

1. Informacje ogólne

1.1. Cel aplikacji

Celem rozwiązania jest poszerzanie wiedzy uczniów szkół podstawowych i średnich z zakresu chemii poprzez umożliwienie im wykonywania interaktywnych eksperymentów w środowisku rozszerzonej rzeczywistości. Aplikacja pozwoli na przeprowadzanie doświadczeń, które z różnych względów, takich jak kwestie bezpieczeństwa, brak odpowiedniego sprzętu czy ograniczony dostęp do odczynników, nie mogą być realizowane w szkolnej klasie. Rozwiązanie nie tylko zwiększy możliwości edukacyjne, ale także w atrakcyjny sposób zachęci młodzież, pochłoniętą światem cyfrowym, do aktywnego i nieschematycznego poznawania nauki.

Technologia XR otwiera nowe możliwości w edukacji, łącząc naukę z interaktywnym doświadczeniem. W kontekście nauczania chemii pozwala na bezpieczne i realistyczne wykonywanie eksperymentów, które w szkolnych warunkach często są niemożliwe z powodu kosztów, ryzyka lub braku wyposażenia. Dzięki immersyjnemu środowisku uczniowie mogą aktywnie poznawać zjawiska chemiczne, co zwiększa zaangażowanie, zrozumienie i trwałość wiedzy. Rozwiązanie wpisuje się w rosnący trend wykorzystania XR w edukacji i ma potencjał szerokiego zastosowania zarówno w szkołach, jak i w nauce domowej. Inwestycja w ten projekt to krok w stronę nowoczesnej, atrakcyjnej i bezpiecznej edukacji, która skutecznie łączy świat nauki z technologią przyszłości.

1.2. Klient i docelowy odbiorca

Chcielibyśmy, aby przeznaczeniem naszego rozwiązania była edukacja, dlatego też głównymi klientami byłyby:

- **Wydawnictwa edukacyjne i platformy e-learningowe** - włączenie aplikacji do swoich pakietów dydaktycznych (np. wraz z podręcznikami lub kursami online).
- **Firmy tworzące oprogramowanie edukacyjne** - rozwój aplikacji i gier wspierających naukę poprzez XR.
- **Centra/muzea edukacyjne** - oferta płatnego dostępu do aplikacji w formie komercyjnej/rekreacyjnej - np. w muzeach typu Kopernik.
- **Dystrybutorzy sprzętu XR** - sprzedaż aplikacji w pakiecie ze sprzedawanymi urządzeniami.

Głównym odbiorcą i użytkownikiem byłyby by szkoły, a w szczególności uczniowie, którzy nie są w stanie wykonywać eksperymentów chemicznych w warunkach laboratorium szkolnego.

1.3. Ryzyka wdrażania rozwiązania

Wdrażanie rozwiązań do rozszerzonej rzeczywistości wiąże się z pewnymi ograniczeniami oraz ryzykiem, takim jak:

- **Wysokie koszty sprzętu i infrastruktury** – technologia XR wymaga odpowiednich urządzeń (okularów VR/AR, komputerów o wysokiej wydajności), co może ograniczać dostępność rozwiązania w szkołach.
- **Ryzyko niskiej adaptacji użytkowników** – część nauczycieli i uczniów może wykazywać niechęć do korzystania z nowych technologii z powodu braku doświadczenia, obaw przed trudnością obsługi lub sceptycyzmu do nowoczesnych rozwiązań.
- **Potencjalne problemy z bezpieczeństwem i komfortem użytkownika** – długotrwałe korzystanie z XR może powodować zmęczenie wzroku, dezorientację przestrzenną lub dyskomfort u niektórych użytkowników.

2. Scenariusz/Gameplay

2.1. Elementy rozgrywki

Gra będzie składać się z kilku poziomów kooperacyjnych, w których uczniowie wspólnie będą wykonywać doświadczenia, a każdy z poziomów będzie polegał na wykonaniu innej reakcji chemicznej, np.:

- Wulkan chemiczny;
- Barwne reakcje kwasów i zasad;
- Podpalenie łatwopalnego gazu.

Każdy z poziomów będzie rozpoczynał się wstępem bezpieczeństwa oraz instrukcją. Substancje wykorzystywane w doświadczeniu zostaną odpowiednio opisane i oznaczone, a zadaniem użytkowników będzie odnalezienie oraz wybranie właściwych probówek oraz narzędzi potrzebnych do przeprowadzenia eksperymentu. Współpracując będą musieli wykonać doświadczenie razem by przejść do następnego poziomu. Własnoręcznie sięgają po kolby,

pipety, odczynniki i sprzęt przy wykorzystaniu gestów dłoni. Po wykonaniu sekwencji czynności gracze obserwują w czasie rzeczywistym efekty reakcji chemicznej takie, jak bulgotanie, zmianę koloru, wydzielanie gazu czy eksplozję piany. Realistyczne efekty wizualne i dźwiękowe (syczenie, kapanie, trzask) wzmacniają immersję w wirtualny świat. Po każdym eksperymencie aplikacja pokazuje podsumowanie wyników: co się wydarzyło, dlaczego reakcja przebiegła tak, a nie inaczej, jaką zasadę chemiczną udało się poznać oraz ile punktów zostało przyznane. Jeżeli w ciągu kilku minut gracze nie ukończą poziomu, pojawia się możliwość uzyskania odpowiedzi wygenerowanej poprzez LLM.

LLM:

W każdym z etapów wykonywania pojedynczego eksperymentu po przekroczeniu pewnego czasu bez postępów, zostanie zadane pytanie, czy użytkownik chce uzyskać odpowiedź. Jeśli użytkownik wyrazi chęć pomocy, odpowiedź zostanie wyświetlona na ekranie. Dla każdego z etapów będzie przesyłane do modelu osobne żądanie różniące się od pozostałych, dzięki czemu odpowiedzi będą lepiej dopasowane do poszczególnych czynności wykonywanych przez uczniów.

2.2. Poziomy

Gra będzie rozpoczynać się od dołączenia użytkowników poprzez kod gry do lobby, z którego następnie jeden z uczniów będzie mógł wystartować wspólną grę poprzez kliknięcie w wiszący w powietrzu przycisk "Start". Kolejnym krokiem jest automatyczna analiza otoczenia oraz wizualizacja wspólnego stanowiska laboratoryjnego we wspólnej przestrzeni klasy. Uczniowie przechodzą przez kilka kolejnych poziomów, z czego na każdym odtzymują punkty. Poniżej scenariusze kolejnych doświadczeń:

2.2.1. Poziom 1 - Wulkan

Poziom polega na odtworzeniu doświadczenia wybuchającego pianą wulkanu. Poniżej kolejne kroki:

1. Przeczytaj wyświetloną instrukcję, zgodnie z którą należy postępować;
2. Zbierz niezbędne narzędzia i substancje za pomocą przesuwania obiektów palcem na ekranie smartfona:
 - a) Rozejrzyj się po klasie w poszukiwaniu niezbędnych elementów;
 - b) Złap każdy z przedmiotów (w tym przypadku: soda oczyszczona ($NaHCO_3$), ocet (CH_3COOH), kolba, sztuczny wulkan, czerwony barwnik spożywczy);
 - c) Przenieś każdy z przedmiotów na stanowisko doświadczalne;
 - d) Odlóż każdy z przedmiotów na wyznaczone na blacie stanowisko;
3. Złap kolbę i włóż ją do środka wulkanu;
4. Złap za pojemnik z sodą oczyszczoną, przechyl i wsyp jej zawartość do kolby;
5. Złap za probówkę z barwnikiem spożywczym, przechyl i wlej jej zawartość do kolby;
6. Złap za kolbę z octem, przechyl i wlej jej zawartość do kolby z sodą i barwnikiem;
7. Z wulkanu zaczyna wydobywać się czerwona "ława piana".

2.2.2. Poziom 2 - Reakcje kwasów i zasad

Poziom polega na odtworzeniu kilku mniejszych doświadczeń pokazujących jak rozpoznawać kwasowość poszczególnych substancji za pomocą odczynników oraz jak zmieniają się kolory odczynników w momencie styczności z innymi składnikami. Poniżej kolejne kroki następujących po sobie eksperymentów:

Zakwaszanie wody za pomocą CO_2

Scenariusz polega na pokazaniu jak dwutlenek węgla zmienia poziom kwasowości wody z wykorzystaniem zmiany koloru roztworu bromotylowego. Poniżej kolejne kroki:

1. Przeczytaj wyświetloną instrukcję, zgodnie z którą należy postępować;
2. Zbierz niezbędne narzędzia i substancje za pomocą przesuwania obiektów palcem na ekranie smartfona:
 - a) Rozejrzyj się po klasie w poszukiwaniu niezbędnych elementów;
 - b) Złap każdy z przedmiotów (w tym przypadku: niebieski zasadowy roztwór bromotylowy ($C_{27}H_{28}Br_2O_5S$), płaskie naczynie);
 - c) Przenieś każdy z przedmiotów na stanowisko doświadczalne;
 - d) Odlóż każdy z przedmiotów na wyznaczone na blacie stanowisko;
3. Złap za probówkę z roztworem, przechyl ją i wlej zawartość do płaskiego naczynia;
4. Przyłóż mikrofon telefonu do ust i dmuchnij w kierunku naczynia "emitując" CO_2 - mikrofon wykryje dźwięk z podmuchu;
5. Po dodaniu CO_2 do roztworu kolor płynu zmienia się w zielony, a następnie w żółty, sygnalizując zmianę pH.

Reakcje paska lakmusowego

Scenariusz polega na pokazaniu jak papierek lakmusowy reaguje z różnymi substancjami. Poniżej kolejne kroki:

1. Przeczytaj wyświetloną instrukcję, zgodnie z którą należy postępować;
2. Zbierz niezbędne narzędzia i substancje za pomocą przesuwania obiektów palcem na ekranie smartfona:
 - a) Rozejrzyj się po klasie w poszukiwaniu niezbędnych elementów;
 - b) Złap każdy z przedmiotów (w tym przypadku: papierek lakmusowy, roztwór chlorowodoru (HCl), roztwór wodorotlenku sodu ($NaOH$), roztwór chlorku sodu ($NaCl$));
 - c) Przenieś każdy z przedmiotów na stanowisko doświadczalne;
 - d) Odlóż każdy z przedmiotów na wyznaczone na blacie stanowisko;
3. Złap papierek lakmusowy i dotknij powierzchni pierwszego z roztworów, dzięki czemu papierek zmieni kolor;
4. Obok próbówki pojawią się trzy przyciski: "Zasada", "Obojętny", "Kwasowy" oraz liczba wskazująca wartość pH odczynu;
5. W zależności od koloru na jaki zmienił się pasek lakmusowy, wybierz odpowiedni przycisk z typem roztworu;
6. Powtórz dla pozostałych substancji.

Neutralizacja fenoloftaleiny

Scenariusz polega na pokazaniu czym jest neutralizacja i jak wpływa na kolor fenoloftaleiny. Poniżej kolejne kroki:

1. Przeczytaj wyświetloną instrukcję, zgodnie z którą należy postępować;
2. Zbierz niezbędne narzędzia i substancje za pomocą przesuwania obiektów palcem na ekranie smartfona:
 - a) Rozejrzyj się po klasie w poszukiwaniu niezbędnych elementów;
 - b) Złap każdy z przedmiotów (w tym przypadku: roztwór fenoloftaleiny ($C_{20}H_{14}O_4$), roztwór kwasu solnego (HCl), roztwór wodorotlenku sodu ($NaOH$), kolba, pipeta);
 - c) Przenieś każdy z przedmiotów na stanowisko doświadczalne;
 - d) Odlóż każdy z przedmiotów na wyznaczone na blacie stanowisko;
3. Złap probówkę z przezroczystym roztworem fenoloftaleiny, przechyl i wlej do kolby;
4. Złap probówkę z roztworem kwasu solnego, przechyl i wlej do kolby (zmieszany roztwór pozostaje przezroczysty);
5. Złap pipetę, przenieś ją do probówki z roztworem wodorotlenku sodu i naciśnij przycisk "Pobierz płyn" w celu pobrania pipetą płynu;
6. Przenieś wypełnioną pipetę nad kolbę i naciśnij przycisk "Dodaj kroplę";
7. Z każdą kolejną dodaną kroplą znajdujący się z boku pasek z wartością pH będzie zmieniał kolor oraz liczbę pH;
8. Po dodaniu kilku kropli do roztworu, zmieni on kolor na intensywny różowy.

2.2.3. Poziom 3 - Łatwopalny gaz

Poziom polega na odtworzeniu doświadczenia, w którym powstaje łatwopalny gaz w wyniku reakcji chemicznej. Poniżej kolejne kroki:

1. Przeczytaj wyświetloną instrukcję, zgodnie z którą należy postępować;
2. Podejdź do pojemnika z kurkami, po odkręceniu których do pojemnika wpuszczane są różne gazy;
3. Złap za kurek z podpisem "Amoniak" i przekręć, tak aby zaczął wydobywać się gaz;
4. Naciśnij przycisk z podpisem "Podpal gaz" w celu podpalenia łatwopalnego gazu i zaobserwowania reakcji chemicznej.

2.3. Punktacja

Aplikacja wykorzystuje elementy grywalizacji, a dokładniej punktację za poprawnie wykonane czynności, bonusy i kary. System będzie składał się z trzech źródeł punktów:

- **Punkty za poprawne wykonanie czynności** - za cały poziom możliwe będzie do zdobycia 10 punktów, które zostaną rozdzielone na wszystkie czynności w poziomie, w związku z czym będą zdobywane sukcesywnie;
- **Bonusowe punkty za czas** - jeżeli zadania zostaną wykonane szybciej niż przewidziany czas na dany poziom, do wyniku zostaną dodane 3 punkty bonusowe;
- **Ujemne punkty za wykorzystanie odpowiedzi** - jeżeli gracze będą mieli trudności z wykonaniem poszczególnych czynności, będzie możliwe poproszenie o odpowiedź wygenerowaną przez model LLM, jednak oznacza to stratę punktów za dany krok.

2.4. Interakcje i interfejs użytkownika

Cały interfejs użytkownika opiera się na klikaniu przez użytkownika w przyciski i obiekty na ekranie telefonu. Interakcje mają naśladować manipulację rzeczywistymi obiektami laboratoryjnymi w VR, przy jednoczesnym uproszczeniu obsługi dla uczniów.

Interakcje z obiektami będą dzieliły się na dwie kategorie: wybór i przeniesienie. Wybór przedmiotu będzie realizowany poprzez kliknięcie obiektu na ekranie telefonu oraz podświetlenie go obwódką w widocznym kolorze. Przenoszenie przedmiotów rozpoczyna się wyborem, a następnie przesuwa się razem z przesuwanym się po ekranie palcem. Ponowne kliknięcie w przedmiot umożliwia odłożenie go w aktualnej pozycji. Nie każdy z dostępnych do wyboru przedmiotów można przesunąć (np. kurek z gazem).

W każdym momencie po wyborze obiektu będzie można rozwinać menu kontekstowe akcji za pomocą kliknięcia w przycisk na ekranie z napisem "Actions". Po rozwinięciu pojawi się lista dostępnych do wykonania akcji, w zależności od poziomu oraz wybranego przedmiotu (np. "Wlej", "Dodaj kroplę", "Podpal", "Wymieszaj" itp.).

Oprócz interakcji między użytkownikiem a aplikacją, możliwe są również interakcje między obiektami, przykładowo po zetknięciu się dwóch substancji zostanie zmieniony kolor płynu będącego wynikiem reakcji chemicznej lub stan skupienia/kształt.

2.5. Nawigacja

System nawigacji bazuje na naturalnych ruchach użytkownika oraz na technologii AR, dzięki której elementy laboratoryjne „pojawiają się” na płaskiej powierzchni, takiej jak ławka lub biurko. Nawigacja jest intuicyjna, niewymagająca kontrolerów - cała interakcja odbywa się poprzez ruchy telefonu oraz dotyk ekranu.

Po uruchomieniu poziomu kamera telefonu skanuje otoczenie, a następnie system AR automatycznie wykrywa płaską powierzchnię, np. ławkę. Na ekranie pojawia się półprzezroczysta siatka lub delikatna poświata oznaczająca miejsce, gdzie zostanie wyświetlone wirtualne stanowisko. Po potwierdzeniu użytkownik widzi w pełni zrenderowane elementy laboratoryjne rozmieszczone na wykrytej powierzchni.

3. Projekt techniczny

3.1. Silnik i technologie

Podstawą technologiczną aplikacji *AR Alchemy* będzie silnik gier **Unity** wspierany przez framework AR Foundation. Wybór ten zapewnia elastyczność w zarządzaniu logiką gry oraz zaawansowaną obsługę rozszerzonej rzeczywistości na platformie Android (z wykorzystaniem bibliotek ARCore).

Kluczowe komponenty technologiczne obejmują:

- **AR Tracked Image**, czyli system rozpoznawania obrazów referencyjnych (np. znaczników na kartach pracy), który służy do inicjowania konkretnych zagadek lub wyświetlania modeli 3D w określonym miejscu;
- **Zarządzanie sesją AR** będzie się odbywać poprzez skrypty odpowiedzialne za stabilność śledzenia (tracking), wykrywanie płaszczyzn oraz zarządzanie cyklem życia obiektów wirtualnych;
- W **System czujników** wchodzi integracja z żyroskopem i akcelerometrem urządzenia w celu wykrywania fizycznego przechylenia telefonu, co jest kluczowe dla mechaniki przelewania substancji.

3.2. Architektura skryptów i logiki

Struktura kodu zostanie podzielona na moduły odpowiedzialne za konkretne funkcje aplikacji:

1. Centralnym elementem będzie obsługa wejścia użytkownika poprzez skrypty typu *RequestButtonPress*. Będą odpowiadać one za interpretację dotyku na ekranie oraz interakcję z elementami UI. Skrypty logiki zweryfikują poprawność wykonanych czynności (np. kolejność dodawania składników).
2. System pozwoli na intuicyjne zarządzanie wirtualnym szkłem laboratoryjnym:
 - **Wybór i Placement** zostanie wykonany poprzez skrypty pozwalające na podniesienie obiektu i precyzyjne umieszczenie go na stole laboratoryjnym;
 - **Obrót i Przechylenie** zostanie wykryte przez system wykrywa moment, w którym użytkownik przechyla wirtualną zlewkę. Po przekroczeniu zadanego kąta, uruchamiana jest animacja wylewania cieczy oraz logika transferu objętości między naczyniami.
3. Osobna grupa skryptów będzie zarządzać warstwą wizualną (UI) oraz sprzężeniem zwrotnym. Obejmuje to wyświetlanie dynamicznych podpowiedzi, pasków postępu reakcji oraz efektów cząsteczkowych (dym, bąbelki) aktywowanych w momencie "przelania" substancji.

3.3. Rozwiązania Multiplayer

Moduł wieloosobowy zostanie zaprojektowany w oparciu o współdzielenie przestrzeni AR, co umożliwia uczniom wspólną pracę nad jednym eksperymentem. Architektura sieciowa będzie wykorzystywać:

- **Kotwiczenie przestrzenne (Cloud Anchors)**, które pozwala na utworzenie wspólnego punktu odniesienia (kotwicy) w przestrzeni fizycznej. Dzięki temu wirtualne obiekty znajdują się w tym samym miejscu dla wszystkich uczestników sesji, niezależnie od ich pozycji w klasie;
- **Synchronizacja stanu** będzie się odbywać poprzez wymienianie na bieżąco informacji o stanie gry – np. jeśli jeden użytkownik chwyci kolbę, jest ona blokowana dla innych, a jej ruch jest odwzorowany na wszystkich urządzeniach w czasie rzeczywistym.

3.4. Narzędzia zewnętrzne

Poza środowiskiem Unity, w procesie produkcji zostaną wykorzystane:

- **Blender** do modelowania wyposażenia laboratorium;
- **Integracja z LLM API** modelu językowego generujące kontekstowe odpowiedzi dla uczniów w czasie rzeczywistym.

4. Projekt wizualny i UX

4.1. Stylistyka i estetyka

Warstwa wizualna aplikacji utrzymana będzie w stylu **low poly**, co zapewni optymalizację wydajności na urządzeniach mobilnych oraz czytelność edukacyjną. Kluczowym aspektem wizualnym jest **informacja zwrotna (feedback)**:

- Zastosowano wyraźne animacje cieczy, które reagują na przechylenie naczynia (zmiana poziomu płynu, efekt strugi przy przelewaniu);
- Zmiana koloru roztworów i efekty cząsteczkowe sygnalizują zajście reakcji chemicznej.

Poniżej znajduje się kilka przykładowych modeli (Rys. 1), które zostaną wykorzystane w doświadczeniach. Idąc od lewej są to: uchwyt na próbówkę, próbówka, probówka i kolby, palnik, wulkan.



Rys. 1: Przykładowe modele przyrządów laboratoryjnych.

4.2. Ergonomia i User Experience

Interfejs użytkownika zostanie zaprojektowany z myślą o obsłudze jedną ręką (kciukiem) lub w systemie dwuręcznym (trzymanie tabletu).

- Większość informacji (np. etykiety substancji) jest zakotwiczona bezpośrednio na obiektach 3D, a nie na płaskim ekranie, co zwiększa immersję;
- System wizualnie sygnalizuje, gdy próba interakcji jest niemożliwa (np. naczynie jest zbyt daleko lub kolizja obiektów jest niepoprawna).