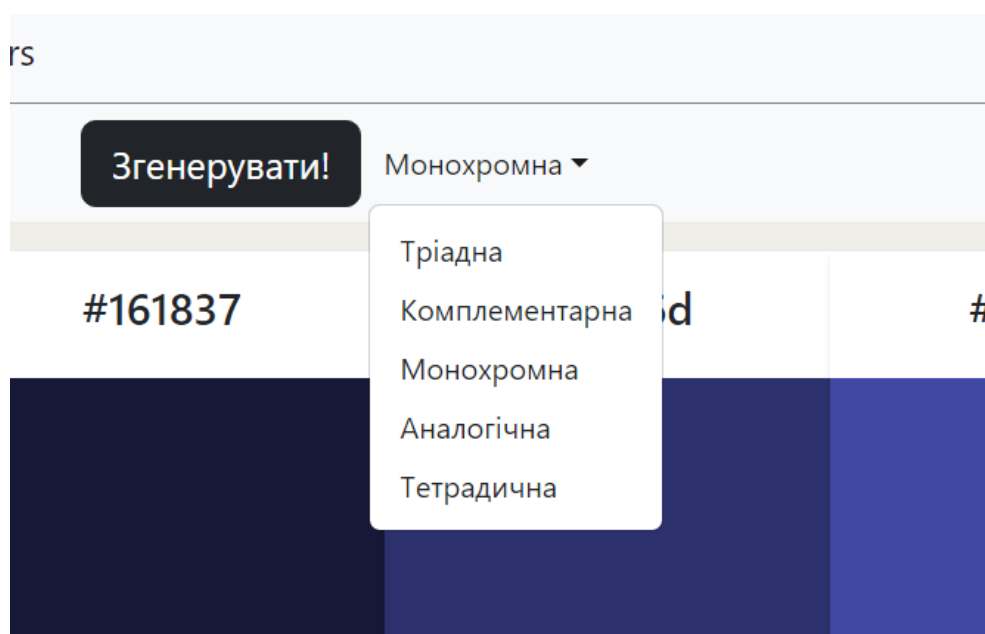


Рисунок 3-5 Типи колірних поєднань

Обравши палітру, що сподобалась – можна перевірити контрастність обраних кольорів та зімітувати колірну сліпоту, щоб розуміти як ця палітра буде виглядати для людей з вадами зору.

Перевірити контраст між кольорами палітри можна натиснувши на перемикач «Показати контраст» в правому верхньому куті.

Даний перемикач показує таблицю з контрастними коефіцієнтами між всіма кольорами палітри, а також додатково ще показує контраст між білим та чорним кольорами, бо саме вони є найбільш популярними для тексту.

Показана таблиця будується наступним чином – в кожному рядку таблиці комірки заливуються певним кольором з палітри (номер кольору знаходиться зліва), а в кожній колонці прописується текст також кольором з палітри (номер кольору тексту знаходиться зверху). Далі вираховується контрастний коефіцієнт між кольором тексту та кольором фону і саме він відображається в кожній комірці. Якщо він задовольняє мінімальну вимогу доступності стандарту WCAG, то в комірці з'являється позначка AA з прапорцем на зеленому фоні. Це означає, що ці кольори мають достатній колірний контраст для зручного читання тексту, а також показує, що людина з будь-яким ступенем колірної сліпоти зможе відрізнити ці два кольори.

		Колір тексту							
		#0d1f3f	#1b3e7e	#285cbd	#5785db	#96b3e9	#d5e1f6	#####	#000000
Колір фону	#0d1f3f		1.59	2.61	4.50 AA ✓	7.72 AA ✓	12.40 AA ✓	16.34 AA ✓	1.28
	#1b3e7e	1.59		1.65	2.84	4.87 AA ✓	7.82 AA ✓	10.31 AA ✓	2.04
	#285cbd	2.61	1.65		1.72	2.96	4.75 AA ✓	6.26 AA ✓	3.36
	#5785db	4.50 AA ✓	2.84	1.72		1.72	2.75	3.63	5.78 AA ✓
	#96b3e9	7.72 AA ✓	4.87 AA ✓	2.96	1.72		1.61	2.12	9.92 AA ✓

Рисунок 3-6 Таблиця з контрастними коефіцієнтами обраної палітри

Для обраної палітри кольорів можна застосувати симуляцію колірної сліпоти. Зробити це можна натиснувши на перемикач «Імітація колірної сліпоти».

Тут можна переглянути яким чином вашу колірну палітру може побачити людина з різними типами колірної сліпоти. Потрібно розуміти, що кожна людина унікальна, а також бувають різні ступені тяжкості колірної сліпоти, тому дана імітація не показує 100% точні кольори, які будуть бачити люди з колірною сліпотою. Це приблизне відображення кольорів для найважчого ступеня хвороби. Тому за допомогою цієї імітації можна лише приблизно зрозуміти, як дані кольори будуть сприйматись людиною з колірною сліпотою. Таким способом можна протестувати обрану палітру на доступність, але не вибрати доступні кольори.

The screenshot shows a web application interface for color simulation. At the top, there is a 'Colors' title, a 'Згенерувати!' button, a 'Монохромна' dropdown menu, and two toggle switches: 'Показати контраст' (disabled) and 'Імітація колірної сліпоти' (enabled). Below the controls is a table with four columns: 'Color', 'Protanopia', 'Deuteranopia', and 'Achromatopsia'. The table contains six rows of color swatches with their corresponding hex codes.

Color	Protanopia	Deuteranopia	Achromatopsia
#1a3227	#2f2f27	#2b2b28	#2c2c2c
#35644f	#5e5f4f	#565651	#585858
#4f9676	#8e8e77	#818278	#858585
#79b99c	#b1b29d	#a6a79e	#a9a9a9
#abd3c1	#cecfc2	#c7c8c3	#c9c9c9

Рисунок 3-7 Імітація колірної сліпоти

Якщо ви не хочете генерувати випадкову палітру, то є можливість створити свою власну палітру. Цю сторінку можна знайти натиснувши на «Створити свою палітру» в боковому меню застосунку.

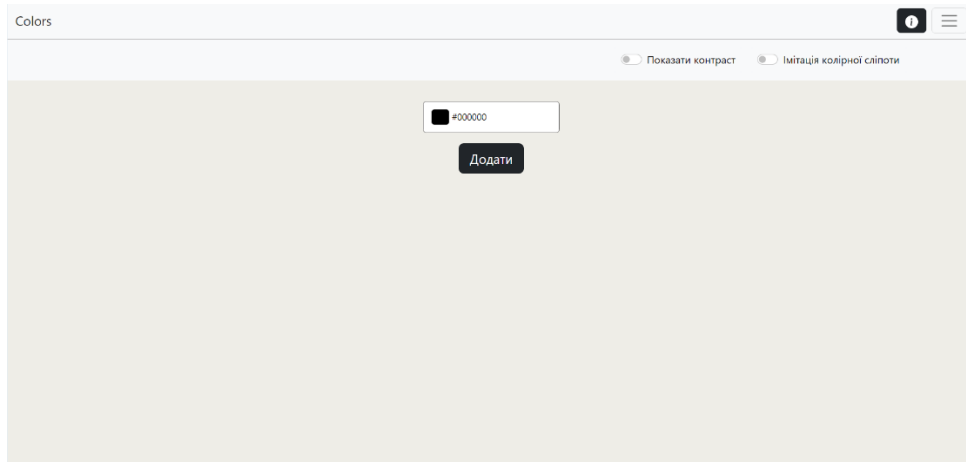


Рисунок 3-8 Початкова сторінка створення власної колірної палітри

В полі для введення можна прописати будь-який бажаний колір у HEX форматі, а також колір можна обрати безпосередньо за допомогою Color Picker.

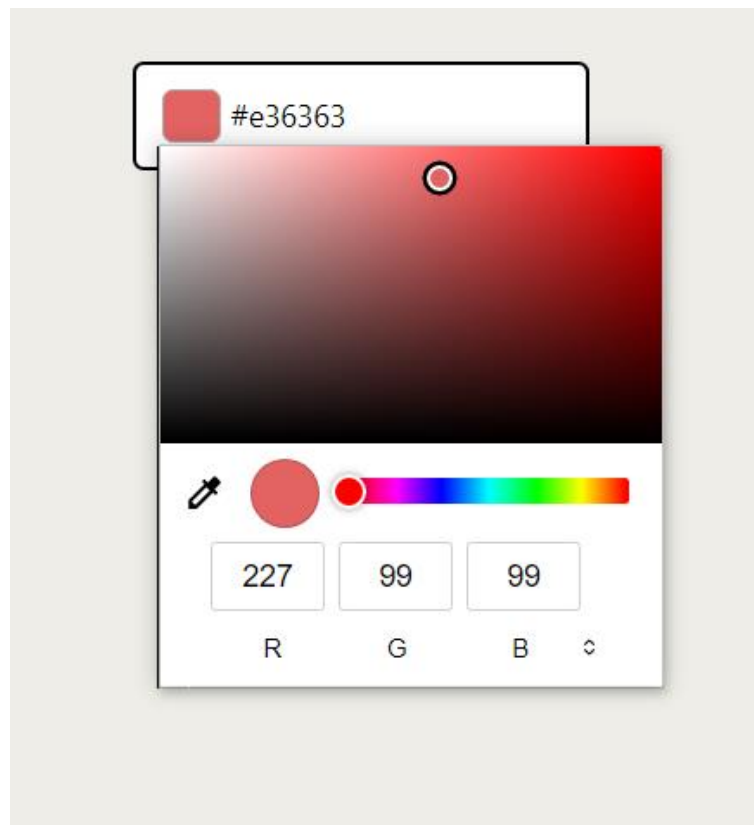


Рисунок 3-9 Color picker

Щоб додати колір до палітри – треба натиснути кнопку «Додати». Таким чином можна додати декілька кольорів і на екран з палітрою кожного разу буде додаватись новий колір.

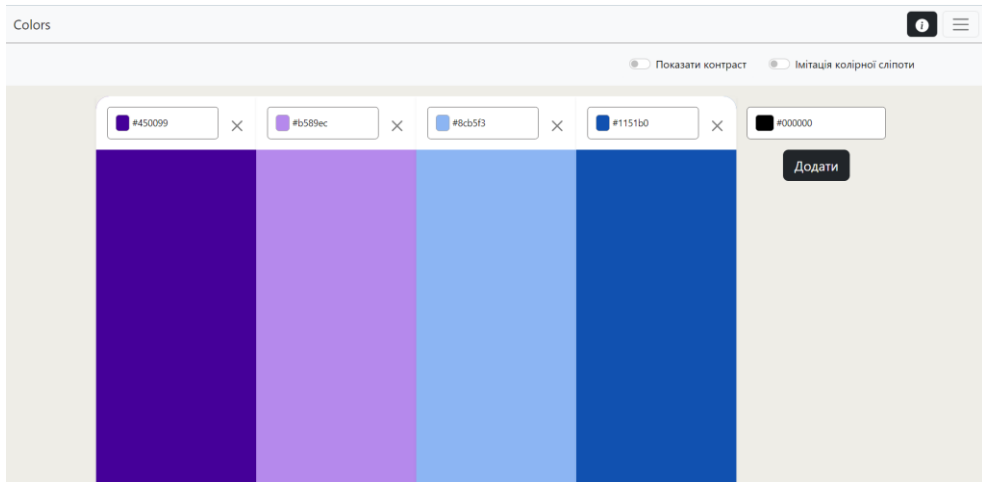


Рисунок 3-10 Створення власної колірної палітри

Будь-який колір в палітрі можна змінити натиснувши на поле введення. Також колір можна видалити з палітри натиснувши на кнопку з хрестиком.

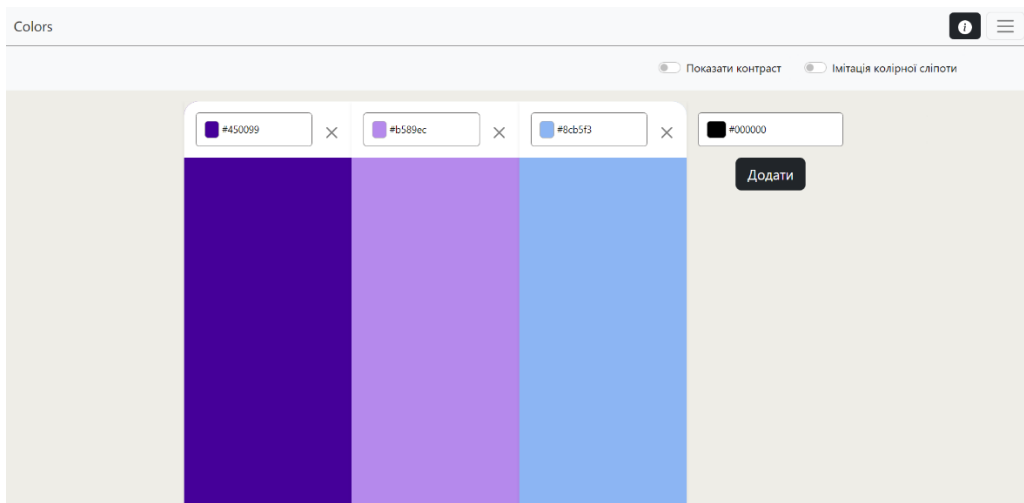
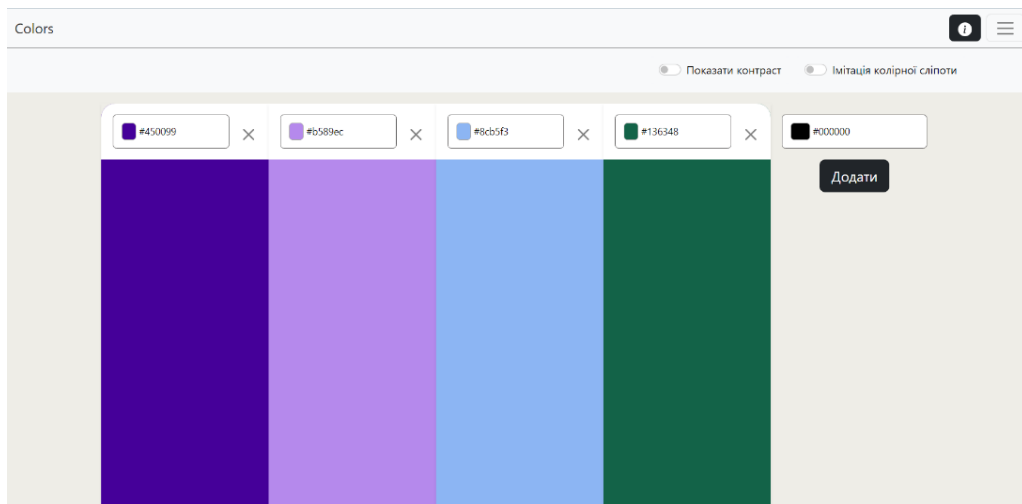


Рисунок 3-11, 3-12 Додавання та видалення кольору з колірної палітри

Як і для випадково згенерованої палітри можна переглянути контраст між кольорами, а також зімітувати колірну сліпоту для створеної палітри.

Колір тексту

Колір фону	#450099	#b589ec	#8cb5f3	#ffffff	#000000
#450099		4.53 AA ✓	5.85 AA ✓	12.26 AA ✓	1.71
#b589ec	4.53 AA ✓		1.29	2.71	7.75 AA ✓
#8cb5f3	5.85 AA ✓	1.29		2.10	10.02 AA ✓
#ffffff	12.26 AA ✓	2.71	2.10		21.00 AA ✓
#000000	1.71	7.75 AA ✓	10.02 AA ✓	21.00 AA ✓	

Color	Protanopia	Deuteranopia	Achromatopsia
#450099	#08089a	#141498	#1a1a1a
#b589ec	#8d8eed	#9596ec	#9a9a9a
#8cb5f3	#b0b1f4	#a8a9f5	#b1b1b1

Рисунок 3-13, 3-14 Перевірка контрастних коефіцієнтів палітри та імітація колірної сліпоты

Якщо вам не потрібно обирати колірну палітру, а треба просто перевірити контраст між двома кольорами – можна скористуватись пунктом в меню «Перевірити контраст»

Відкривається сторінка, де можна детально перевірити контрастний коефіцієнт між кольорами. Для цього потрібно ввести колір фону та колір тексту. Справа відобразиться те, як буде виглядати текст з обраним кольором на введеному фоні.

А знизу можна переглянути контрастний коефіцієнт між даними кольорами, а також відповідність цього коефіцієнту вимогам стандарту WCAG.

Рівень AA – відповідає мінімальному рівню доступності, якому повинен відповідати розроблений сайт.

Рівень AAA – відповідає найвищому рівню доступності.

«Нормальний» – означає, що дана вимога стосується нормального тексту з розміром менше ніж 24px, а «Великий» - означає, що дана вимога стосується тексту розміром від 24px, або ж товстого тексту розміром більшим за 18px.

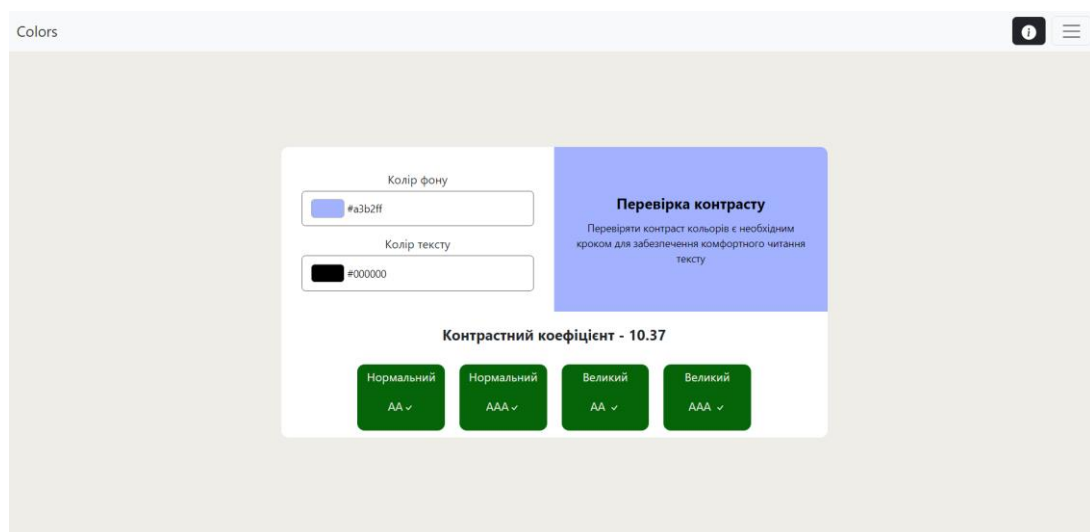


Рисунок 3-15 Перевірка контрастного коефіцієнту між двома кольорами

Для перегляду детальної інструкції по користуванню вебзастосунком та рекомендацій по створенню доступної колірної палітри потрібно натиснути на кнопку з іконкою інформації.

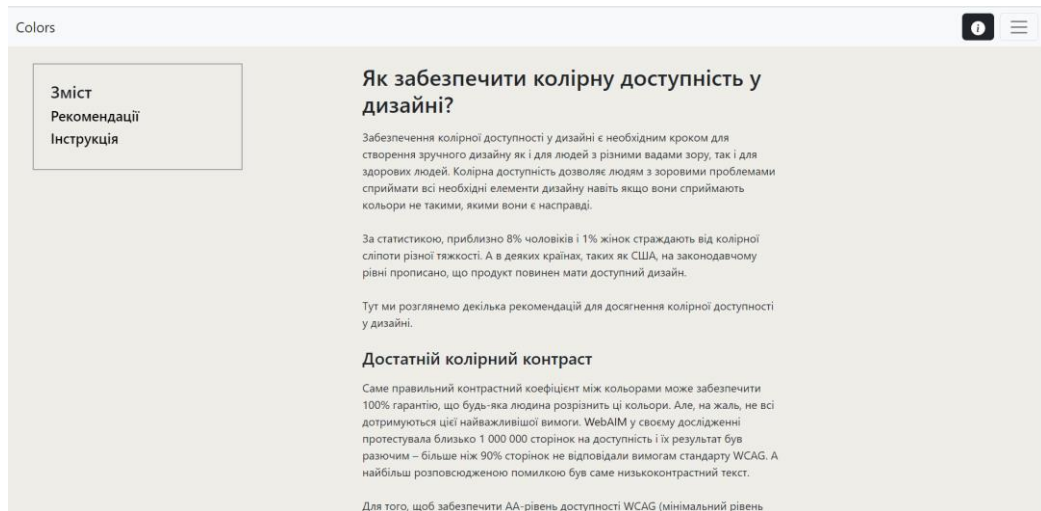


Рисунок 3-16 Рекомендації та інструкція до розробленого застосунку

Отже, в результаті було отримано вебзастосунок з простим інтерфейсом, який містить весь необхідний функціонал для створення колірної палітри і її перевірки на доступність.

Висновки

Результатом роботи став готовий вебзастосунок, який допоможе розробникам та дизайнерам створювати колірні палітри та перевіряти їх доступність, щоб задовольняти потреби як і здорових людей, так і людей з різними вадами зору, такими як колірна сліпота.

Розроблена програма – це вебзастосунок, в якому можна випадковим чином генерувати різні типи колірних палітр, а якщо вони не будуть задовольняти потреби користувача, то є можливість власноруч обрати кольори для палітри. А також в готовому вебзастосунку є весь необхідний функціонал для перевірки обраної палітри на доступність, а саме перегляд контрастних коефіцієнтів між кольорами та імітація колірної сліпоти, що допоможе відредагувати обрані кольори таким чином, щоб вони задовольняли основні потреби.

У ході роботи був проведений детальний аналіз предметної області, а саме досліджувалась природа кольору, способи гармонійних поєднань кольорів, типи колірної сліпоти та як це впливає на розробку доступного дизайну. Було розглянуто декілька колірних моделей (RGB, HSL, HSV, LMS), які допоможуть зручніше реалізувати створення гармонійних палітр кольорів та які необхідні для застосування симуляції колірної сліпоти. Для розуміння реалізації необхідного функціоналу, а саме генерації колірних поєднань, імітації колірної сліпоти і знаходження контрастного коефіцієнту між кольорами, було надано необхідні методи їх визначення. На базі отриманих даних, був розроблений генератор колірних палітр, які будуть доступними для широкого кола людей.

Для розробки інтерфейсу та функціоналу застосунка використовувалась вся потужність бібліотек React та Redux, а також фреймворку Bootstrap 5. Необхідні математичні перетворення реалізовувались за допомогою JavaScript.

Отже, розроблений вебзастосунок є готовим до використання генератором колірних палітр, за допомогою якого можна перевірити та покращити колірну доступність палітри.

Список використаної літератури

- 1) Shevell S. The Science of Color / Steven Shevell. – Oxford: Elsevier Science, 2003. – 351 с.
- 2) Іттен Й. Мистецтво кольору: Суб’єктивний досвід і об’єктивне пізнання як шлях до мистецтва. Навч. посіб. / Іттен Й. Пер. із нім. С. Святенко. Київ : ArtHuss, 2022. 96 с.
- 3) Основи теорії кольору. Навчально-методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 186 “Видавництво та поліграфія” усіх форм навчання / [упоряд. Т.І. Веретільник, Л.Д. Мисник, Капітан Р.Б., Мамонов Ю.П., Манзюра О.В.] ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2020 –130 с.
- 4) W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 [Електронний ресурс] / W3C – Режим доступу до ресурсу: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>.
- 5) WebAIM. The WebAIM Million [Електронний ресурс] / WebAIM – Режим доступу до ресурсу: <https://webaim.org/projects/million/>.
- 6) Coolors [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://coolors.co>.
- 7) Adobe Color [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://color.adobe.com/create/color-wheel>.
- 8) Muzli Colors [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://colors.muz.li>.
- 9) Understanding Color Models: A Review / N.Ibraheem, M. Hasan, R. Khan, P. Mishra. // ARPN Journal of Science and Technology. – 2012. – №2. – С. 265–275.

- 10) Gonzalez R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods., 2018. – 1022 с.
- 11) Brettel H. Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats / H. Brettel, F. Viénot, J. D. Mollon. // Color Research & Application. – 1999. – №24(4). – С. 243–252.
- 12) Ford A. Colour Space Conversions / A. Ford, A. Roberts., 1998. – 31 с.
- 13) Agoston M. K. Computer Graphics and Geometric Modeling. Implementation and Algorithms / Max K. Agoston., 2005. – 907 с.
- 14) Lee J. An adaptive fuzzy-based system to simulate, quantify and compensate color blindness / J. Lee, W. Pinheiro dos Santos. // Integr. Comput. Aided Eng.. – 2017. – №18. – С. 29–40.
- 15) Brettel H. Computerized simulation of color appearance for dichromats / H. Brettel, F. Viénot, J. D. Mollon. // Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision. – 1997. – №14(10). – С. 2647–2655.
- 16) Badlani J. A Novel Technique for Modification of Images for Deuteranopic Viewers / J. Badlani, C. Deshmukh. // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2016. – №5(4). – С. 467–473.
- 17) Swathi B. Color Blindness Algorithm Comparison for Developing an Android Application / B. Swathi, V. Roshan. // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2020. – №7. – С. 3608–3618.
- 18) React Bootstrap [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://react-bootstrap.github.io/>.
- 19) React [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://react.dev>.

20) Redux [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:
<https://redux.js.org>.