

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 619

**KOLABORATIVNA INTERAKTIVNA APLIKACIJA ZA UČENJE
KEMIJE KROZ IGRU**

Iva Marić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 619

**KOLABORATIVNA INTERAKTIVNA APLIKACIJA ZA UČENJE
KEMIJE KROZ IGRU**

Iva Marić

Zagreb, lipanj 2024.

Zagreb, 4. ožujka 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 619

Pristupnica: **Iva Marić (0036521802)**
Studij: Računarstvo
Profil: Računarska znanost
Mentor: doc. dr. sc. Tomislav Jaguš

Zadatak: **Kolaborativna interaktivna aplikacija za učenje kemije kroz igru**

Opis zadatka:

Interes predstavlja ključnu emocionalnu i kognitivnu pokretačku snagu koja potiče učenike da istražuju, postavljaju pitanja i aktivno sudjeluju u učenju. Motivacija, s druge strane, igra presudnu ulogu u održavanju ustrajnosti i predanosti učenika prema postizanju obrazovnih ciljeva, pružajući im energiju i volju za usvajanjem novih znanja i vještina. U okviru ovog diplomskog rada potrebno je istražiti postojeće načine održavanja visoke razine interesa i motivacije učenika, te razviti obrazovnu aplikaciju za učenje kemije koja će implementirati neke od uočenih strategija. Potrebno je proučiti relevantnu literaturu, analizirati postojeće aplikacije i sustave za učenje kemije te koncipirati mobilnu aplikaciju koja će omogućiti učenje kemije kroz igru i vježbu. Aplikacija treba sadržavati različite obrazovne sadržaje, od prikaza periodnog sustava i značajki kemijskih elemenata do igara koje ispituju poznavanje sastava atomske jezgre, elektronske konfiguracije i kemijskih jednadžbi. Također, potrebno je ostvariti podršku za interakciju među korisnicima, odnosno omogućiti im da se kroz aplikaciju natječu ili surađuju (npr. kroz igru potapanja brodova). Razvijeni sustav je potrebno testirati s ciljanom skupinom korisnika.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Sadržaj

Uvod	3
1. Pregled područja	4
1.1. Osnovni pojmovi	4
1.2. Igrifikacija nastave	5
1.3. Nacrt igrifikacije.....	7
1.4. Motivacija učenika	9
1.5. Suradničko učenje	11
1.6. Mobilna igra za učenje kemije	12
1.7. Postojeća rješenja	13
2. Korištene tehnologije	19
2.1. Operacijski sustav iOS	19
2.2. Programski jezik Swift.....	19
2.3. Alat za sučelje SwiftUI	20
2.4. Arhitektura Swift Composable	22
2.5. Radni okvir Combine	27
2.6. Baza podataka Firestore	28
3. Opis sustava	34
3.1. Prijava i uvod	34
3.2. Prikaz periodnog sustava	35
3.3. Igre za učenje kemije.....	38
3.4. Natjecanje između učenika	41
3.5. Sustav nagrađivanja	44
4. Testiranje aplikacije	45
4.1. Ciljana skupina.....	45

4.2.	Skupljanje podataka	45
4.3.	Rezultati testiranja	46
4.4.	Moguća poboljšanja.....	48
Zaključak.....		51
Literatura		52
Sažetak.....		54
Summary.....		55

Uvod

Igrifikacija i suradničko učenje su suvremene didaktičke metode koje, uz korištenje informacijsko-komunikacijskih tehnologija, potiču učenike da iz pasivne uloge slušatelja i promatrača pređu u aktivnu ulogu tvoraca i izvođača u procesu učenja. Primjena ovih metoda omogućuje učenicima interaktivno i angažirano učenje koje značajno poboljšava njihovo razumijevanje i usvajanje gradiva. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti postojeće metode održavanja interesa i motivacije kod učenika te razviti obrazovnu aplikaciju koja će omogućiti učenje kemije kroz interaktivne igre i vježbe.

Kako bi se stekao uvid u postojeća rješenja te proučile osmišljene metode i njihov način primjene, istražena je prikladna literatura i već ostvarene aplikacije na trenutnom tržištu. Osnovni pojmovi, srodni radovi i slična rješenja predstavljena su u prvom poglavlju. Pri implementaciji aplikacije korišteni su inovativni alati i tehnologije kako bi se održala njezina skalabilnost i osiguralo što ugodnije korisničko iskustvo. Detaljni opis arhitekture, korisničkog dijela i baze podataka može se pronaći u drugom poglavlju.

Aplikacija razvijena u okviru ovog diplomskog rada obuhvaća raznovrsne obrazovne sadržaje, od prikaza periodnog sustava i značajki kemijskih elemenata do igara koje testiraju poznavanje sastava atomske jezgre, elektronske konfiguracije te kemijskih formula i jednadžbi. Pored toga, aplikacija omogućuje korisnicima međusobnu interakciju kroz natjecateljsku igru potapanja brodova. Kako bi mogli pratiti svoj napredak, ali i usporediti se s drugim igračima, korisnici su poredani na ljestvici najboljih na osnovu nagrada dobivenih iz igara. Ove ali i ostale funkcionalnosti aplikacije opisane su detaljnije u trećem poglavlju.

U cilju procjene iskoristivost aplikacije u igrifikaciji nastave i motiviranju učenika provedeni su testiranje nad skupinom srednjoškolaca i intervju s nastavnicom kemije. Rezultati testiranja, ostali dojmovi i primjedbe zapisani su u četvrtom poglavlju. Zaključak o korištenim obrazovnim metodama i uspjehu aplikacije u njihovom ostvarenju nalazi se u zadnjem poglavlju rada.

1. Pregled područja

1.1. Osnovni pojmovi

Kemija je jedan od ključnih prirodoslovnih predmeta u srednjim školama. Zbog svoje matematičke prirode, zahtijeva logičko zaključivanje i sposobnost generalizacije, što može predstavljati poteškoće učenicima ako se koriste neprikladne metode poučavanja. To često rezultira slabijim akademskim uspjehom od očekivanog [1]. Kako bi se poboljšala nastava, znanstvenici i nastavnici razvili su niz alternativnih strategija i metoda poučavanja koje aktivnije uključuju i motiviraju učenike u procesu učenja.

Jedna od tih alternativnih metoda je igrifikacija koja doprinosi aktivnijoj ulozi učenika. Pojam je uveo britanski doktor matematike i programer računalnih igara Nick Pelling 2004. godine. Igrifikacija se može definirati na različite načine, uključujući korištenje digitalnih igara za učenje [2] i primjenu principa igre u sklopu drugih aktivnosti [3] kako bi se povećala uključenost i interes sudionika.

Metoda izaziva snažne emocije kod učenika, od znatiželje i frustracije do radosti i zadovoljstva. Također, omogućava učenicima da prevladaju negativne emocije i pretvore ih u pozitivne. Natjecateljski aspekt igre pruža pozitivna emocionalna iskustva, poput ponosa. Igrifikacija omogućuje učenicima da dožive pogreške i neuspjehe koje mogu pretvoriti u uspjeh kroz ustrajnost, učenje na greškama i korištenje drugih pristupa učenju. U okruženju gdje se nagrađuje trud, a ne savršenstvo, učenici mogu shvatiti da su pogreške sastavni dio učenja, a ne izvor straha ili bespomoćnosti.

Druga metoda je suradničko učenje. Ono uključuje rad učenika u malim grupama, potičući grupnu dinamiku, pozitivne interakcije i motivaciju za učenje.

U okviru grupe, učenici surađuju, razmjenjuju ideje, razumiju mišljenja drugih, razvijaju sposobnosti diskusije i preuzimaju inicijativu, što može dovesti do kreativnijih rješenja problema. Čak i akademski slabiji učenici mogu doprinijeti grupnom radu i doživjeti uspjeh, čime se poboljšava razumijevanje obrađene teme za sve učenike. Suradnički rad također potiče pozitivno iskustvo učenika prema školi, učitelju i kolegama, što je važno za njihov daljnji razvoj.

Unatoč sve većoj primjeni suradničkog učenja kao strategije aktivnog učenja [4] ova se metoda rijetko koristi u nastavi kemije [5].

1.2. Igrifikacija nastave

U radu "Analysis of Gamification in Education"[6] autori A. Stott i C. Neustaedter su proveli sveobuhvatnu analizu postojeće literature o igrifikaciji u obrazovanju te su ispitali tri studije slučaja u visokoškolskom obrazovanju. Njihov cilj bio je razumjeti učinkovitost, prednosti, izazove i potencijalne primjene igrifikacije u nastavi. Njihov rad daje priznanje igrifikaciji kao strategiji za poboljšanje rezultata učenika i nudi vrijedne uvide, prvenstveno za nastavnike, ali i za sve one koji žele iskoristiti dinamiku igre za motiviranje postignuća učenika.

Stott i Neustaedter ističu nekoliko ključnih točaka [6] koje mogu biti od velike koristi u implementaciji rješenja igrifikacije u nastavi, poput razvoja kolaborativne interaktivne aplikacije za učenje, koja je ujedno i tema ovog diplomskog rada. Neke od tih točaka su sljedeće:

Sloboda neuspjeha

Kad je riječ o dizajniranju igre, sloboda neuspjeha znači da je igračima omogućeno eksperimentiranje bez straha od nepovratnih posljedica. To se postiže pomoću mehanizama poput višestrukih života ili kontrolnih točaka. U interaktivnoj aplikaciji za učenje to se može ostvariti implementiranjem jednostavnih zadataka koji se mogu rješavati beskonačan broj puta.

Brza povratna informacija

Pružanje neposredne i ciljane povratne informacije igračima na temelju njihovih radnji igra veliku ulogu u održavanju njihove pažnje. Ova povratna informacija pomaže igračima da shvate posljedice svojih odluka te brzo uče iz njih. Stoga bi bilo dobro u aplikaciju za učenje uključiti mehanizme povratne informacije kao što su točni/netočni odgovori, objašnjenja rješenja ili savjeti za poboljšanje. Oni mogu pomoći učenicima da brže shvate razne koncepte i prilagode svoje strategije učenja.

Napredovanje

Dizajn zanimljive i korisne igre obično uključuje strukturirano napredovanje kroz razine ili misije, često s rastućom složenošću ili težinom. Takav napredak daje osjećaj postignuća i motivira igrača da se nastave baviti igrom. Implementacija napredovanja u aplikaciji za učenje kemije može uključivati organiziranje sadržaja učenja u različite module. Učenici onda mogu napredovati do izazovnijih tema ili aktivnosti uspješno rješavajući zadatke ili kvizove.

Pričanje priče

Pripovijedanje u igrama podrazumijeva uključivanje narativnih elemenata za stvaranje zanimanja i privlačnih iskustava. Priče pružaju dodatan kontekst i pomažu igračima u emocionalnom povezivanju sa svijetom igre. Dakle, dodavanje elemenata pripovijedanja u interaktivnu aplikaciju za učenje može olakšati usvajanje i pamćenje apstraktnih koncepata. Na primjer, to bi moglo biti uključivanje likova i priča vezanih uz kemijska otkrića i povijesne događaje.

Kolaborativni procesi

Kolaboracija u igrifikaciji obrazovanja znači poticanje timskog rada i suradnje među učenicima. To se obično postiže kroz grupne projekte, ocjenjivanje ili rasprave unutar timova. Neki mogući oblici suradnje u aplikaciji za učenje kemije mogu biti virtualni grupni eksperimenti ili zajednički zadatci te forumi za raspravu ili jednostavni chat unutar aplikacije. Tako bi učenici mogli na jednostavan način razmjenjivati ideje, postavljati pitanja i podržavati druge u učenju.

Natjecanje

Natjecanje u obrazovnim igrama uključuje rangiranje na ljestvici rezultata, posebne natjecateljske izazove ili ocjenjivanje na osnovu uspjeha u igri. Kad je u pitanju interaktivna kolaborativna aplikacija za učenje kemije, natjecanje je moguće ostvariti pomoću raznih postignuća koja bi trebala poboljšati individualne rezultate učenika zahvaljujući njihovom cilju nadmašivanja svojih kolega. Štoviše, natjecateljski izazovi, posebno vremenski ograničeni, u aplikaciju mogu dodati primamljiv element uzbuđenja.

Šok-vrijednost

Autori Stott i Neustaedter u radu ističu kako se čini da studenti dugoročno bolje pamte informacije kada su povezane s tzv. "šok-vrijednosti" [6]. Odnosno, nezaboravna ili dojmliiva iskustva poboljšavaju zadržavanje povezanih informacija. To bi značilo da uključivanje elemenata iznenađenja u sadržaj aplikacije može potencijalno poboljšati zadržavanje informacija među učenicima. Na primjer, integracija multimedijskog sadržaja koji izaziva snažne emocionalne reakcije ili uključuje višestruka osjetila može pomoći u dugotrajnom pamćenju raznih koncepata u kemiji.

Autori ističu kako je važno prepoznati koji od navedenih koncepata su korisni u određenom kontekstu jer u protivnom se igrifikacija nastave može ispostaviti beskorisnom, a u najgorim slučajevima i kontra-produktivnom [6]. No, i u tom slučaju kažu autori: „*U najmanju ruku svi uključeni mogu učiti iz procesa, a nije li to srž obrazovanja?*“.

1.3. Nacrt igrifikacije

Studija „Development of a Gamification Blueprint for Teaching Chemistry in Junior High School“ [7] usvaja pristup planiranja, izrade, istraživanja i djelovanja (PDSA, eng. *plan-do-study-act*) u razvoju nacrt igrifikacije za laboratorijsku nastavu kemije u srednjoj školi.

Za postizanje ciljeva istraživanja prikupljeni su kvalitativni i kvantitativni podaci. Preliminarni podaci o igrifikaciji prikupljeni su iz znanstvenih članaka. Za prikupljanje povratnih informacija korištene su ankete o učinkovitosti elemenata igre u promicanju motivacije i učenja u kemiji. Osim toga, izravna opažanja, zapisi o ponašanju i anegdotske bilješke istraživača bili su osnova za razvoj i usavršavanje nacrt igrifikacije.

U prvoj fazi analizirani su časopisi o igrifikaciji, identificirani su ključni atributi koji su potom uključeni u početni nacrt. Među njima su:

- Pravila: Definirana očekivanja i standardi za rutine i postupke unutar razreda.
- Ocjenjivanje: Igre s rastućim razinama težine kako bi se omogućilo skaliranje učenja.
- Ljestvica bodovanja: Prikazani rezultati na temelju sudjelovanja i postignuća.

- Značke: Žetoni koji se dodjeljuju za stjecanje vještina ili dobro ponašanje.
- Postignuća: Zabilježeni pojedinačni dovršeni zadaci i zarađene nagrade.
- Ekonomija igre: Strukturirani sustav trgovanja u kojem se izvršenjem zadatka dobivaju marke koje se mogu zamijeniti za nagrade.

U drugoj fazi je učenicima predstavljen nacrt igrifikacije. Na temelju povratnih informacija sudionika i promatrača napravljene su izmjene nacrtu među kojim su se nalazili:

- Pобољшanje interakcije u razredu: Uvedene su suradničke igre kako bi se promovirala interakcija, poboljšalo učenje i smanjilo radno opterećenje nastavnika.
- Dodavanje digitalnih komponenti: Dodani su zadatci kako bi se učenicima omogućilo kreativno izražavanje kroz pjesme, crteže i digitalni dizajn.

Povratne informacije su kontinuirano analizirane kako bi se ostvarila iterativna poboljšanja u nacrtu.

Motivacija učenika praćena je pomoću Skale situacijske motivacije (SIMS, eng. *Situational Motivational Scale*) koja pokazuje promjene intrinzične motivacije, unutarnje regulacije, vanjske regulacije i demotivacije tijekom provedbe istraživanja. Intrinzična motivacija je vođena unutarnjim nagradama i osobnim interesom za temu. Unutarnja regulacija je vođena internim ciljevima i propisima, ali možda nije toliko samovoljna kao intrinzična motivacija. Vanjska regulacija je motivacija pod utjecajem vanjskih čimbenika, kao što su ocjene, nagrade ili drugi vanjski pritisci. Demotivacija je nedostatak motivacije, pojavljuje se kad učenici ne vide nikakvu vrijednost ili razlog za uključivanje u aktivnost.

Kako pokazuje Slika 1, tijekom tri tjedna se smanjila intrinzična motivacija učenika, dok su se unutarnja i vanjska regulacija povećale. Demotivacija, iako još uvijek niska, pokazuje blagi porast. Ovaj trend mogao bi značiti da se, kako je vrijeme odmicalo, motivacija učenika pomaknula s osobnog interesa na to da su više vođeni unutarnjim ciljevima i vanjskim pritiscima. Porast demotiviranosti, iako neznatan, može ukazivati na potencijalne izazove u održavanju motivacije za neke učenike.

Week Number	Intrinsic Motivation	Internal Regulation	External Regulation	Amotivation
1	63.79%	30.34%	5.52%	0.34%
2	56.03%	36.88%	6.74%	0.35%
3	39.33%	47.75%	11.24%	1.69%

Slika 1. Razina motiviranosti učenika za igrifikaciju kemije u prva tri tjedna [7]

U zaključku ovog rada istaknuto je kako je za igrifikaciju važan pažljiv odabir i implementacija elemenata igre, pri čemu bi se trebalo usredotočiti na:

- Učinkovitost: postizanje motivacije učenika, poboljšanje vještina i olakšavanje iskustva učenja.
- Intuitivnost: davanje konteksta elementima igre u učionici.
- Održivost: optimiziranje upotrebe, implementacije i izmjene elemenata igre.
- Usmjerenost na korisnika: visoka upotrebljivosti i angažman među sudionicima.

Osim toga, naglašena je važnost stalnog poboljšanja implementacije i uključenosti sudionika u tom procesu. Rezultati upućuju na to da igrifikacija može značajno poboljšati motivaciju i angažman učenika te stvoriti pozitivan stav prema kemiji.

1.4. Motivacija učenika

U radu „Gamification: Game As A Medium For Learning Chemistry To Motivate And Increase Retention Of Students' Learning Outcomes“ [8] autora A. Lutfi, F. Aftinia, B. E. Permani razvijena je igra temeljena na operacijskom sustavu Android pod nazivom "Hydrocarbons Chem-Rush".

Predmet rada je igrifikacija u cilju učenja značajki ugljikovodika, odnosno njezina korisnost u tom kontekstu. Pri razvoju igre autori su slijedili metodu istraživanja i razvoja koja se sastoji od tri koraka: preliminarna studija, razvoj proizvoda i testiranje. U radu je poseban naglasak na fazi testiranja, posebice na probnoj igri testiranoj u eksperimentalnom razredu. Zaključci doneseni u radu zasnovani su na istraživanju i anketama o implementiranoj igri, a odnose se ponajviše na njezinu valjanost, praktičnost i učinkovitost.

Valjanost je utvrđena stručnom provjerom, praktičnost je izmjerena odgovorima učenika i promatranjem njihovih aktivnosti, a učinkovitost je određena ishodima učenja i upitnicima o motivaciji učenika. Rezultati anketa o motivaciji dokaz su značajnih poboljšanja u različitim aspektima koji uključuju pažnju, relevantnost, samopouzdanje i zadovoljstvo. Iz tablice (Slika 2) je vidljivo da se izmjereni postotci motivacije kreću se na relativno visokim razinama, od 75,2% do 90,4%. To sugerira da igra učinkovito motivira učenike te time potiče pozitivno ozračje učenja i aktivno sudjelovanje.

No.	Motivation Aspect	Percentage
1	Attention	80.8% - 90.4%
2	Relevance	76.0% - 79.2%
3	Confident	75.2 % - 84.8%
4	Satisfaction	84.0% - 89.6%

Slika 2. Tablica iz studije, postotci motivacijskih aspekata izmjereni kod učenika [8]

Zanimljiva je i još jedna tablica koja se može pronaći u radu ovih autora [8], a to je tablica s validacijom aspekata implementacije aplikacije. Ona ističe fokus autora na:

- Valjanost sadržaja: Ocjenjuje ispravnost i prikladnost koncepata za učenje u igri
- Korisnost sadržaja: Procjenjuje usklađenost značajki igre s ishodima učenja i potrebama učenika
- Dostupnost učenicima: Razmatra koliko dobro igra odgovara različitim stilovima učenja i sposobnostima učenika
- Pravila i zahtjevi igre: Ispituje jasnoću i razumljivost pravila igre i preduvjeta za igranje
- Povratna informacija: Procjenjuje utjecaj kazni za neuspjeh, odnosno nagrada za uspjeh
- Aplikacija kao sredstvo za učenje: Ocjenjuje vizualne aspekte igre, upotrebu boja, veličinu fonta, animacije i kvalitetu jezika
- Programsko inženjerstvo: Fokusira se na upotrebljivost i kompatibilnost same aplikacije

- Audio-vizualna komunikacija: Razmatra privlačnost i koherentnost naracije, zvučnih efekata, dizajna pozadine i glazbe unutar igre

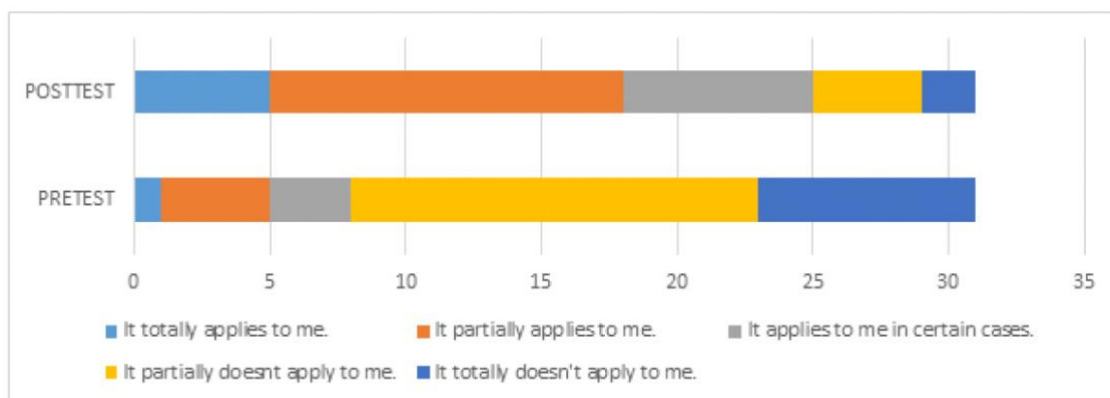
Korisno je razmotriti ove značajke pri razvoju bilo kakve aplikacije za učenje, pa su stoga te značajke uzete u obzir i pri implementaciji aplikacije opisane u ovom diplomskom radu.

1.5. Suradničko učenje

Temom suradničkog učenja u području kemije bavi se E. Rudolf u okviru rada „With gamification to collaborative learning in chemistry lessons“ [9]. Ovo istraživanje bavi se temom kako igrifikacija i suradničko učenje utječu na proces učenja u nastavi kemije. Hipoteze istraživanja su ostvarenje povećane motivacije i razumijevanje te poboljšanje akademskog uspjeha zahvaljujući tim metodama.

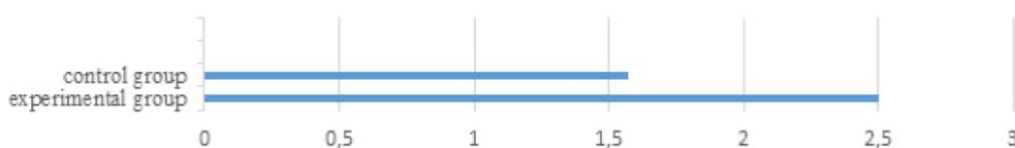
U istraživanju je sudjelovalo 57 učenika Srednje ekonomske škole Maribor podijeljenih u eksperimentalnu i kontrolnu skupinu. Obje skupile učile su gradivo o organskim spojevima. Kontrolna skupina je koristila tradicionalne metode, dok je eksperimentalna skupina koristila aplikacije Quizlet live i Socrative Space race koje su služile za ostvarenje natjecanja među grupama studenata. Učinak je mjeran pomoću anketa prije i nakon testiranja te pomoću običnih testova na papiru kako bi se dobila procjena akademskog uspjeha.

Početna istraživanja pokazala su sklonost tradicionalnim metodama učenja. Međutim, nakon provođenja suradničkog učenja, studenti u eksperimentalnoj skupini su pokazali povećanu motivaciju, bolje razumijevanje i veću sklonost tom načinu učenja. Broj učenika koji vjeruju da suradničko učenje doprinosi boljem razumijevanju obrađenih sadržaja porastao je s početnih 8 (25,8%) na 25 učenika (80,6%) nakon provođenja eksperimenta (Slika 3).



Slika 3. Utjecaj suradničkog učenja na razumijevanje sadržaja učenja [9]

Eksperimentalna skupina također je imala bolje akademske rezultate, osobito među akademski slabijim učenicima i onima s posebnim potrebama. Kako je vidljivo na grafu (Slika 4), prosječna ocjena svih učenika koji su ocjenjivani na pisanoj provjeri bila je viša među učenicima eksperimentalne skupine (ukupno 2,5 od 5), nego među studentima kontrolne skupine (s prosječnom ocjenom 1,57).



Slika 4. Prosječna ocjena eksperimentalnih skupina na pisanom ispitu [9]

1.6. Mobilna igra za učenje kemije

A Lutfi i R Hidaja autori su rada „Gamification for Learning Media: Learning Chemistry with Games Based on Smartphone“ [10] koji zagovara uporabu mobilnih aplikacija kao igara za učenje kemije.

U ovom eksperimentu, koji je uključivao učenike srednje škole, korišten je dizajn kontrolne grupe. Eksperimentalna skupina za učenje je koristila igre temeljene na pametnim telefonima, dok kontrolna nije.

Učinkovitost je mjerena kroz aktivnosti učenika, upitnike, ishode učenja i zadržavanje znanja.

- Aktivnost učenika: Rezultati su pokazali angažman 90,47% učenika eksperimentalne skupine, a to je dokaz aktivnog sudjelovanja i motivirajućeg okruženja.

- Upitnici su donijeli sljedeće rezultate: interes studenata - 93,3%, korisnost aplikacije - 98,2%, lakoća razumijevanja - 95,7%. Visoki postoci odražavaju snažan interes učenika i pozitivno prihvaćanje ovog pristupa učenju.
- Ishodi učenja: Rezultati testiranja prije i nakon provođenja eksperimenta potvrdili su značajna poboljšanja u eksperimentalnoj skupini, što ukazuje na uspješne ishode učenja.
- Zadržavanje znanja: Eksperimentalna skupina pokazala je 96,6% zadržanog znanja, u usporedbi s 58,63% u kontrolnoj skupini, te je time dokazana učinkovitost igre u osiguravanju dugoročnog pamćenja ishoda učenja.

Assessed Indicator	Averages
Attention	91.11%
Relevance	92.22%
Confidence	93.33%
Satisfaction	88.89%

Slika 5. Rezultati upitnika o motivaciji učenika [10]

Kako je vidljivo u tablici (Slika 5), prosječna ocjena motivacije je relativno visoka (91,39%). Zahvaljujući tomu autori zaključuju kako učenici preferiraju koristiti medije za igrifikaciju učenja koje mogu koristiti unutar i izvan učionice [10]. Nadalje, ističu kako bi nastavnici kemije trebali uključiti takve medije, poput pametnih telefona, u cilju povećanja zalaganja učenika i poboljšanja rezultata učenja.

1.7. Postojeća rješenja

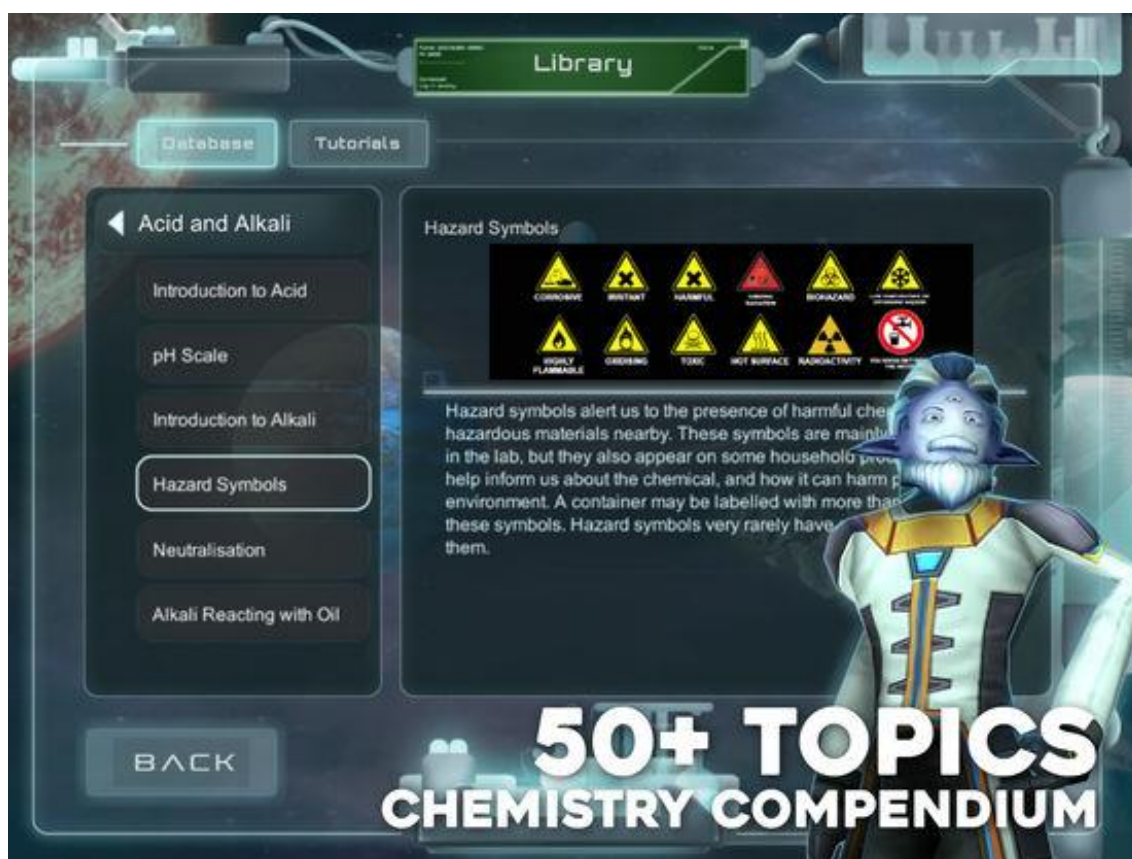
Postojeća rješenja u području obrazovnih aplikacija i igara za učenje kemije često imaju nekoliko značajnih nedostataka. Mnogima nedostaje komponenta suradnje među korisnicima, ne uključuju elemente natjecanja koji bi motivirali učenike, te ne omogućuju napredovanje kroz različite razine složenosti. Osim toga, često su previše specifične za određeno područje kemije ili su tematski previše napredne za ciljanu dobnu skupinu. Mnoga od ovih rješenja su razvijena za određene operacijske sustave, što ograničava njihovu dostupnost, a mnoge od njih su već davno razvijene i nisu se značajno ažurirale kako bi pratile nove pedagoške trendove i tehnološke inovacije.

1.7.1. Starfall Catalyst

„Starfall Catalyst“ [11] je 3D pucačina iz trećeg lica osmišljena za podučavanje pojmova kemije kroz interaktivno igranje.

Glavni lik, Theos, svemirski kadet, i njegova družica, Oya, prolaze kroz razne izazove. Njima se pridružuju sporedni likovi Arches, Kryx, Faye i Tarque, svaki s detaljnim biografijama i ilustracijama. Početni zadaci uključuju uništavanje prijetnji i učenje mehanike igre kroz upute i praktične poduke. Kako bi napredovali, igrači istražuju futuristička okruženja, rješavaju kemijske izazove i odgovaraju na pitanja. Igra uključuje značajku "Knjižnica" koja pruža informacije, upute i detalje o potrebnim kemijskim eksperimentima. Time je na jednostavan način ostvareno učinkovito potkrepljivanje znanja.

Igra ima više od 20 razina u tri svijeta, a uključuje kvizove i igre koje spajaju obrazovni sadržaj sa zabavom. Visoko je ocijenjena te je dostupna na Android i iOS uređajima. Namijenjena je osnovnoškolskoj djeci (7-11 godina) i ima za cilj razviti kritičko mišljenje i komunikacijske vještine.

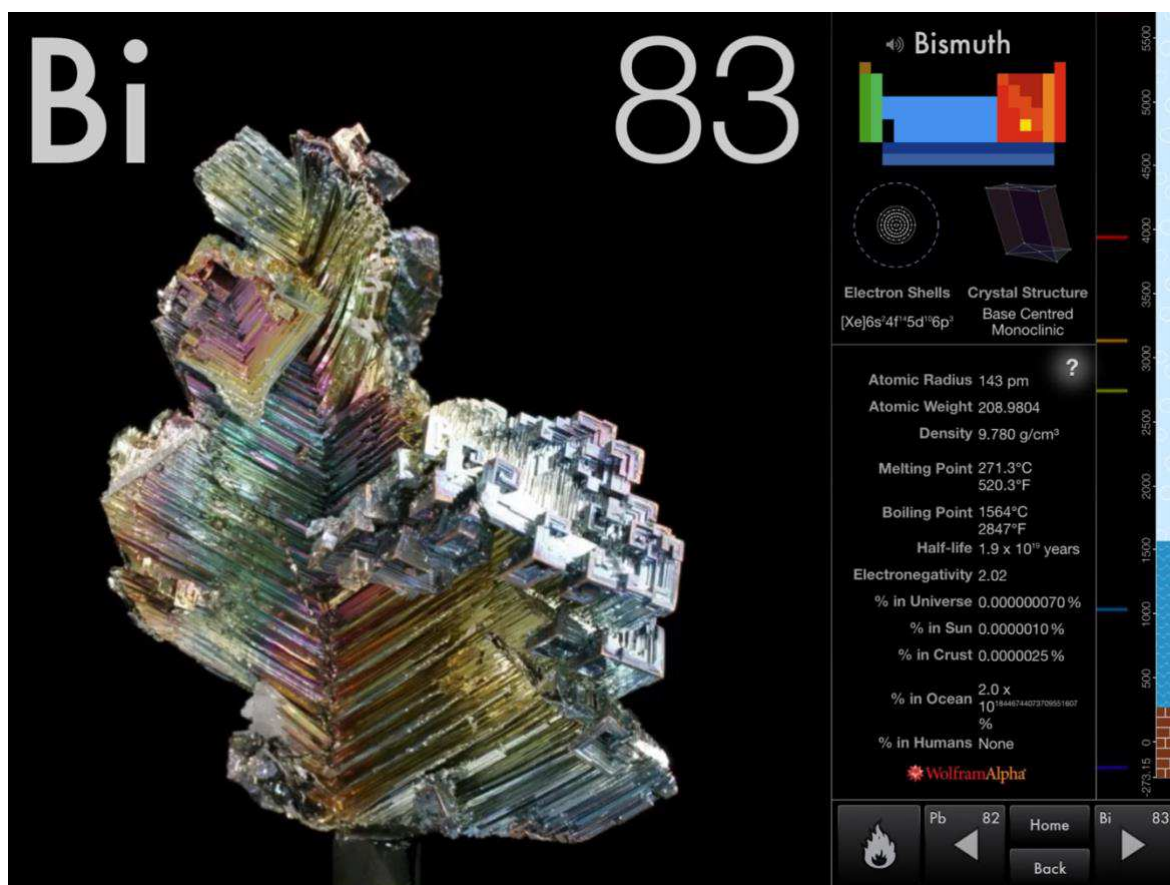


Slika 6. Snimka zaslona Knjižnice igre Starfall Catalyst [11]

1.7.2. The Elements by Theodore Gray

Aplikacija za iOS, „The Elements“ [12] autora Theodorea Graya, ističe se pretvaranjem periodnog sustava u interaktivno istraživanje bogato pričom, čime korisnicima pokazuje da je periodni sustav puno više od brojeva i slova.

U aplikaciji se nalazi interaktivni periodni sustav u kojem je svaki element prikazan rotirajućim uzorkom. Dodirom na element otkriva se rotirajuća slika visoke rezolucije. Svaki element dolazi s nizom činjenica, brojki i zanimljivih priča. Preko 500 objekata povezanih s elementima je fotografirano i moguće ih je detaljno pregledati iz svih kutova. Objekti se mogu zumirati prstima i gledati u 3D prikazu preko cijelog zaslona.



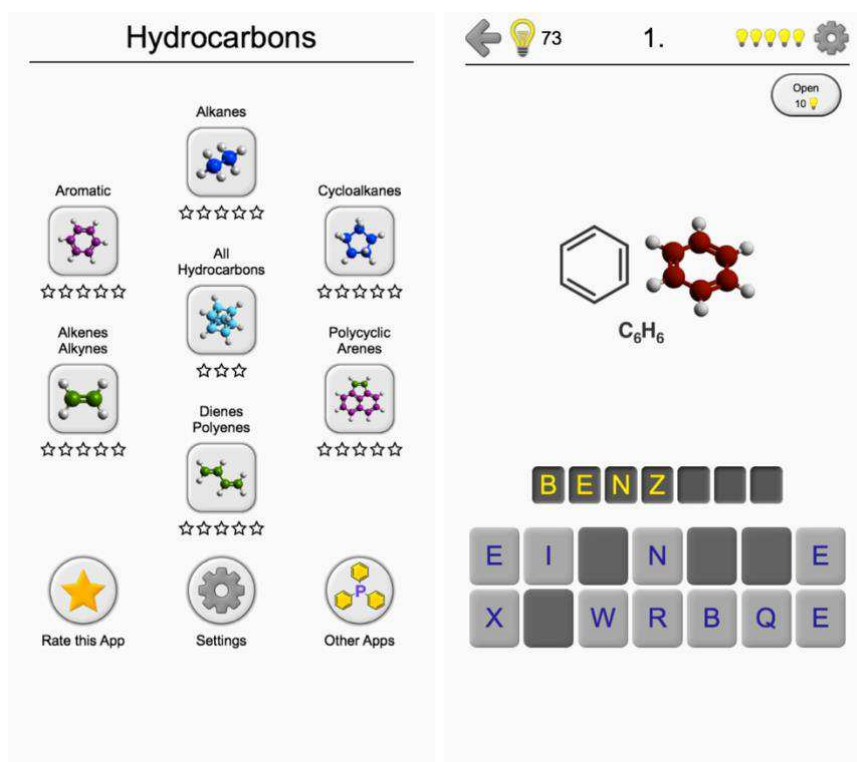
Slika 7. Snimka zaslona aplikacije The Elements, prikaz informacija o Bizmutu [12]

1.7.3. Hydrocarbons Chemical Formulas

Aplikacija „Hydrocarbons Chemical Formulas“ [13] uključuje više od 180 strukturnih formula ugljikovodika i predstavlja opsežan alat za učenje kemijskih naziva i struktura.

Obrazovni sadržaj započinje s osnovnim strukturama kao što su metan i benzen te napreduje do naprednih spojeva kao što su benzopiren i kuban. Aplikacija nudi više vrsta igara za učenje, među kojima su kvizovi s pravopisom, pitanja s višestrukim izborom i igra s vremenskim ograničenjem (u cilju odgovaranja na što više pitanja u jednoj minuti). Osim toga, moguće je ponavljati gradivo koristeći kartice namijenjene za to, tzv. flash-kartice.

Aplikacija zahtijeva operacijski sustav Android 4.0.3 ili noviji, a s više od 100 000 preuzimanja pokazala se kao popularan izbor za učenje tema o ugljikovodicima. Kao svestrani alat za različite razine obrazovanja, pogodna je za učenike koji se pripremaju za testove, ispite i kemijske olimpijade.

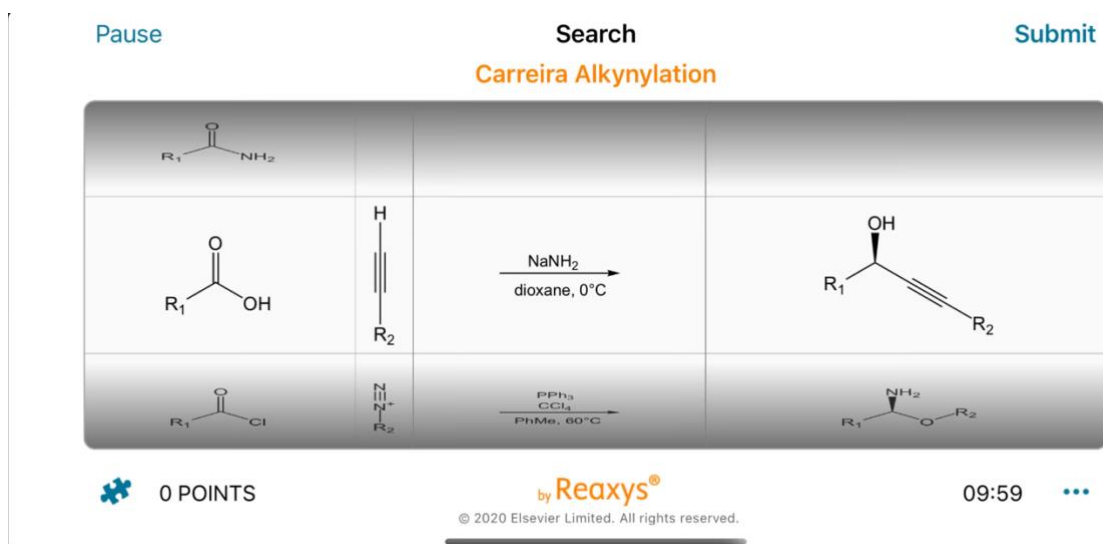


Slika 8. Snimke zaslona aplikacije Hydrocarbons Chemical Formulas, izbornik i igra [13]

1.7.4. ReactionFlash

„ReactionFlash“ [14] je sveobuhvatna aplikacija za operacijski sustav iOS. Razvijena je u suradnji s profesorom dr. Erickom M. Carreiom s ETH Zürich. Aplikacija sadrži više od 1250 reakcija što je čini jednom od najvećih dostupnih zbirki.

Strukturirana je u obliku flash-kartica, pri čemu svaka kartica opisuje jednu reakciju, njezin mehanizam i primjere iz literature. Osim toga, aplikacija omogućuje korisnicima testiranje svog znanja putem interaktivnih kvizova. Poveznice na Reaxys omogućuju pristup najnovijim primjerima reakcija te eksperimentalnim detaljima. Reaxys je veliko skladište kemijskih reakcija, tvari i bibliografskih podataka iz recenzirane literature.



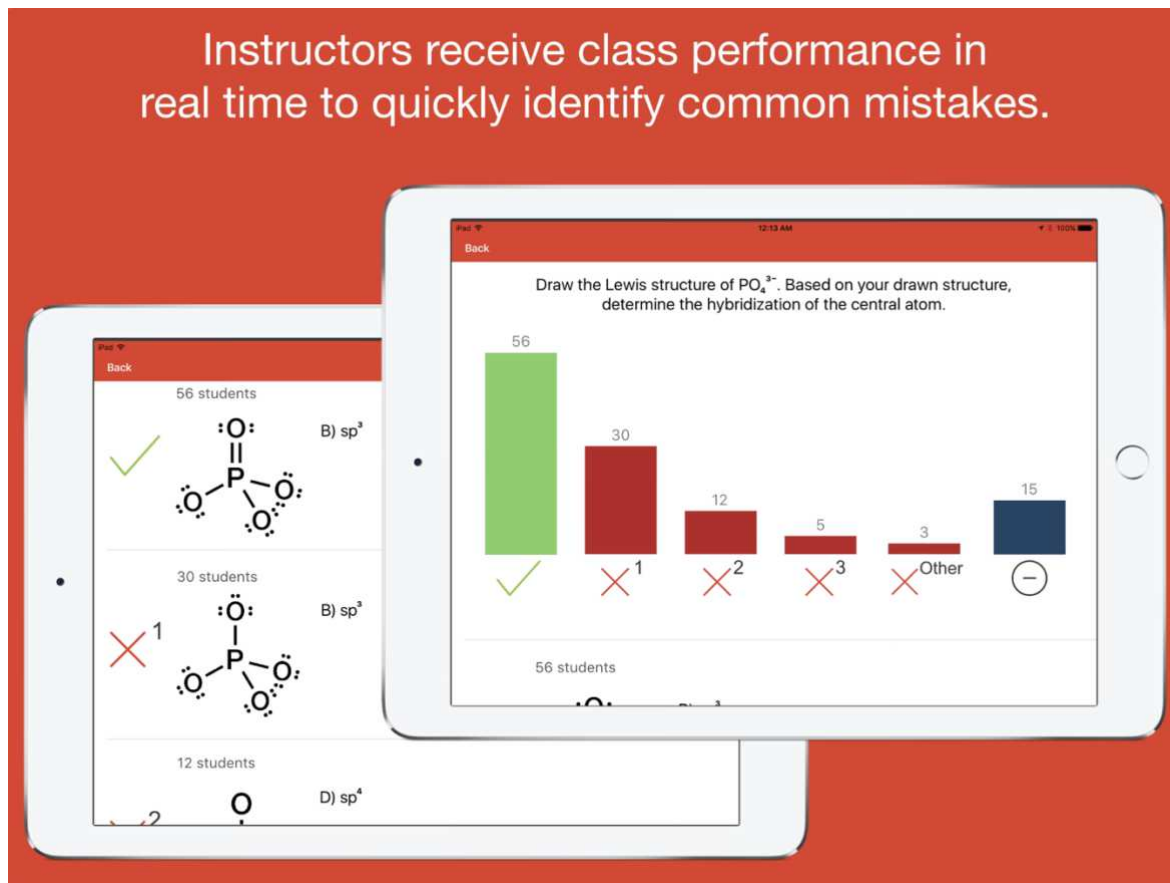
Slika 9. Snimka zaslona iz ReactionFlash aplikacije [14]

1.7.5. Aktiv Learning

„Aktiv Learning“ [15] je aplikacija osmišljena za korisnike na fakultetskoj razini znanja kemije i matematike kako bi im pomogla u shvaćanju apstraktnih STEM koncepata.

Ova platforma nudi pristup više od 250 pitanja o temama poput rezonancije, molekularne geometrije i hibridizacije. Aplikacija uključuje intuitivni alat za crtanje Lewisovih struktura na mobilnim uređajima, opciju izrade zadataka tijekom nastave ili zadavanja domaće zadaće s opcijom slanja obavijesti studentima. Nastavnici

mogu pregledati rezultate riješenih zadataka, a studenti mogu pratiti predavanja, sve u stvarnom vremenu. Osim toga, aplikacija podržava jednostavnu prijavu kako bi se lakše prepoznalo usvojeno znanje pojedinog studenta te pružila individualna povratna informacija.

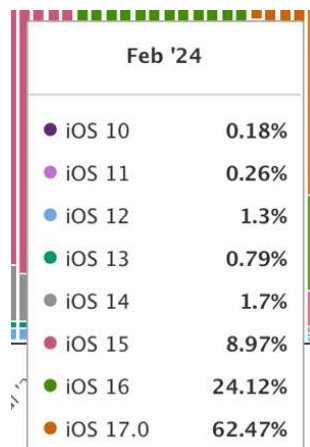


Slika 10. Slika s AppStore-a za Aktiv Learning aplikaciju, povratna informacija u stvarnom vremenu [15]

2. Korištene tehnologije

2.1. Operacijski sustav iOS

Aplikacija je razvijena za operacijski sustav iOS verzije 14 i novije. Kako je vidljivo po slici (Slika 11), time je ostvarena pokrivenost od 97,47% Appleovih uređaja.



Slika 11. Postotak verzija operacijskog sustava iOS u upotrebi u veljači 2024 [16]

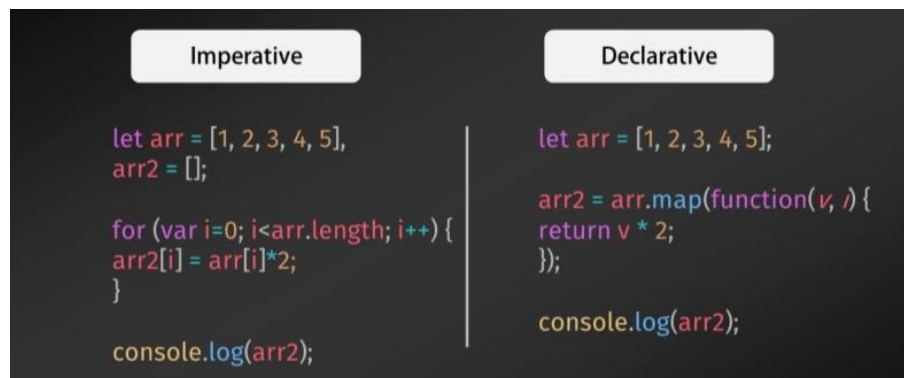
Korištenje verzije iOS 14, izdane u rujnu 2020., je kompromis između postotka pokrivenosti uređaja te inovativnih značajki i poboljšanja korisničkog iskustva koje novije verzije tog operacijskog sustava donose.

Odabirom te verzije ostvarena je kompatibilnost s alatima programskog jezika Swift koji su zastupljeni od verzije iOS 13 pa nadalje. Među njih ubrajamo radni okvir za izradu sučelja SwiftUI 2.0, tehnologiju za rad s tokovima i asinkronim podacima Combine te knjižnicu The Composable Architecture kako bi aplikacija ostane robusna i prilagodljiva budućim ažuriranjima.

2.2. Programski jezik Swift

Aplikacija je izrađena u programskom jeziku Swift koristeći razvojni alat XCode. Programski jezik Swift predstavio je Apple 2014. godine kao nasljednika jezika Objective-C. To je moderan, statički tipiziran jezik, dizajniran da bude siguran, brz i jednostavan za korištenje.

Swift je jezik otvorenog koda koji je pod snažnim utjecajem drugih programskih jezika poput Rusta, C# i Haskell. U smislu sintakse, Swift je sličan programskim jezicima temeljenim na C-u, ali ima niz značajki koji ga čine jedinstvenim. Na primjer, koristi takozvane optional varijable za predstavljanje vrijednosti koje nedostaju, pruža opsežnu podršku za rukovanje pogreškama te ima moćan sustav tipova koji omogućuje kompajleru da automatski odredi tip neke varijable. Ovaj programski jezik također podržava i niz koncepata funkcionalnog programiranja poput zatvaranja (eng. *closures*), funkcija višeg reda (eng. *higher-order functions*) i nepromjenjivosti.

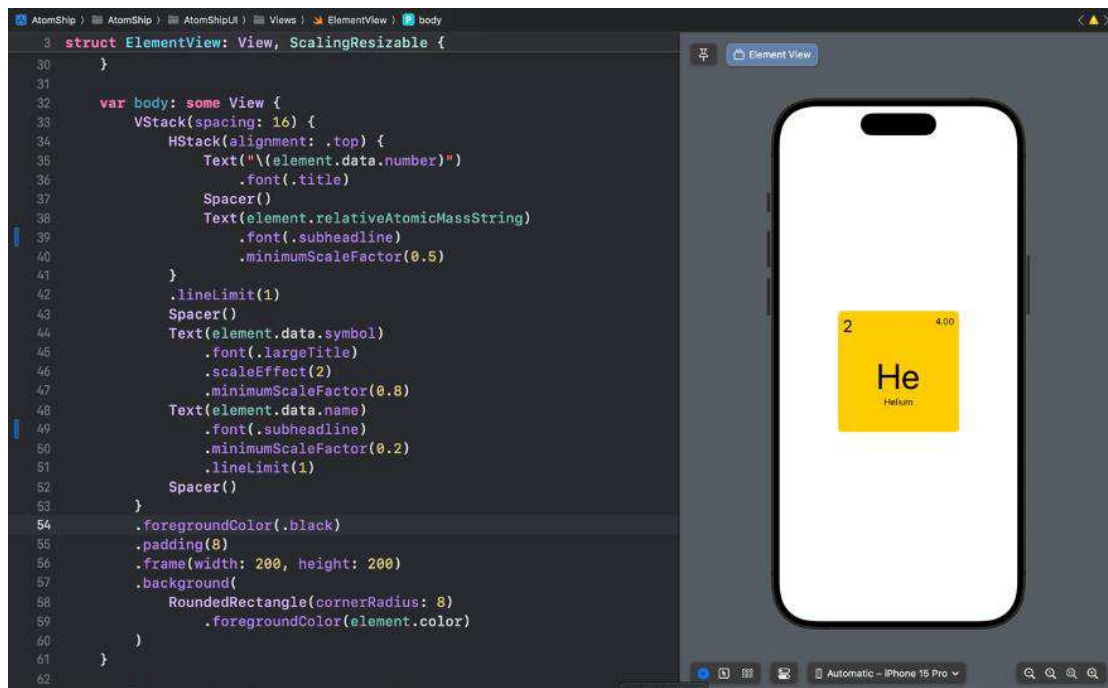


Slika 12. Sintaksa deklarativnog i imperativnog programa u Swiftu

Jedan od ključnih motiva za razvoj Swifta bio je poboljšati iskustvo programera, pa su i mnoge njegove značajke osmišljene s tim ciljem na umu. Na primjer, Swift ima vrlo čistu, jasnu i lako čitljivu sintaksu, moćnu standardnu biblioteku koja olakšava pisanje složenih programa te bogat skup alata i okvira.

2.3. Alat za sučelje SwiftUI

Apple je 2019. godine predstavio SwiftUI, deklarativni razvojni okvir za izradu korisničkog sučelja. On ubrzava razvoj aplikacija jer programerima dozvoljava da se usredotoče na stanje aplikacije i način prikaza te im omogućuje da se ne obaziru na sitne detalje upravljanja hijerarhijom prikaza.



Slika 13. Kod i izgled prikaza elementa napisan u SwiftUI

Za razliku od imperativnog pristupa njegovog prethodnika UIKit-a, SwiftUI koristi deklarativnu sintaksu koja smanjuje standardni kod i čini kod korisničkog sučelja intuitivnijim i lakšim za održavanje. Međutim, za složene aplikacije koje zahtijevaju preciznu kontrolu, UIKit je još uvijek vrlo učinkovit i široko korišten. SwiftUI je dizajniran za besprijekornu suradnju s UIKit-om, a ta njegova značajka upotrijebljena je i u nekim dijelovima ovog projekta.

Tako je, na primjer, kako bi se ostvarila mogućnost zumiranja periodnog sustava, korištena funkcionalnost biblioteke UIKit. U njoj je moguće ostvariti vertikalni i horizontalni klizni popis koji ujedno ima i mogućnost zumiranja. Ta komponenta, napisana koristeći UIKit, lako se može iskoristiti u SwiftUI kodu, dovoljno je samo komponentu proglasiti nasljednikom `UIViewRepresentable` protokola i u njoj implementirati odgovarajuće funkcije.

Glavni problem implementacije aplikacija koristeći SwiftUI je hijerarhijska ovisnost prikaza. Povećanjem broja prikaza, raste i broj stanja tih prikaza i njihovih mogućih promjena. A ako postoji puno stanja, onda postoji i mnoštvo okidača koji mogu promijeniti to stanje te mnoštvo promatrača tog istog stanja. Sve to je jako slojevito i teško održivo, a vrlo lako može dovesti do dugotrajnog posla otklanjanja pogrešaka, čestih neočekivanih ishoda te mnogih neriješenih problema.

Kako bi se učinkovito riješili navedeni problemi, a pri tomu očuvala skalabilnost aplikacije razvijene u sklopu ovog rada, SwiftUI kombiniran je s arhitekturom Swift Composable.

2.4. Arhitektura Swift Composable

2.4.1. Nastanak

The Composable Architecture (skraćeno TCA) je biblioteka koja nudi koncepte za rješavanje raznih problema, uključujući upravljanje stanjem, kompoziciju, testiranje i ergonomiju. Razvijena je isključivo za programski jezik Swift pa se može koristiti uz mnoge radne okvire za izradu korisničkog sučelja, poput SwiftUI i UIKit, te na bilo kojoj Appleovoj platformi (iOS, macOS, tvOS i watchOS).

Biblioteka The Composable Architecture izrađivana je tijekom epizoda na blogu PointFree u sklopu serijala videozapisa u kojima se proučavaju koncepti funkcionalnog programiranja i programski jezik Swift. Voditelji tih epizoda ujedno su i autori biblioteke, Brandon Williams i Stephen Celis. Njihov glavni motiv izrade ove biblioteke bio je riješiti brojne prepreke s kojima su se susreli tijekom izrade velikih aplikacija pomoću radnog okvira SwiftUI te na taj način povećati održivost mobilnih aplikacija za operacijski sustav iOS.

2.4.2. Osnovne ideje

Osnovne ideje na kojima je zasnovana Composable arhitektura postoje već neko izvjesno vrijeme.

Redux je spremnik stanja za JavaScript aplikacije. On se obično koristi s radnim okvirima kao što je React. Temelji se na načelima jednosmjernog protoka podataka i nepromjenjivosti. Oboje, Redux i TCA, slijede princip jednosmjernog protoka podataka. Promjene stanja pokreću radnje, a stanje se ažurira putem čistih funkcija zvanih Reduceri. Obje tehnologije naglašavaju centraliziranje stanja aplikacije u jednom izvoru istine. U Reduxu se stanje pohranjuje u centralnu pohranu podataka, dok u TCA njime upravlja Store. Osim toga, i Redux i TCA potiču nepromjenjivost stanja. Iako postoje određene sličnosti između Reduxa i TCA, važno je napomenuti da je TCA posebno dizajniran za ekosustav Swift i SwiftUI. Dodatno, TCA uvodi neke koncepte za učinkovitu integraciju sa SwiftUI kao što su omotači svojstava

(eng. *property wrappers*) i pohrane prikaza (eng. *ViewStore*). Međutim, temeljna načela jednosmjernog protoka podataka, centraliziranog stanja, nepromjenjivosti i Reducera ostaju jednaka.

U Composable arhitekturi stanje aplikacije je predstavljeno određenom vrstom konačnog automata. Taj automat se sastoji od skupa stanja koja utječu na prikaz sučelja i prijelaza između tih stanja. Prijelazi između stanja automata su potaknuti korisničkom interakcijom ili nekim drugim asinkronim događajima. Na taj način smanjenja je složenost i olakšano razumijevanje koda.

Arhitektura koristi oblikovni obrazac Stanje (eng. *State*) kako bi omogućila predvidljivo upravljanje stanjem same aplikacije. Stanje aplikacije je predstavljeno kao struktura, a sve promjene stanja vrše se vraćanjem nove izmijenjene strukture. To omogućuje jednosmjerni tok podataka i olakšava razumijevanje ponašanja aplikacije u bilo kojem trenutku. Osim toga, TCA koristi oblikovni obrazac Stanje u Reducerovim funkcijama. Reduceri dobivaju trenutno stanje aplikacije i događaj kao ulaz u funkciju, a kao izlaz iz funkcije daju novo izmijenjeno stanje. To povećava čitljivost i održivost aplikacije, budući da je svaka funkcija odgovorna za svoj dio stanja i događaja.

Composable arhitektura zasnovana je na konceptima funkcionalnog programiranja. Funkcionalno programiranje koristi funkcije kao varijable, argumente i povratne vrijednosti te na taj način stvara elegantan i čist kod u procesu. Također koristi nepromjenjive podatke i izbjegava koncepte poput dijeljenih stanja, za razliku od objektno orijentiranog programiranja koje koristi promjenjive podatke i dijeljena stanja. Glavni koncepti funkcionalnog programiranja uključuju: nepromjenjivost, čiste (eng. *pure*) funkcije, funkcije višeg reda (eng. *higher-order functions*), prvorazredne (eng. *first-class*) funkcije, kompoziciju funkcija, rekurziju i referentnu transparentnost. Ova programska paradigma omogućuje pisanje sigurnijeg i predvidljivijeg koda, smanjuje dupliciranje koda te zbog paralelizma još i poboljšava performanse.

2.4.3. Glavne komponente

Aplikacija izgrađena pomoću TCA sastoji se od pet glavnih komponenti. Sve komponente vezane za jednu značajku aplikacije nalaze se unutar jednog modula. Dakle, postoji po jedan modul za svaku značajku. U tom modulu onda se nalaze:

Stanje (eng. *State*)

State je struktura koja sadrži kolekciju svojstava; ta kolekcija predstavlja stanje aplikacije i sadrži varijable koje su važne za neki zaslon unutar aplikacije.

Radnje (eng. *Action*)

Action je enumeracija koja uključuje sve moguće događaje koji se mogu odviti u aplikaciji; to može biti korisnička interakcija, izvršenje asinkronog zahtjeva, otkucaj sata ili slično.

Okruženje (eng. *Environment*)

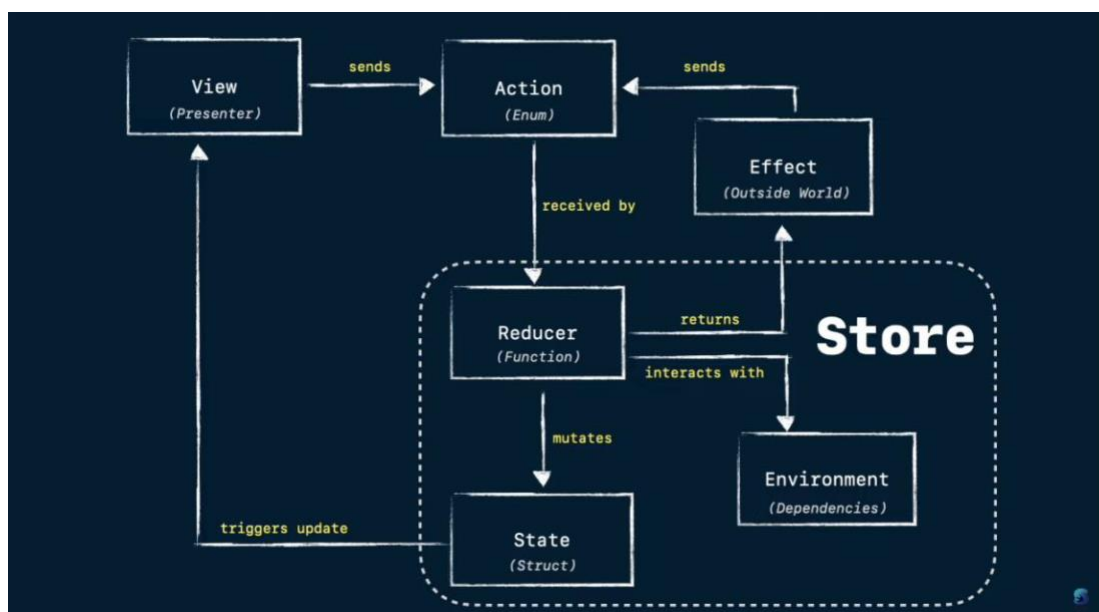
Environment je struktura koja obuhvaća sve ovisnosti (eng. *dependencies*) aplikacije ili pojedinog modula; to su često neki vanjski API ili drugi moduli iz aplikacije.

Reduktor (eng. *Reducer*)

Reducer funkcija koja na osnovu predane akcije i trenutnog stanja aplikacije mijenja njezino stanje.

Prikaz (eng. *View*)

View je izgled zaslona aplikacije napisan koristeći neki od radnih okvira za izradu korisničkog sučelja.



Slika 14. Dijagram međudjelovanja komponenti [21]

Korisničko sučelje nema izravnu interakciju sa stanjem aplikacije ili izvedenim akcijama. Tu prazninu popunjava još jedan važan pojam u arhitekturi, takozvani razred Store. Njega korisničko sučelje tj. View promatra kako bi uočilo promjene koje su nastale u stanju aplikacije tj. State-u. Osim toga, pomoću njega se Reducer obavještava o radnjama koje su se odvale u aplikaciji. Svi Reduceri imaju pristup stanju aplikacije i ažuriraju ga ovisno o danoj radnji, a ažuriranje stanja potiče i ažuriranje korisničkog sučelja.

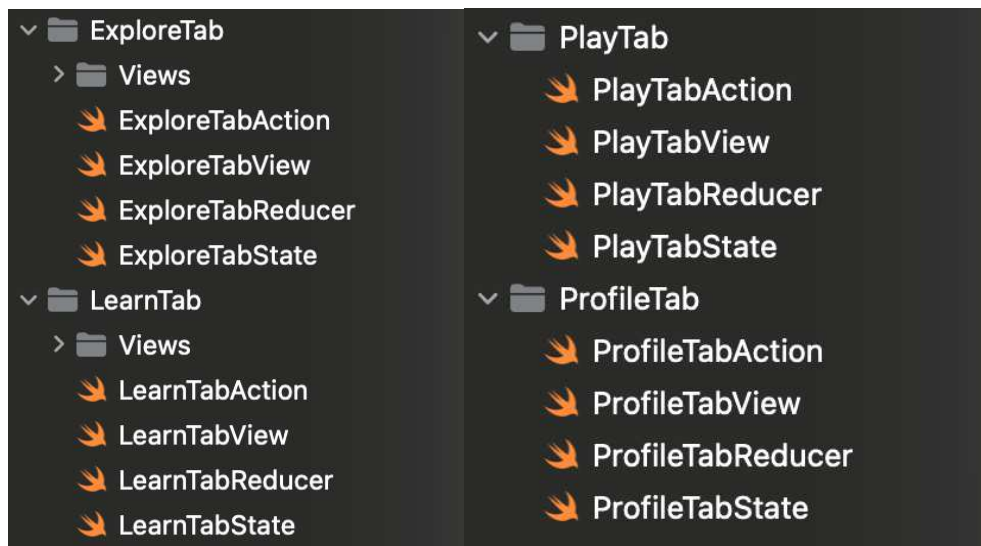
Reducers su središte TCA biblioteke. Oni su odgovorni za upravljanje prijelazima stanja aplikacije. Funkcija `reduce()` je čista (eng. *pure*), što znači da nema neku neočekivanu nuspojavu. To je jedino mjesto gdje se stanje može mijenjati. S obzirom da se radi s jednim izvorom istine, lakše je razumjeti i predvidjeti ponašanje aplikacije.

Reducers se mogu međusobno sastavljati kako bi se formirao Reducer više razine koji upravlja nekim složenijim dijelom aplikacije. TCA nudi dvije metode za to. Prva je `combine()` koja stvara novi Reducer kombinirajući više njih. Ona izvršava svaki dati Reducer redoslijedom kojim je i naveden. Druga metoda je `pullback()` koja mijenja trenutni Reducer tako da može raditi na globalnom stanju, akcijama i okruženju. Zahvaljujući ovoj značajki aplikaciju je moguće razdvojiti na manje module te onda različite module spojiti upravo Reducerima.

U novijim verzijama TCA biblioteke postoje nove metode za sastavljanje Reducera. Za kombiniranje opcionalnih Reducera koristi se `.ifLet()` funkcija. Ona prima State, Action i Reducer od modula djeteta koji želi obuhvatiti u roditeljski Reducer. S druge strane, za kombiniranje običnih Reducera koristi se struktura `Scope` koja u svom konstruktoru prima iste argumente kao i `ifLet()` metoda.

Jedan izazov korištenja Reducera je rukovanje asinkronim akcijama. Mehanizam koji TCA koristi za asinkrone pozive je `Effect`. No, oni pokrivaju više od asinkronih poziva jer također omotavaju sve nedeterminističke pozive metoda kao što je dobivanje trenutnog datuma ili inicijalizacija novog UUID-a.

Tako je, na primjer, u aplikaciji ostvarenoj u sklopu rada svaka kartica (eng. *tab*) aplikacije napisan u zasebnom modulu (sa svojim Reducerom, Viewom, Actionom i Stateom) te ga je lako uključiti, isključiti ili po potrebi zamijeniti.



Slika 15. Organizacija aplikacije u module

2.4.4. Prednosti i nedostatci

Glavne prednosti modularne arhitekture i dizajna projekata leže u nekoliko ključnih aspekata. Skalabilnost je osigurana jer je svaka komponenta dizajnirana kao plug-and-play, čime se omogućuje neovisno skaliranje ili zamjena po potrebi. Fleksibilnost je omogućena razdvajanjem frontend i backend aplikacija, što pruža veću slobodu izbora tehnologija. Modularnost je postignuta jer kod i usluge trećih strana tvore neovisne module, koji ostaju razdvojeni i lako zamjenjivi drugim modulima. Ključni temelj Composable arhitekture je ponovna upotreba komponenti. Standardi i obrasci koji se mogu ponovno koristiti omogućuju da se stvoreni moduli koriste u novim aplikacijama ili uslugama. Osim toga, održavanje je olakšano jer se promjene mogu jednostavno izvršiti na jednom modulu ili usluzi bez utjecaja na cijeli sustav. Konačno, postiže se brži razvoj i implementacija jer se svaka funkcija može samostalno razvijati i koristiti u različitim sustavima i projektima unutar organizacije. Značajke razvijene za jedan proizvod mogu se integrirati u druge i time omogućiti brže izdavanje manjih značajki.

Kod modularne arhitekture postoje određeni konceptualni problemi koje treba imati na umu. Prvo, složenost je jedan od glavnih izazova. Ova arhitektura zahtijeva nadzor nad načinom na koji se svi dijelovi kreću i uklapaju zajedno. Također je potreban veći nadzor nad svakim modulom kako bi se osiguralo da su ažurirani i zakrpani te da zadovoljavaju poslovne potrebe. Još jedan problem je upravljanje stanjem. Kako aplikacije rastu, upravljanje zajedničkim globalnim stanjem postaje

sve izazovnije. Važno je izbjegavati korištenje globalnog stanja kako bi se smanjili problemi povezani s njegovim upravljanjem.

Primjer takvog problema manifestirao se i u ovoj aplikaciji. Propagacija promjena na strukturi koja obilježava korisnika aplikacije nije trivijalna. U korijenskom modulu App pohranjena je varijabla `user`, te se u korijenskom App Reduceru nalazi promatrač promjena na toj varijabli. Na svaku promjenu `user` varijable, u korijenskom Stateu potrebno je pozvati kod koji će ažurirati iste varijable u svim modulima djece koji imaju tu varijablu. Taj kod izgleda ovako:

```
var user: User? {  
    didSet {  
        if let user {  
            learnTab?.user = user  
            playTab?.user = user  
            profileTab?.user = user  
        }  
    }  
}
```

Vidljivo je da je ovakav kod teško održiv jer u slučaju dodavanja novog modula lako zaboraviti dodati propagaciju promjene na varijabli `user`. Osim toga, ovdje je rješenje prihvatljivo jer je u pitanju jedna razina hijerarhije, ali ukoliko se doda još jedan sloj modula koji bi bili „unuci“ korijenskog Reducera, bilo bi potrebno napisati redundantan kod na više razina ili eventualno osvježavati ovu varijablu za svaki modul zasebno, što je opet svojevrсни oblik redundancije.

2.5. Radni okvir Combine

Combine je 2019. godine uveden uz SwiftUI, a stvoren je kako bi pružio deklarativan način rada s tokovima i asinkronim događajima. Combineu je svojstven model izdavač-pretpatnik (eng. *publisher-subscriber*). Izdavači su tipovi podataka koji mogu dostaviti vrijednosti svakome tko je zainteresiran. S druge strane, pretpatnici su tipovi koji mogu primiti te vrijednosti.

Glavna korist ovog modela je ta što prikazu olakšava praćenje stanja i reagiranje na njegove promjene. Zahvaljujući ovom svojstvu Combine besprijekorno funkcionira s korisničkim sučeljem ovisnim o podacima, upravo poput onog napisanog koristeći SwiftUI. Koncept modela izdavač-pretpatnik je koristan i zanimljiv, ali sadrži i određena ograničenja. Tako je, na primjer, za proslijeđivanje više vrijednosti u tom modelu potrebno koristiti dodatne tipove – subjekte. Osim toga, neki izdavači u Combineu su pohlepni, što bi značilo da već pri inicijalizaciji krenu obavljati svoj posao, a to ponašanje nije poželjno i predvidivo. Za bolju kontrolu tijeka događaja potrebno je omotati te izdavače u dodatne tipove, a to dovodi do puno redundantnog koda.

Kako bi se riješili redundantnog koda i iskoristili koncepte predstavljene u Combineu, autori su u Composable arhitekturu ubacili Effect. To je tip podatka izrađen na temelju Combineovih izdavača, naravno uz određene prilagodbe potrebama arhitekture. Osim toga, jedan od temeljnih dijelova arhitekture je takozvani Reducer koji u svojim funkcijama za povratni tip može imati upravo opisani izdavač. Korištenjem Combineovih koncepata Composable arhitektura se može na predvidljiv način nositi sa nuspojavama te s lakoćom upravljati složenim asinkronim tokovima. Ove značajke dodatno uvelike olakšavaju integraciju API-ja i usluga trećih strana u samu aplikaciju.

2.6. Baza podataka Firestore

2.6.1. Značajke

Cloud Firestore je fleksibilna i skalabilna No SQL baza podataka u oblaku koju su razvili Firebase i Google Cloud. Dizajnirana je za razvoj mobilnih i web aplikacija te za razvoj poslužitelja.

Cloud Firestore osigurava sinkronizaciju podataka među klijentskim aplikacijama putem promatrača (eng. *observera*) u stvarnom vremenu i podržava izvanmrežni pristup pa time omogućuje aplikacijama da ostanu robusne bez obzira na kašnjenje mreže ili internetsku povezanost. Njegova besprijekorna integracija s drugim Firebase i Google Cloud proizvodima dodatno poboljšava njegovu funkcionalnost i korisnost u različitim razvojnim scenarijima.

2.6.2. Strukture podataka

Ova baza podataka podržava fleksibilne, hijerarhijske strukture podataka. Podaci se pohranjuju u dokumente organizirane u zbirke, a ti dokumenti mogu sadržavati složene ugniježdene objekte i zbirke. No, postavljanje baze i upravljanje njom mogu biti složeni, posebno za velike aplikacije, jer dizajniranje podatkovne sheme i rukovanje hijerarhijskim strukturama podataka može biti zamršeno i izazovno.

Primjer složene strukture u ovoj aplikaciji su zadatci za rješavanje izjednačavanja kemijskih jednadžbi. U Swiftu je ona definirana na sljedeći način:

```
struct EquationsTask {  
    let leftSide: [Formula]  
    let rightSide: [Formula]  
    let solution: [Int]  
}  
  
struct Formula {  
    let molecules: [Molecule]  
}  
  
struct Molecule {  
    let element: String  
    let amount: Int  
}
```

Kako je vidljivo, postoje dvije ugniježdene strukture što nije toliko trivijalno iščitati iz baze niti ručno unijeti u bazu. Kroz programski kod ovakvu hijerarhijsku strukturu lako je učitati i pročitati iz baze koristeći ugrađene funkcije Firebase Firestore biblioteke.

2.6.3. Upiti na bazu

Ostvaren je moćan sustav upita koji omogućuje dohvaćanje određenih dokumenata ili kolekcija koje odgovaraju parametrima upita. Upiti mogu uključivati višestruke, ulančane filtere i kombinirati operacije filtriranja i sortiranja. Upiti se prema zadanim postavkama indeksiraju, čime se osigurava da je izvedba proporcionalna veličini skupa rezultata, a ne ukupnog skupa podataka.

Na primjer, ovako izgleda kod za ažuriranje informacija na zapisu korisnika nakon uspješno riješenog nivoa proizvoljne težine:

```
let usersCollection = db.collection("users")

let querySnapshot = try await usersCollection.whereField(
    "username",
    isEqualTo: user.username
).getDocuments()

guard let document = querySnapshot.documents.first else {
    throw DatabaseError.errorFindingUser
}

try await document.reference.updateData([
    "coins": user.coins + level.coinPrize,
    "experience": user.experience + level.experiencePrize
])
```

2.6.4. Sinkronizacija podataka

Slično Firebase Realtime bazi podataka, Cloud Firestore koristi sinkronizaciju podataka kako bi podaci bili ažurni na svim povezanim uređajima. Osim toga, mogu se dodati promatrači (eng. *observeri*) kako bi podaci bili aktualni. Oni obavještavaju aplikaciju snimkom podataka kad god postoje promjene, i to tako što dohvaćaju samo ažurirane podatke.

U izrađenoj aplikaciji postoje promatrači za dva entiteta, korisnika (user) i igru (game). Jedan zapis u tablici game je jedna instanca igre potapanja brodova, odnosno epruveta, na periodnom sustavu elemenata, objašnjena u nastavku ovog rada. Struktura igre sadrži podatke o oba igrača, koji je igrač trenutno na potezu i koji je igrač pobjednik. Struktura igrača sadrži podatke o korisniku te njegovim postavljenim, pogođenim i promašenim epruvetama. Sa svim tim informacijama moguće je kreirati naizmjeničnu igru između dva uređaja.

Promatranjem jedne instance igre ostvarena je komunikacija u stvarnom vremenu između uređaja dva sudionika igre. Ovako izgleda funkcija koja služi za promatranje proizvoljne igre:

```
static func observe(game: Game) -> AnyPublisher<Game, Never> {
```

```

let subject = PassthroughSubject<Game, Never>()

Database.shared().collection("games")

    .addSnapshotListener { (querySnapshot, _) in

        let game = querySnapshot?.documents.first {

            $0.get("id") as? String == game.id

        }

        if let actualGame = try? game?.data(as: Game.self) {

            subject.send(actualGame)

        }

    }

return subject

    .receive(on: DispatchQueue.main)

    .eraseToAnyPublisher()

}

```

Funkcija `observe` iskorištava mogućnost Firestore baze da promatra podatke u stvarnom vremenu. Ovdje ključnu ulogu ima `PassthroughSubject`, vrsta `Combine` izdavača, koji može emitirati promjene većem broju pretplatnika. U funkciji se postavlja promatrač zapisa iz zbirke `game` kako bi otkrio sve novonastale promjene. Pri svakoj promjeni, aktivira se promatrač i šalje ažuriranu varijablu `game` kroz `PassthroughSubject`. Promjene se mogu lako uhvatiti u obliku `Effecta` bilo kojeg `Reducera` koristeći `.publisher` funkciju TCA biblioteke. Ovaj pristup omogućuje bilo kojem dijelu aplikacije koji se pretplati na ovog izdavača kako bi mogla učinkovito i sigurno reagirati na promjene u podacima igre u stvarnom vremenu. Dovoljno je u bilo koji `Reducer` modula kojem je potrebna informacija dodati sljedeći kod:

```

case observeGame:

    return .publisher {

        Game.observe(game: game)

            .receive(on: mainQueue)

            .map(Action.gameUpdated)

    }

    .cancellable(id: Cancellable.gameObserver)

```

```
case .gameUpdated(let game):
    state.game = game
```

Značajka sinkronizacije u stvarnom vremenu, iako je korisna, može dovesti do nepotrebnog opterećenja i složenosti, osobito ako ažuriranja u stvarnom vremenu nisu neophodna za aplikaciju.

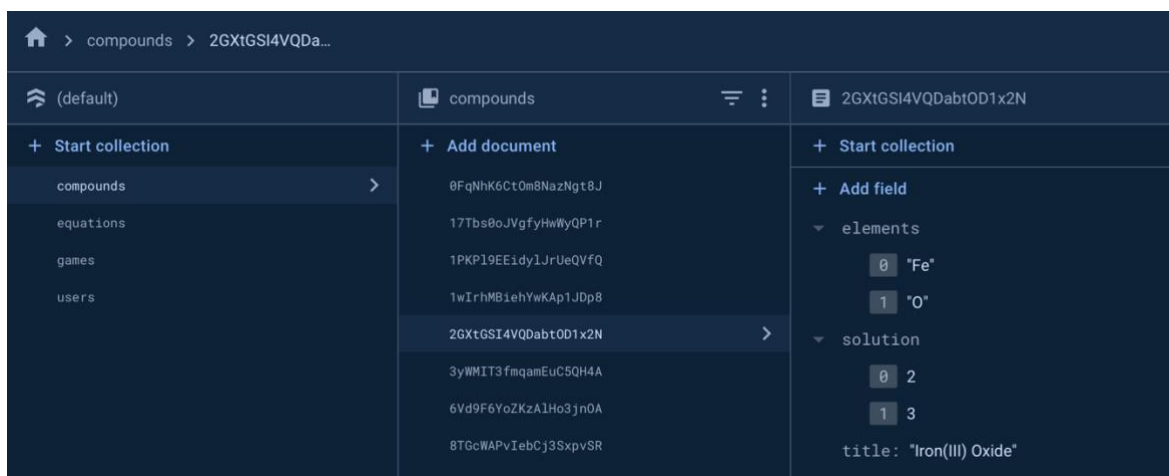
2.6.5. Dostupnost

Cloud Firestore sprema podatke koje aplikacija aktivno koristi, a dopušta aplikaciji pisanje, čitanje, slušanje i upite podataka čak i kada je uređaj izvan mreže. Kada se uređaj ponovno poveže s internetom, Cloud Firestore sinkronizira sve lokalne promjene natrag u oblak.

Koristeći moćnu infrastrukturu Google Clouda, Cloud Firestore nudi stvaranje automatske kopije podataka u više regija i snažna jamstva dosljednosti. To osigurava podnošenje najzahtjevnijih radnih opterećenja baze podataka iz najvećih svjetskih aplikacija.

2.6.6. Korištenje

Firebase Console pruža opsežno i intuitivno sučelje (Slika 16. Konzola aplikacije, primjer jednog kemijskog spoja) posebno za upravljanje Cloud Firestoreom. Omogućuje pregled i uređivanje podataka u strukturiranom formatu te jednostavnu navigaciju kroz zbirke i dokumente. Mogu se dodati novi podatci te ažurirati ili izbrisati postojeći izravno s konzole. Hijerarhijski model podataka jasno je prikazan, što pojednostavljuje upravljanje složenim strukturama podataka.



Slika 16. Konzola aplikacije, primjer jednog kemijskog spoja

Firestore automatski indeksira podatke za učinkovito postavljanje upita, a konzola omogućuje pregled i upravljanje tim indeksima. Za složenije upite moguće je definirati prilagođene indekse i pratiti njihov status. Konzola uključuje alat za koji omogućuje izradu i testiranje upita, filtriranje i sortiranje podataka. Također, moguće je postavljati slušatelje u stvarnom vremenu radi testiranja ažuriranja podataka kroz klijentske aplikacije.

2.6.7. Implementacija

Za komunikaciju s bazom bilo je dovoljno u projekt mobilne aplikacije dodati package dependency za Firebase koji uključuje sve dostupne Firebase proizvode, pa tako i Firestore bazu.

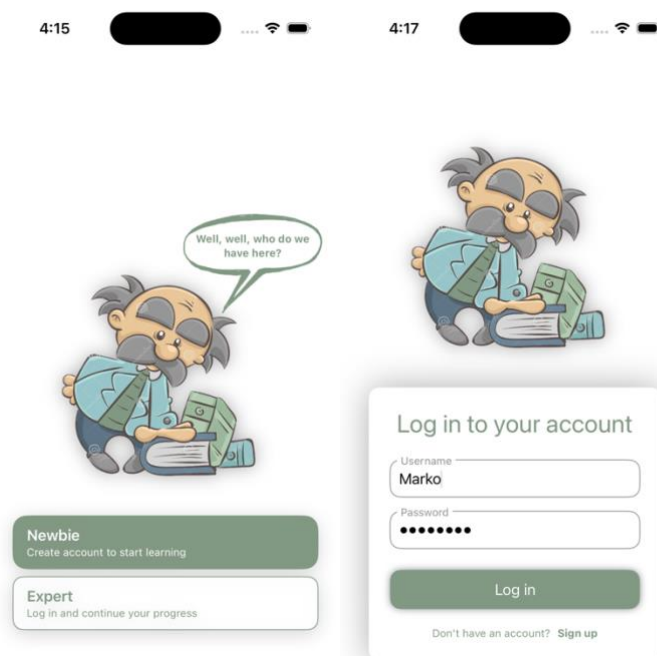
Baza je popunjena kroz programski kod, ali je moguće dodavati nove zapise kroz konzolu. U bazi se nalaze zbirke za zapise korisnika (users) i igara (games) te još dvije zbirke za zapise zadataka različitog tipa (compounds i equations). Svi podatci o elementima periodnog sustava zapisane su na klijentu u sklopu enumeracije Element. S obzirom da se periodni sustav rijetko mijenja, u prosjeku svako nekoliko godina, nije potrebno te podatke učitavati u bazu. Tako se i zadatci o pojedinim elementima, na primjer broju jezgrinih čestica, generiraju na osnovu informacija iz klijentske aplikacije.

3. Opis sustava

3.1. Prijava i uvod

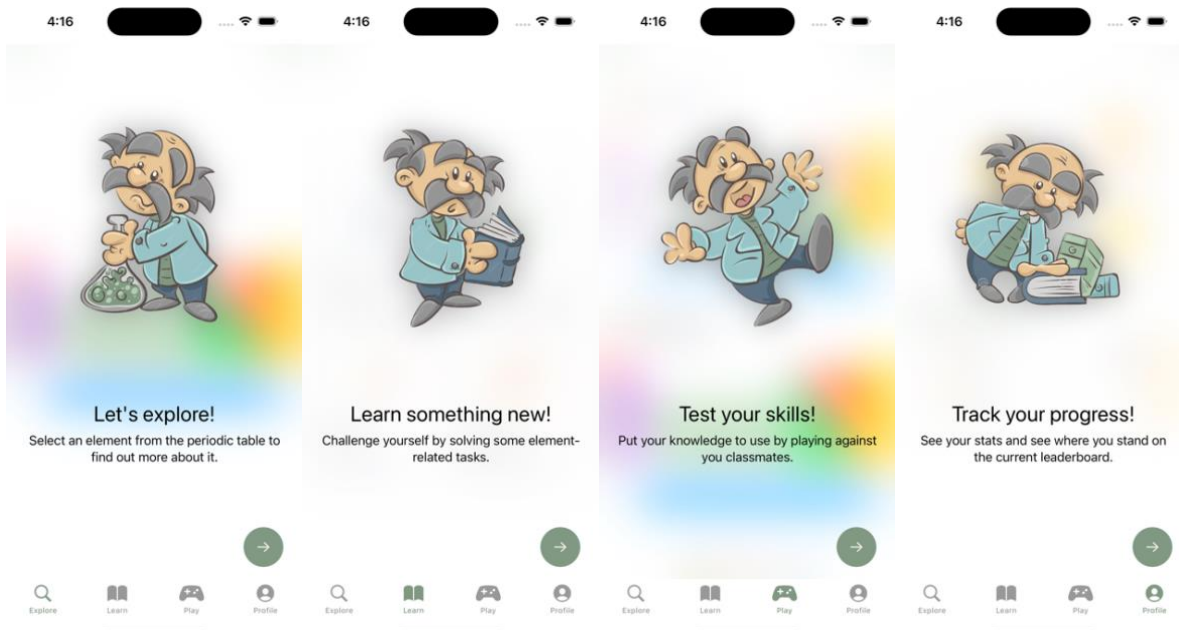
Pri prvom korištenju aplikacije korisnik se mora prijaviti s novim ili postojećim vjerodajnicama. Prijava je potrebna kako bi svaki učenik mogao pratiti svoj napredak i koristiti aplikaciju s različitih uređaja.

U znak dobrodošlice pojavljuje se ilustrirani znanstvenik, zaštitno lice aplikacije te on pozdravlja korisnika i upućuje ga na prijavu. Nakon odabira odgovarajuće opcije (ulogirati se ili napraviti novi račun), kako je vidljivo na snimci zaslona (Slika 17), prikazuje se obrazac za upis korisničkog imena i lozinke.



Slika 17. Odabir opcije i obrazac za prijavu

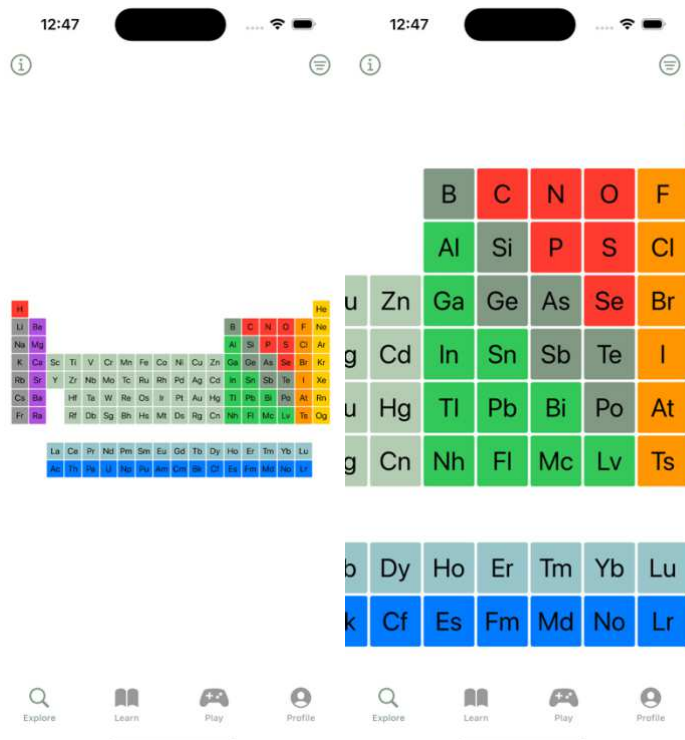
U aplikaciji postoje četiri kartice, po jedna za istraživanje (Explore), učenje (Learn), igranje (Play) te pregled profila i tablice (Profile). U svrhu olakšavanja korištenja aplikacije, korisniku se na svakoj kartici prvi put prikažu kratke upute popraćene ilustracijama veselog znanstvenika. Svi zasloni prikazani su na snimkama zaslona (Slika 18). Jednom kad zatvori upute, korisnik može pristupiti funkcionalnostima pojedine kartice. Za ponovno čitanje istih uputa, dovoljno je pritisnuti malu ikonu sa slovom „i“ koju je moguće naći na svakoj kartici.



Slika 18. Upute za korištenje na pojedinim karticama

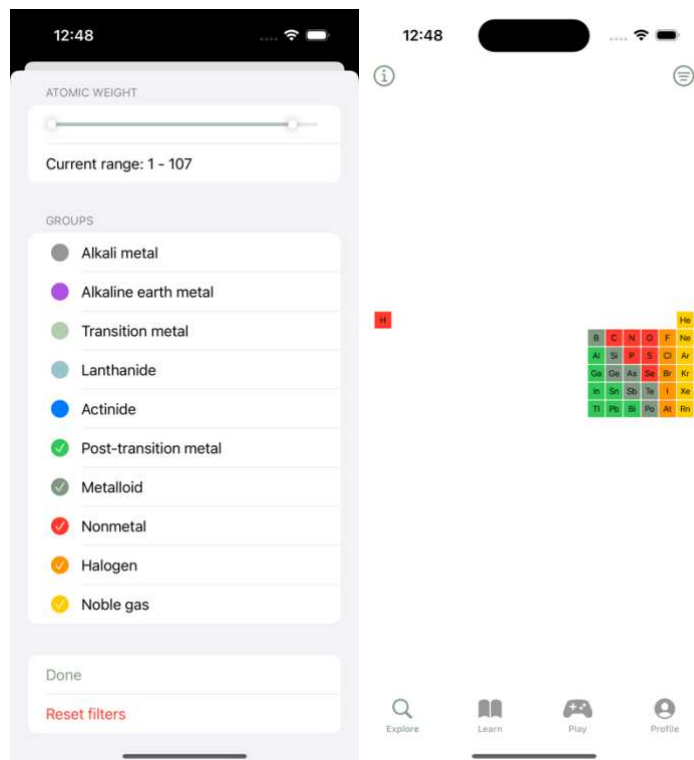
3.2. Prikaz periodnog sustava

Na istraživačkoj kartici nalazi se periodni sustav elemenata kojeg je moguće zumirati radi lakšeg pregledavanja.



Slika 19. Pregled i zumiranje periodnog sustava

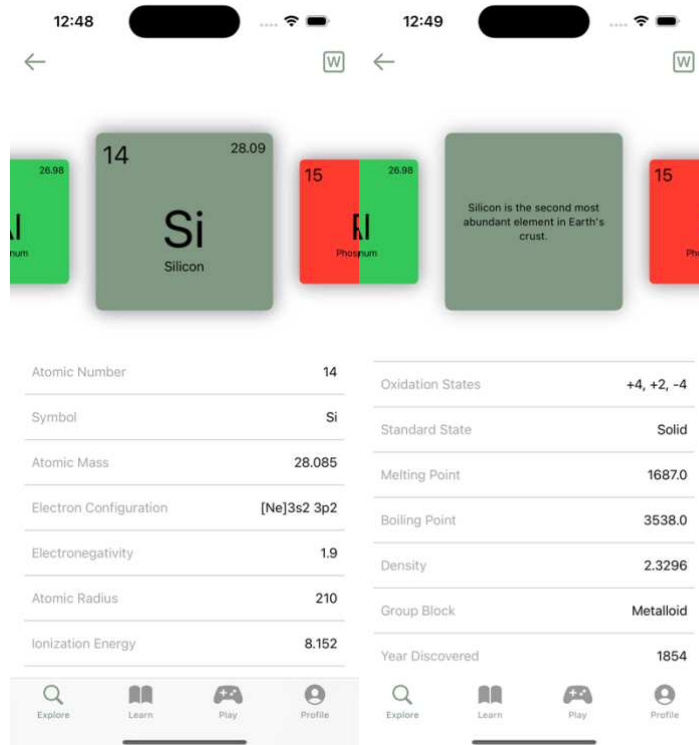
Pritiskom na ikonu u desnom gornjem kutu otvara se zaslon na kojem je moguće filtrirati elemente po atomskom broju i/ili skupini kojoj pripadaju.



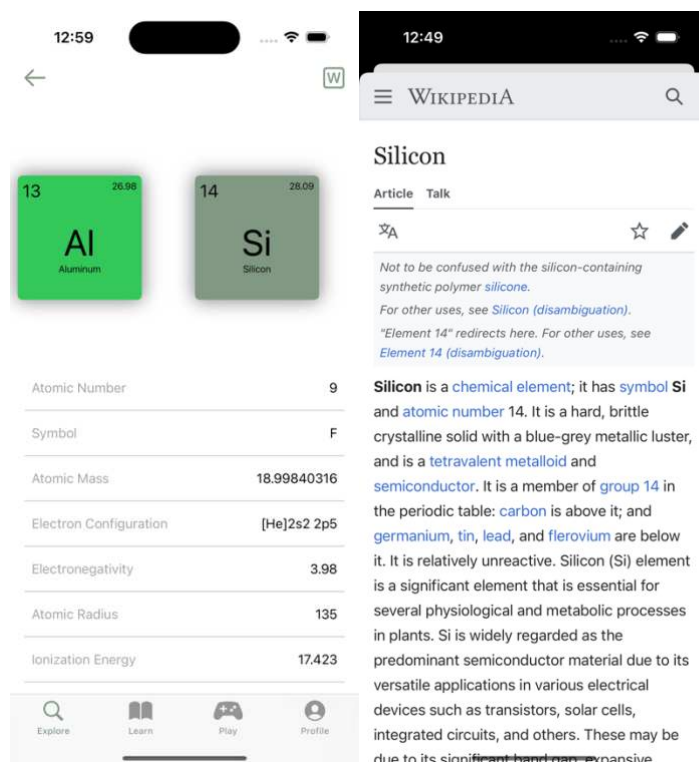
U periodnom sustavu moguće je odabrati bilo koji element i pregledavati njegove detaljne karakteristike od onih jednostavnih poput atomskog broja, elektronske konfiguracije, agregatnog stanja, do onih zanimljivijih poput gustoće, točke taljenja, promjera atoma, ionizacijskih stanja, pa čak i godine otkrića. Svi podatci složeni su u vertikalni klizni popis (Slika 20).

Kartica elementa može se okrenuti kako bi se otkrila zanimljiva činjenica koja se nalazi na poleđini. Elementi periodnog sustava posloženi su u horizontalni klizni popis, a najveći element, koji je ujedno i centriran, je onaj čije su značajke prikazane u popisu ispod (Slika 21).

U desnom gornjem kutu nalazi se tipka sa slovom „w“ na čiji se pritisak otvara stranica Wikipedije o trenutno prikazanom elementu.



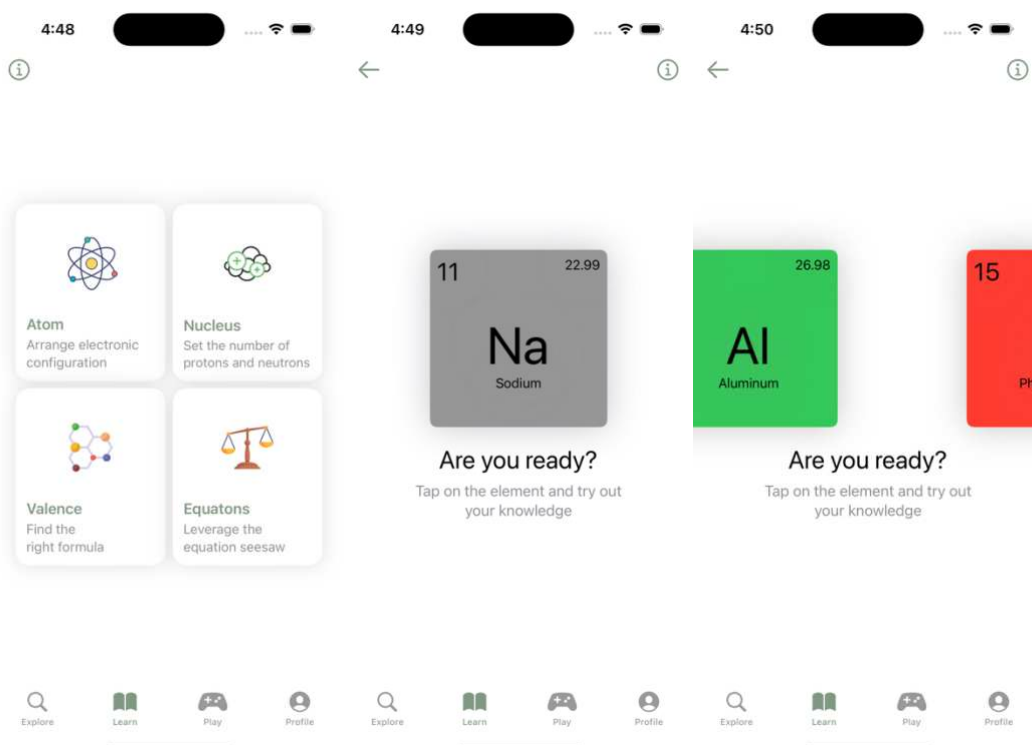
Slika 20. Popis značajki elementa i zanimljiva činjenica



Slika 21. Horizontalni klizni popis i stranica Wikipedije

3.3. Igre za učenje kemije

Na kartici za učenje nalaze se pojedinačne igre na kojima korisnik može vježbati svoje znanje gradiva iz kemije. Na prvom zaslonu nalazi se izbornik s popisom igara: elektronska konfiguracija, jezgrine čestice, kemijske formule te kemijske jednadžbe (prva snimka zaslona na slici, Slika 22). Ako se odaberu elektronska konfiguracija i jezgrine čestice, prikazuje se animacija elemenata te se potom odabere nasumični element o kojem će biti zadatak (zadnje dvije snimke zaslona na slici, Slika 22).

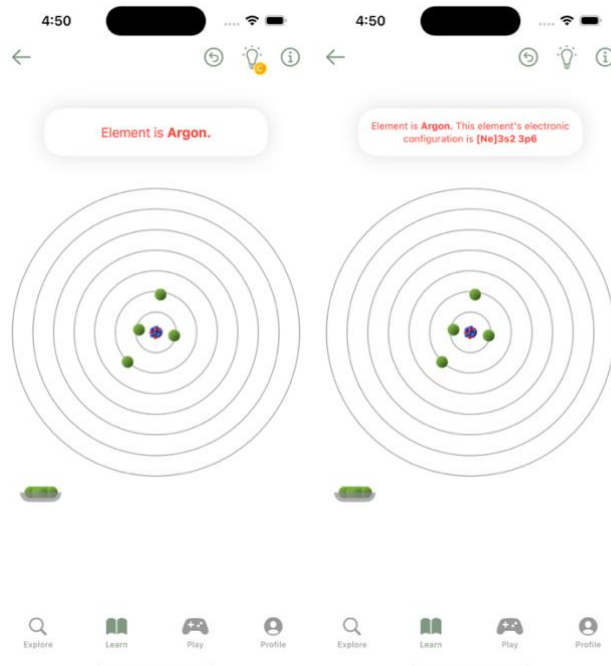


Slika 22. Izbornik i animacija na kartici za učenje

Prva igra u izborniku vezana je za elektronsku konfiguraciju atoma. Kako bi uspješno riješio zadatak, učenik mora pravilno posložiti elektrone u ljuske elektronskog omotača atoma (Slika 23). Metoda kojom se elektron dovodi do ljuske je povlačenje, eng. *drag-and-drop*. Ukoliko je potrebno, korisnik može zatražiti naputak o rješavanju za određenu cijenu zlatnika zvanih ChemCoin. Za uspješno riješen zadatak korisnik dobije nagradu u obliku zlatnika i iskustva.

Druga igra se odnosi na slaganje protona i neutrona u atomsku jezgru. Ovisno o izotopu zadanog elementa, potrebno je pogoditi točan broj i omjer jezgrinih čestica. Čestice se šalju u jezgru pritiskom na crvenu (proton) ili plavu (neutron) kuglicu u dnu ekrana. Poput prve igre, korisnik može (za određenu cijenu) zatražiti

naputak, a po uspješnom završetku zadatka, dobije nagradu određenog iznosa iskustva i zlatnika.



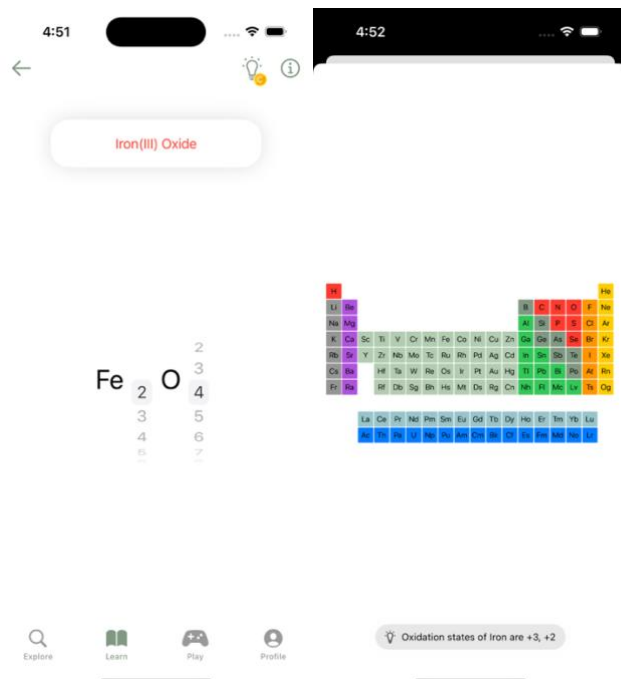
Slika 23. Slaganje elektrona u ljuske



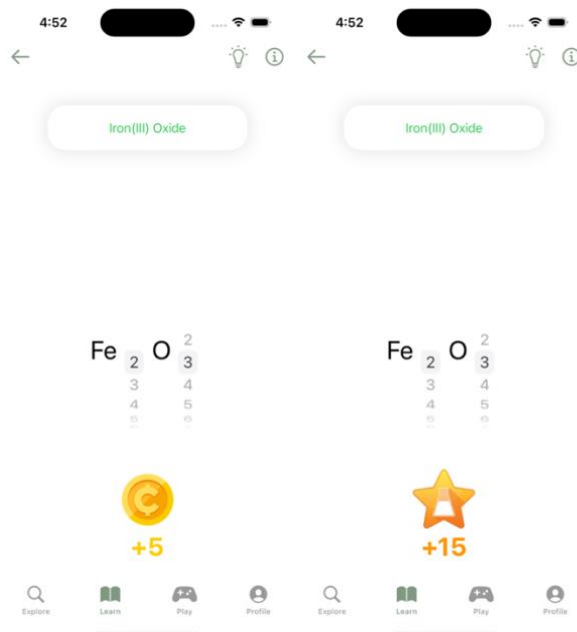
Slika 24. Slanje čestica u jezgru

Postoji i igra u kojoj se vježba poznavanje kemijskih formula, odnosno valencije kemijskih elemenata. Potrebno je za zadane elemente dodati točan iznos

atoma koji se nalazi u spoju čije ime je na ekranu. Ukoliko korisnik potraži naputak za rješavanje, otvara mu se prikaz periodnog sustava elemenata. Na pritisak bilo kojeg elementa pojavljuje se poruka u dnu ekrana na kojoj pišu sva moguća oksidacijska stanja tog elementa (Slika 25).



Slika 25. Rješavanje kemijskih formula i naputak za zadatak



Slika 26. Uspješno riješen zadatak

Posljednja vrsta zadataka je izjednačavanje kemijskih jednadžbi. Korisnik dobije nasumičnu jednadžbu, a kako bi osvojio nagradu mora uravnotežiti klackalicu s atomima elemenata u jednadžbi (Slika 27).



Slika 27. Izjednačavanje kemijskih jednadžbi

3.4. Natjecanje između učenika

Na kartici za igranje moguće je igrati verziju igre potapanja brodova. Umjesto brodova, potapaju se epruvete, a umjesto mora, polja su elementi periodnog sustava.

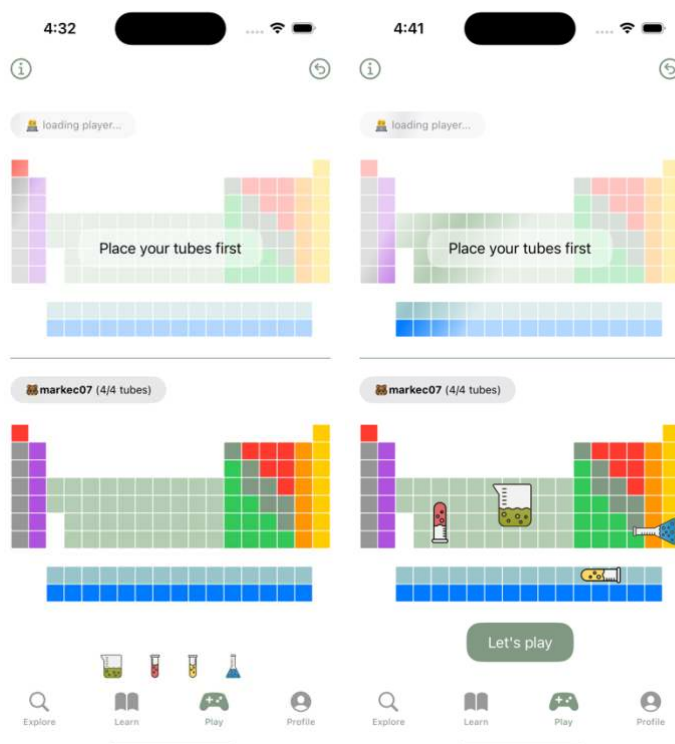
Kako bi započeo igru, korisnik prvo mora postaviti svoje epruvete na periodni sustav. Epruvete je moguće rotirati i stavljati bilo gdje u sustavu (Slika 28). Da bi ušao u igru, treba napraviti novu sesiju ili priključiti se postojećoj (Slika 29). Svaka igra mora imati svoje jedinstveno ime kako bi se drugi igrač jednostavno mogao priključiti u željenu sesiju.

Igrači igraju nasumično, što znači da jedan igra dok drugi čeka svoj red. Igrač koji je na redu bira neki element na periodnom sustavu protivnika u cilju kako bi pronašao onaj na kojem se nalazi epruveta. Ukoliko promaši, gubi svoj red. Ako pogodi polje s epruvetom, otvara mu se jedna od moguće četiri igre nabrojene u prethodnom poglavlju (Slika 30).

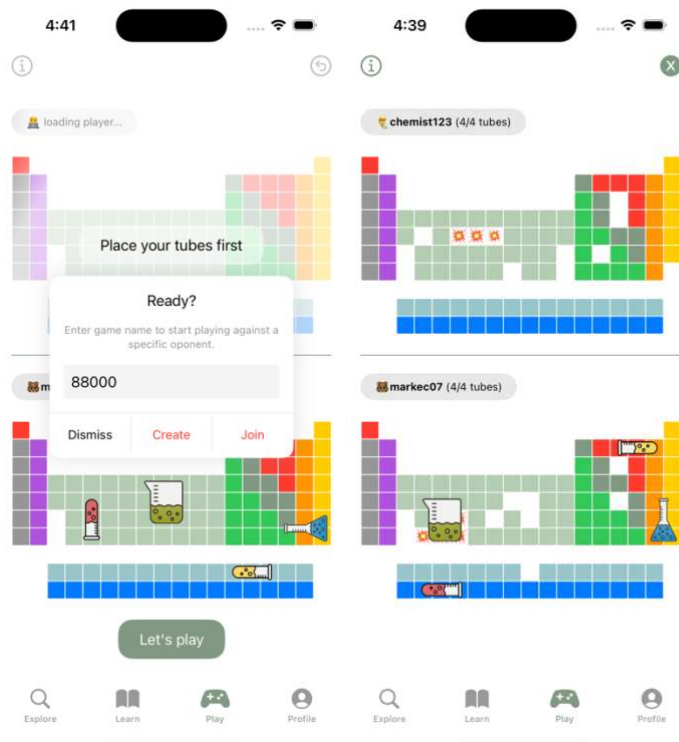
Cilj korisnika je riješiti točno riješiti zadatak u zadanom vremenu. Da bi korisnik znao koliko je vremena ostalo, u gornjem lijevom kutu nalazi se animirana kružnica koja simbolizira prolazak vremena. Jedna igra može imati dva ishoda: istek vremena i neuspješno rušenje polja s epruvetom te točno riješen zadatak u zadanom vremenu čime se ruši protivnikovo polje.

Ako je potrebno, korisnik može potrošiti nekoliko zlatnika kako bi aktivirao pomoć. U gornjem desnom kutu nalaze se tri ikonice: svjetiljka na čiji se pritisak dobiva naputak za rješenje, sat na čiji se pritisak produljuje preostalo vrijeme te dva trokutića na čiji je pritisak moguće preskočiti zadatak u cijelosti.

Indikator promašenog polja je nedostatak elementa, dok je indikator srušenog polja mala animacija eksplozije. Iznad svakog periodnog sustava nalazi se ikona i ime korisnika, odnosno protivnika, te broj njihovih preostalih epruveta (Slika 29). Igra se završava kad jedan od protivnika odustane ili ostane bez svih epruveta. Pobjednik igre ostvaruje nagradu u iskustvu i zlatnicima.



Slika 28. Početni zaslon i postavljene epruvete



Slika 29. Stvaranje igre i polja nakon igranja

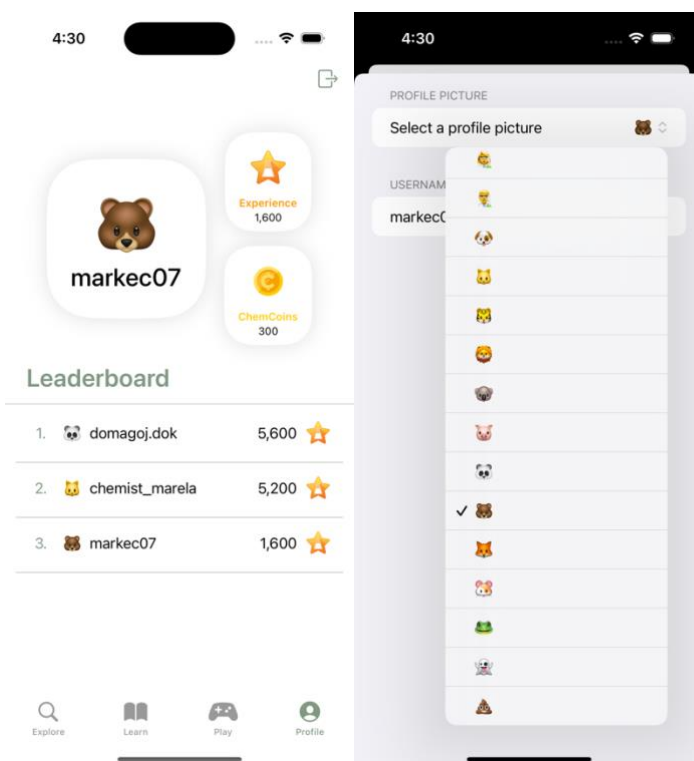


Slika 30. Igre za rušenje epruvete

3.5. Sustav nagrađivanja

Na kartici pregleda profila nalaze se informacije o korisniku i ljestvica najboljih (Slika 31). Prikazani podatci korisnika su njegovo korisničko ime, odabrana ikona te iznosi iskustva (eng. Experience) i zlatnika (tzv. ChemCoins). Na ljestvici nalaze se svi korisnici aplikacije poredani po iznosu ostvarenog iskustva. Svaki redak ljestvice ima plasman korisnika, ikonu, korisničko ime i iznos iskustva.

Korisnik može beskonačno mijenjati svoje korisničko ime i odabranu ikonu profila. Do izbornika za uređivanje tih vrijednosti dođe se pritiskom na veliku ikonu ili korisničko ime. Osim toga, na tom ekranu moguće je i odjaviti se iz aplikacije. Pri tome sav napredak vezan za taj korisnički profil ostaje trajno pohranjen u bazi kako bi ponovna prijava bila moguća.



Slika 31. Pregled i uređenje profila te ljestvica najboljih

4. Testiranje aplikacije

4.1. Ciljana skupina

Ovu aplikaciju za učenje gradiva kemije mogu koristiti svi, od osnovnoškolaca do studenata, pa čak i ostali zainteresirani korisnici neovisno o razini školovanja. Bez obzira na to, aplikacija je igrifikacijskog karaktera i kao takva namijenjena je korištenju u nastavi, primarno za učenike srednje i završnih razreda osnovne škole. Uz manje preinake, jednostavnim dodavanjem određenih formula i jednadžbi, aplikaciju je moguće primjenjivati i na fakultetima za svladavanje gradiva iz nekog posebnog područja.

4.2. Skupljanje podataka

Testiranje aplikacije provedeno je na skupini ($N = 8$) osam učenika različitih uspješnosti među kojima su bila tri gimnazijalca i pet učenika iz strukovnih škola. Svi učenici su uzrasta od petnaest i šesnaest godina, odnosno prvih i drugih razreda.

U prvoj fazi testiranja učenici su nasumice podijeljeni u četiri u grupe po dva učenika, pri čemu se pazilo da učenici iz istih škola ne budu u istim grupama. Svaka grupa imala je po jedan uređaj i pripadajući korisnički račun. Učenici su na početku dobili kratke i najosnovnije upute za korištenje kako bi se proces ubrzao, a dojmovi o korisničkom iskustvu ostali vjerodostojni.

Prvih pola sata učenicima je dozvoljeno svojevoljno istraživati po aplikaciji na uređaju svoje grupe. Na taj način dobili su priliku naviknuti se na aplikaciju, ali i steći nešto zlatnika za kasnije korištenje. Nakon toga uslijedila je faza natjecanja u kojoj su po dvije grupe učenika međusobno igrale igru potapanja brodova, odnosno epruveta. U cilju uštede vremena, odigrane su dvije istovremene partije.

Nakon provođenja eksperimenta, učenici su ispunili kratku anketu o dojmovima i motivaciji korištenja aplikacije. Anketa ima četrnaest pitanja, prvih sedam daje osvrt o samoj implementaciji aplikacije, njezinoj uporabljivosti i zanimljivosti, dok preostalih sedam pitanja obraćaju pažnju na korisnost aplikacije i motiviranost učenika za korištenje.

Anketa je ostvarena pomoću Google Forms alata te su sudionici ostali anonimni. Sva pitanja imala su pet ponuđenih odgovora, odnosno skalu od 1 do 5 ovisno o vrsti (npr. 1 – nimalo motivirajuće, 5 – vrlo motivirajuće). Pitanja su bila sljedeća:

1. Kako ocjenjujete izgled i dizajn aplikacije?
2. Kako ocjenjujete raspored i preglednost kartica (Explore, Learn, Play, Profile)?
3. Je li vam bilo lako koristiti funkcionalnosti unutar svake kartice?
4. Koliko vam se svidjela funkcija otkrivanja zanimljivih činjenica o elementima?
5. Koliko su vam se svidjele igre za učenje kemije unutar aplikacije?
6. Kako ocjenjujete sustav natjecanja između učenika (igra potapanja epruveta)?
7. Kako ocjenjujete interaktivnost i angažiranost koje aplikacija nudi?
8. Smatrate li da vam aplikacija pomaže u razumijevanju gradiva iz kemije?
9. Koliko vam aplikacija pomaže u praćenju vašeg napretka?
10. Koliko vas motiviraju nagrade u obliku iskustva i zlatnika (ChemCoins)?
11. Smatrate li da igre unutar aplikacije pomažu u boljem razumijevanju kemijskih koncepata?
12. Koliko često biste koristili aplikaciju za učenje kemije?
13. Smatrate li da su savjeti i naputci unutar igara korisni za rješavanje zadataka?
14. Koliko vas aplikacija motivira da istražujete i učite više o kemiji izvan školskih obaveza?

Za stjecanje dodatne perspektive na korisnost ovakvog tipa aplikacije, proveden je i intervju s nastavnicom kemije Srednje medicinske škole Sestara milosrdnica Mostar. Razgovor je bio fokusiran na potencijal aplikacije kao obrazovnog alata te njezinu ulogu u održavanju interesa i angažiranosti učenika. Razmotrene su karakteristike novih generacija učenika i modernizacija nastavnih metoda. Osim toga, nastavnicima je dana aplikacija na korištenje te su njezini dojmovi i primjedbe zapisani i uzeti u obzir za daljnji razvoj aplikacije.

4.3. Rezultati testiranja

Rezultati testiranja aplikacije pokazali su se vrlo obećavajućima, s većinskim pozitivnim povratnim informacijama od ciljne skupine učenika, ali i korisnim uvidima i osvrtima nastavnice.

4.3.1. Anketa učenika

Rezultati ankete vidljivi u tablici (Tablica 1) dali su koristan uvid u korisničko iskustvo koje aplikacija pruža. Radi bolje preglednosti u tablici su izostavljena dva zadnja stupca koja bi predstavljala preostale ocjene na skali odgovora jer su sve vrijednosti u redcima tih stupaca jednake nuli. Aplikacija se pokazala relativno uporabljivom, zanimljivom i motivirajućom za učenike. Rezultati ukazuju na visoku razinu prihvaćenosti i pozitivne povratne informacije u ključnim područjima kao što su dizajn, interaktivnost i obrazovna vrijednost. Posebno je važno što su čak četiri od osam učenika izjavili kako ih je aplikacija motivirala da nastave istraživati kemijske koncepte i van okvira nastave. Dodatan argument korisnosti aplikacije je činjenica što je sedam od osam učenika potvrdilo kako su im igre pomogle u boljem razumijevanju gradiva kemije. Nagrade u obliku iskustva i zlatnika također su odlično prihvaćene kod 6 od 8 učenika.

	Vrlo atraktivan / vrlo zanimljivo / vrlo korisno (%)	Atraktivan / zanimljivo / korisno (%)	Neutralno (%)
Izgled i dizajn aplikacije	75	25	0
Raspored i preglednost kartica	62,5	37,5	0
Korištenje funkcionalnosti unutar kartica	50	37,5	12,5
Otkrivanje zanimljivih činjenica o elementima	87,5	12,5	0
Igre za učenje kemije	75	25	0
Sustav natjecanja između učenika	62,5	25	12,5
Interaktivnost i angažiranost	75	25	0
Razumijevanje gradiva iz kemije	50	37,5	12,5
Praćenje napretka	62,5	25	12,5
Nagrade u obliku iskustva i zlatnika	75	25	0
Razumijevanje kemijskih konceptata kroz igre	50	37,5	12,5
Učestalost korištenja aplikacije	37,5	50	12,5
Savjeti i naputci unutar igara	62,5	37,5	0
Motivacija za istraživanje izvan školskih obaveza	12,5	37,5	50

Tablica 1. Rezultati ankete o aplikaciji

4.3.2. Intervju s nastavnicom

Nastavnica kemije izjavila je kako aplikacija ima velik potencijal kao obrazovni alat. Posebno je pohvalila to što aplikacija uspijeva zadržati interes i pažnju učenika. Nastavnica smatra kako detaljni podaci o elementima i jednostavan pristup tim informacijama čine aplikaciju izuzetno korisnom, ne samo učenicima, već i nastavnicima kojima često trebaju ti podatci. Osim toga, nastavnica je istaknula kako sustav nagrađivanja putem zlatnika i iskustva dodatno motivira učenike na učenje i istraživanje.

Nastavnica inače podržava igrifikaciju nastave kemije i korištenje digitalnih alata. Smatra da su takvi pristupi ključni za modernizaciju obrazovanja i prilagodbu nastave novim generacijama učenika koji su odrastali s tehnologijom, pa su bolje prilagođeni upravo interaktivnim metodama učenja. U svom dosadašnjem iskustvu, nastavnica je primijetila da učenici koji koriste igrifikacijske elemente u učenju često pokazuju veće zanimanje za predmet i bolji akademski uspjeh. Također, istaknula je kako digitalni alati omogućuju lakše praćenje napretka svakog učenika.

4.4. Moguća poboljšanja

4.4.1. Prikupljeni dojmovi

Prikupljene opaske korisnika pokazale su da aplikacija ima veliki potencijal, ali i da postoji prostor za poboljšanja. Povećanje tehničke pouzdanosti, obogaćivanje obrazovnog sadržaja te daljnji razvoj sustava nagrađivanja mogu značajno unaprijediti korisničko iskustvo i obrazovnu vrijednost aplikacije.

Većina učenika pohvalila je atraktivan dizajn i interaktivne elemente aplikacije. Prepoznali su vizualnu privlačnost i zabavne aspekte aplikacije, što je povećalo njihovu motivaciju za korištenje. Međutim, neki su učenici predložili poboljšanje animacija i grafičkih elemenata kako bi aplikacija bila još privlačnija. Jedan od tih prijedloga bio je dodati animaciju veće eksplozije pri rušenju polja u igri potapanja epruveta kako bi korisnicima bilo jasnije koje polje je upravo uništeno. Učenici su smatrali da je raspored kartica intuitivan i jednostavan za korištenje. Ipak, neki su sugerirali poboljšanja u navigaciji između različitih dijelova aplikacije. Na primjer, istaknuli su kako nema mogućosti povratka natrag povlačenjem prsta s lijevog ruba ekrana prema sredini, iako je to uobičajena gesta za većinu iOS aplikacija.

Iako su skoro svim učenicima igre pomogle u boljem razumijevanju kemijskih koncepata, pokazalo se da neki učenici s većom lakoćom svladavaju isto gradivo. Kako bi se taj problem otklonio, u cilju prilagodbe različitim razinama znanja, potrebno je dodati više razina težine unutar igara. Također, od strane učenika predloženo je dodavanje različitih tipova nagrada kako bi se povećala raznolikost i motivacija. Po njihovom mišljenju, prvoplasirani na ljestvici najboljih bi trebali dobiti neke posebne pogodnosti unutar same igre ili čak i u sklopu nastave.

Nastavnica je istaknula kako aplikacija uspješno integrira igru i učenje, te je predložila nekoliko poboljšanja koji bi olakšali njezino korištenje iz nastavničke perspektive. Jedno od njih je dodavanje naprednijih sadržaja kako bi aplikacija bila korisna i za starije učenike te studente. Još jedna njezina ideja je podijeliti formule i jednadžbe u različite segmente, npr. za anorgansku i organsku kemiju. Tako bi aplikaciju bilo lakše koristiti u nastavi jer bi zadatci u igrama mogli pratiti nastavni plan i program. Nastavnica se također osvrnula na sustav nagrađivanja te izrazila želju za mogućnost filtriranja ljestvice najboljih kako bi mogla vidjeti napredak samo svog razreda.

4.4.2. Programska implementacija

Tijekom testiranja aplikacija se pokazala dosta otpornom na greške i zastoje. Unatoč tomu, uvijek ima mjesta za optimizaciju.

S obzirom da se radi o aplikaciji za igrifikaciju nastave koja ne prikuplja važne i privatne podatke korisnika, pri njezinoj izradi nije se vodilo mnogo računa o sigurnosti. Prijavljeni korisnik se sprema u User Defaultse, bazu podataka na uređaju koja služi za spremanje određenih preferencija korisnika vezanih uz aplikaciju. Kao takva, ta baza nije najsigurnija i potencijalno bi joj mogle pristupiti druge aplikacije, a vezana je uz samo jedan uređaj. Bolja opcija bi bila spremiti korisnika u Keychain. Appleov Keychain je sustav za upravljanje lozinkama i sigurnosnim podacima na macOS i iOS uređajima, a omogućuje pohranu, automatsko popunjavanje i sinkronizaciju lozinki. Koristi snažnu enkripciju kako bi zaštitio pohranjene podatke, a pristup Keychainu je zaštićen lozinkom uređaja, Touch ID-em ili Face ID-em.

Za ostvarenje backenda se koristi primarno Firebase Firestore baza podataka, i za spremanje podataka, ali i za komunikaciju u stvarnom vremenu

između dva korisnika. Firestore nudi besplatnu verziju koja ima ograničenja za pohranjene podatke (1 GB), čitanje (50 000 zapisa/dan), pisanje (20 000 zapisa/dan) i brisanje dokumenata (20 000 zapisa/dan). Izvan besplatne kvote, usluge Firestore baze podataka se naplaćuju ovisno o količini upotrebe, s različitim stopama za čitanje, pisanje, brisanje i veličinu pohranjenih podataka. S porastom broja korisnika bilo bi korisno premjestiti podatke na neku drugu bazu ili servis kako bi održavanje aplikacije ostalo isplativo. Osim toga, kako bi se održala skalabilnost, bilo bi dobro unaprijediti sustav komunikacije između dva korisnika. Implementacija servera koji bi služio kao posrednik u takvoj komunikaciji uvelike bi povećala stabilnost i brzinu igranja igre potapanja brodova te samu sigurnost aplikacije.

Kada su u pitanju funkcionalnosti aplikacije, prostor za napredak i daljnji razvoj je beskonačan. Periodni sustav elemenata i pregled pojedinih elemenata može se proširiti s još zanimljivih podataka i fotografija. Moguće je u aplikaciju dodati mnoštvo novih igara različitih težina i tema. Potencijalno proširenje bilo bi povećati broj načina na koji se može započeti igra potapanja epruveta. Na primjer, umjesto unosa imena igre kojoj se žele priključiti, korisnici bi mogli izazvati na dvoboj konkretnog korisnika. Zgodno bi bilo uključiti i funkcionalnost komunikacije između dva protivnika. Sustav nagrađivanja bi se mogao proširiti dodavanjem postignuća za određene poteze ili riješene zadatke. Posjedovanje postignuća može otključavati određene funkcionalnosti u aplikaciji, poput posebnih ikona profila.

Zaključak

Ovaj diplomski rad istražuje primjenu suvremenih didaktičkih metoda, igrifikacije i suradničkog učenja u nastavi kemije te predstavlja razvoj obrazovne aplikacije koja koristi ove metode. Kroz analizu literature, postojeća rješenja i osmišljene metode, rad nastoji unaprijediti proces učenja kemije te povećati interes i motivaciju učenika.

Razvijena aplikacija omogućuje interaktivno učenje kemije kroz različite igre i vježbe. Testiranje aplikacije provedeno je na skupini srednjoškolskih učenika i rezultati su pokazali pozitivne povratne informacije. Učenici su aplikaciju ocijenili kao atraktivnu, korisnu i motivirajuću, ističući njezin dizajn, interaktivnost i obrazovnu vrijednost. Intervju s nastavnicom kemije dodatno je potvrdio potencijal aplikacije kao obrazovnog alata.

Iako su rezultati testiranja pokazali uspjeh aplikacije, prikupljeni dojmovi korisnika ukazali su na nekoliko područja za poboljšanje. Potrebno je dodatno obogatiti obrazovni sadržaj, unaprijediti navigaciju i animacije unutar aplikacije te prilagoditi igre različitim razinama znanja. Također, tehnička pouzdanost i sigurnost aplikacije mogu se poboljšati implementacijom naprednijih tehnologija za pohranu podataka.

Konačno, aplikacija je pokazala značajan potencijal u modernizaciji nastave kemije i povećanju angažiranosti učenika kroz igrifikaciju i suradničko učenje. Daljnji razvoj aplikacije, u skladu s prijedlozima učenika i nastavnika, može dodatno unaprijediti njezinu korisnost i prilagodljivost različitim obrazovnim kontekstima. Zaključci doneseni u ovom radu naglašavaju važnost integracije tehnologije u obrazovni proces te pružaju smjernice za buduće istraživanje i razvoj sličnih obrazovnih alata.

Literatura

- [1] Yusuf, S. D. *Effects of collaborative learning on chemistry students' academic achievement and anxiety level in balancing chemical equations in secondary school in Katsina Metropolis, Nigeria*. Journal of Education and Vocational Research, 2014.
- [2] Renaud, C., Wagoner, B. *The gamification of learning*. Principal Leadership, 12, 2011.
- [3] Zichermann, G., Cunningham, C. *Gamification by design: Implementing game mechanics in web and mobile apps*. Sebastopol: CA: O'Reilly, 2011.
- [4] Law, Y. K. *The effects of cooperative learning on enhancing Hong Kong fifth graders' achievement goals, autonomous motivation and reading proficiency*. Journal of Research in Reading, 2011.
- [5] Gülüzar, E., Ömer, G. *The collaboration of cooperative learning and conceptual change: Enhancing the Students' understanding of chemical bonding concepts*. International Journal of Science and Mathematics Education, 2016.
- [6] Stott, A. M., Neustaedter, C. *Analysis of Gamification in Education*. 2013.
- [7] Liwanag, R. *Development of a Gamification Blueprint for Teaching Chemistry in Junior High School*. Sveučilište u Filipinima Los Baños, 2021.
- [8] Lutfi, A., Aftinia, F., Permani, B.E. *Gamification: Game as a medium for learning chemistry to motivate and increase retention of students' learning outcomes*. Journal of Technology and Science Education, 2023.
- [9] Rudolf, E. *With Gamification to Collaborative Learning in Chemistry Lessons*. NATURAL SCIENCE EDUCATION, 2022.
- [10] Lutfi, A., Hidayah, R. *Gamification for Learning Media: Learning Chemistry with Games Based on Smartphone*. Journal of Physics: Conference Series, 2021.
- [11] *Starfall Catalyst for Students*.
Poveznica: <https://www.educationalappstore.com/app/starfall-catalyst-for-students>; pristupljeno ožujak 2024.
- [12] *The Elements by Theodore Gray*. App Store.
Poveznica: <https://apps.apple.com/us/app/the-elements-by-theodore-gray/id364147847>; pristupljeno ožujak 2024.
- [13] *Hydrocarbon*. Google Play Store.
Poveznica: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.asmolgam.hydrocarbon&hl=en_IN&gl=US; pristupljeno ožujak 2024.

[14] *ReactionFlash*. App Store.

Poveznica: <https://apps.apple.com/us/app/reactionflash/id432080813>; pristupljeno ožujak 2024.

[15] *Aktiv Learning*. App Store. Poveznica: <https://apps.apple.com/us/app/aktiv-learning/id1128486439>; pristupljeno ožujak 2024.

[16] *Mobile Apple iOS version share worldwide*. Statista. Poveznica: <https://www.statista.com/statistics/1118925/mobile-apple-ios-version-share-worldwide/>; pristupljeno ožujak 2024.

[17] Celis S., Crawford D. *The Composable Architecture*, (svibanj 2020.). Poveznica: <https://github.com/pointfreeco/swift-composable-architecture>, pristupljeno travanj 2024.

[18] Celis S., Crawford D. *Composable Architecture*, (siječanj 2020.). Poveznica: <https://www.pointfree.co/collections/composable-architecture>, pristupljeno travanj 2024.

[19] Brancati F. *Combine: Getting Started*, (travanj 2020). Poveznica: <https://www.kodeco.com/7864801-combine-getting-started>, pristupljeno travanj 2024.

[20] Eidhof C., Kugler F. *Thinking in SwiftUI*. ObjC.io, 2020.

[21] Lakshmnaidu. *TCA: The Composable Architecture with SwiftUI - The Unidirectional Flow*. Medium, 2021. Poveznica: <https://medium.com/@Lakshmnaidu/tca-the-composable-architecture-with-swiftui-the-unidirectional-flow-2a90dd53442f>; pristupljeno travanj 2024.

Sažetak

Kolaborativna interaktivna aplikacija za učenje kemije kroz igru

Ovaj diplomski rad istražuje primjenu igrifikacije i suradničkog učenja u nastavi kemije kroz razvoj obrazovne aplikacije. Aplikacija nudi interaktivno učenje kemijskih pojmova putem igara, uključujući prikaz periodnog sustava, testiranje poznavanja kemijskih elemenata, spojeva i jednadžbi te natjecateljsku igru potapanja brodova. Ključne tehnologije korištene pri implementaciji su Swift Composable arhitektura, Combine radni okvir, SwiftUI alat za sučelja i Firebase Firestore baza podataka, a sama aplikacija napravljena je za operacijski sustav iOS. Testiranje na skupini srednjoškolaca i intervju s nastavnicom kemije pokazali su kako aplikacija uspješno povećava interes i motivaciju učenika. Iako su rezultati bili pozitivni, postoje određena područja za poboljšanje, poput obogaćivanja sadržaja i tehničke pouzdanosti. Rad naglašava važnost integracije tehnologije u obrazovni proces i pruža smjernice za daljnji razvoj sličnih alata.

Ključne riječi:

igrifikacija, suradničko učenje, obrazovanje, nastava kemije, sustav iOS, Swift, SwiftUI, Swift Composable, Firestore Firebase

Summary

Collaborative Interactive Application for Learning Chemistry Through Gamification

This thesis investigates the usage of gamification and collaborative learning in chemistry classes through the development of an educational application. The application offers interactive learning of chemical concepts through games, including a periodic table display, testing knowledge of chemical elements, compounds and equations, and also a competitive battleship game. The key technologies used in the implementation are the Swift Composable architecture, the Combine framework, the SwiftUI tool for interfaces and the Firebase Firestore database. The application is made for the iOS operating system. Testing on a group of high school students and an interview with a chemistry teacher showed that the application successfully increases students' interest and motivation. Although the results were positive, areas for improvement were identified, including content enrichment and technical reliability. The paper emphasizes the importance of integrating technology into the educational process and provides guidelines for the further development of similar tools.

Keywords:

gamification, collaborative learning, education, chemistry teaching, iOS system, Swift, SwiftUI, Swift Composable, Firestore Firebase